

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD QUERÉTARO

“Desarrollo y caracterización de tortillas de maíz adicionadas con  
inulina”

Tesis que presenta

**I.I.A. Arely Berenice Hernández Maldonado**

para obtener el Grado de

**Maestra en Ciencias**

en la Especialidad de

**Materiales**

**CINVESTAV**  
**IPN**  
**ADQUISICION**  
**LIBROS**

Director de Tesis: Dr. Gerónimo Arámbula Villa

Santiago de Querétaro, Qro.

Agosto de 2013

CLASIF..	CA 00218
ADQUIS..	CA-223-821
FECHA:	17-09-2014
PROCED.	Dej-2014
	\$

## RESUMEN

En México y otros países de América Central, el maíz se consume principalmente en forma de tortilla, y proporciona alrededor de 45.2% de las necesidades de calorías de la dieta diaria de la población mexicana. Para mejorar la calidad nutricional de este alimento se han desarrollado tortillas adicionadas con fibra, proteínas, vitaminas, etc.,. Por otro lado la inulina es un compuesto alimenticio que se comporta como fibra cuando se consume y llega a la flora intestinal, produciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas para la salud humana, además aumenta la absorción de nutrientes como el calcio, y reduce el riesgo del cáncer intestinal. En este trabajo, se desarrolló un proceso para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado, adicionadas con inulina, con el objetivo de mejorar la nutrición y el funcionamiento del sistema digestivo. El grano de maíz se procesó, y se obtuvo harina de maíz nixtamalizado. La harina de maíz nixtamalizado fue mezclada con inulina, y se evaluaron seis tratamientos con los siguientes niveles: 0 (blanco o de referencia), 5, 10, 15, 20, y 25% (p/p, b.s.). A estos tratamientos se les determinaron las propiedades fisicoquímicas, reológicas, térmicas y estructurales de las harinas, masas y tortillas, y en base a los resultados obtenidos se seleccionaron los dos mejores tratamientos. La densidad aparente y el índice de absorción de agua de las harinas adicionadas con inulina no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el índice de solubilidad en agua si mostró altas diferencias significativas entre todos ellos. La viscosidad máxima desarrollada y la entalpía de gelatinización disminuyeron al aumentar la cantidad de inulina adicionada. En masa, el contenido de humedad y la cohesión disminuyeron al aumentar el porcentaje de inulina. La adhesividad mostró un comportamiento contrario a las variables anteriores. La pérdida de peso durante la cocción y el color de las tortillas no mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos. Las tortillas con 5 y 10% de inulina mostraron un buen grado de inflado y rolabilidad, y fueron significativamente diferentes respecto a los otros tratamientos. La resistencia a la tensión, y los valores de fuerza al corte aumentaron directamente proporcional al porcentaje de inulina añadido a las harinas. La

viscosidad máxima y entalpía de las tortillas disminuyeron con el aumento de la cantidad de inulina adicionada a las harinas. Respecto a la estructura, las tortillas adicionadas con inulina mostraron mayor grado de compactación y menor tamaño de las burbujas y estructuras visibles, que las tortillas sin inulina.

Con base a los resultados obtenidos, y haciendo un análisis general de las variables determinadas, las tortillas elaboradas con 5 y 10% (p/p) de inulina fueron las que mostraron las mejores características, muy similares a las tortillas sin inulina o de referencia. Finalmente se puede concluir que este tipo de tortillas pueden ser adecuadas para procesarse y comercializarse, y proporcionar a la población un producto con mejores características nutricionales.

**Palabras clave:** inulina, maíz, tortillas, prebióticos.

## ABSTRACT

In México and other Central America countries, corn is consumed mainly as tortilla, and provides around 45.2% of caloric requirement of daily diet of Mexican population. Tortillas added with fiber, proteins, vitamins, etc., has been developed to improve the nutritional quality of this food. Furthermore, the inulin behaves as fiber when it is consumed and reaches the intestinal flora, producing the growth of beneficial bacteria for human health, increasing the absorption of nutrients like calcium, and reducing the risk of intestinal cancer. In this work, a process to elaborate tortillas added with inulin was developed, with the aim to improve the nutrition and the functioning of the digestive system. Corn grain was processed, and nixtamalized corn flour was obtained. The nixtamalized corn flour was mixed with inulin, and six treatments, with next levels, were evaluated: 0 (blank or reference), 5, 10, 15, 20, and 25% (w/w, d.b.). The physicochemical properties, rheological, thermal and structural of flour, dough and elaborated tortillas were determined. Based on its properties, the two best treatments were selected. Apparent density and water absorption index of flour showed no significant differences between treatments. However, the water solubility index resulted with high significant differences. The developed maximum viscosity and gelatinization enthalpy decreased by increasing the percentage of inulin. In dough, the moisture content and cohesiveness decreased by increasing the percentage of inulin. The adhesiveness showed behavior contrary to the above variables. Weight loss during cooking and color of tortillas showed no significant differences among all treatments. Tortillas with 5 and 10% inulin showed good puffing degree and rollability, and they were significantly different respect to the other treatments. The tensile and cutting force values increased directly proportional to the amount of added inulin to the experimental nixtamalized corn flours. The maximum viscosity and enthalpy of tortillas decreased with increasing of added inulin.

Respect to structure, the tortillas with added inulin showed higher compacting degree and smaller bubble size and visible structures, than tortillas without inulin. Based on

the results, and making general analysis of the determined variables, tortillas made with 5 and 10% (w/w) inulin were those that showed the best characteristics, very similar to tortillas without inulin o reference. Finally, it was concluded that this type of tortillas are suitable for processing and marketing, providing to the general population a product with improved nutritional characteristics.

Keywords: Inulin, corn, tortillas, prebiotic.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Querétaro por permitirme realizar esta tesis, para obtener el título de Maestro en Ciencias con especialidad en materiales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante el periodo conformado de septiembre 2011 a agosto 2013.

Al Dr. Gerónimo Arámbula Villa por todo el apoyo y tiempo brindado para la realización y dirección de este trabajo de investigación.

Al Dr. Jesús Abraham Méndez Albores y al Dr. Juan Francisco Pérez Robles por sus asesorías, observaciones y paciencia en la realización de esta tesis. Gracias por su tiempo.

A los auxiliares de laboratorio MC. José Juan Veles Medina, Dra. Marcela Gaytán Martínez y MC. Edmundo Gutiérrez Arias por el apoyo proporcionado durante la etapa de experimentación y por los buenos momentos compartidos en los laboratorios 7, 8 y de reología del CINVESTAV, Qro.

A mis Drs. Sergio Jiménez Sandoval, Rebeca Castanedo, Gerardo Torres, Arturo Mendoza, Rafael Ramírez Wong, Gabriel Luna Bárcenas y Martin Yáñez Limón por creer y confiar en mí, por sus conocimientos y consejos.

## **DEDICATORIAS**

A Dios por iluminarme y darme la paciencia para concluir este trabajo.

A mis padres, por darme la vida, la oportunidad y la libertad de seguir siempre mis propios proyectos, por apoyarme siempre en todos los aspectos de mi vida, por toda la paciencia invertida y contagiada durante el transcurso de este largo camino, los quiero mucho.

A mi esposo Rodrigo Fernández Loyola por su amor y paciencia incondicional desde el primer día. Por ser mi compañero y cómplice Por brindarme parte de sus conocimientos y por brindarme ánimo y fuerza con este proyecto.

A mis hermanitos Jessica, Javier e Isaac porque no hay un momento en que no haga nada sin pensar en ustedes y porque sé que cada paso mío es un gran paso a seguir de ustedes.

Al Dr. Gerónimo Arámbula Villa porque gracias a él he podido concluir este trabajo y ampliar mi visión en los campos de la vida.

Al Ing. Ignacio Morales por brindarme su apoyo y por involucrarme en este camino de la investigación.

Al Dr. Marco Vinicio Velarde Hermida por creer en mí, y aunque ya no esté aquí, sé que siempre me ha acompañado.

A mis amigos que en las buenas y en las malas siempre estuvieron a mi lado. Gracias por su gran asesoría.

A todos... mil gracias.



# ÍNDICE

RESUMEN. ....	i
ABSTRACT. ....	iii
AGRADECIMIENTOS. ....	v
DEDICATORIAS. ....	vi
INDICE. ....	vii
INDICE DE CUADROS. ....	xii
INDICE DE FIGURAS. ....	xiii
1. INTRODUCCIÓN. ....	1
1.1 El maíz. ....	1
1.1.1 Origen. ....	1
1.1.2 Estructura. ....	1
1.1.2.1 Pericarpio. ....	1
1.1.2.2 Pedicelo. ....	2
1.1.2.3 Endospermo. ....	2
1.1.2.4 Germen. ....	3
1.1.3 Composición química del grano de maíz. ....	5
1.1.3.1 Carbohidratos. ....	5
1.1.3.2 Lípidos. ....	6
1.1.3.3 Proteínas. ....	6
1.1.3.4 Vitaminas. ....	6
1.1.3.5 Minerales. ....	6
1.1.3.6 Fibra dietética. ....	7
1.1.4 Tipos de maíz. ....	8
1.1.5 Producción y consumo de maíz. ....	11
1.1.6 Usos del maíz. ....	12
1.2 La tortilla de maíz. ....	13
1.2.1 Producción y consumo de tortilla. ....	13
1.2.2 Elaboración de tortillas de maíz. ....	14

	1.2.2.1 Proceso tradicional. ....	14
	1.2.2.2 Proceso industrial. ....	14
1.2.3	Cambios importantes durante la elaboración de las tortillas. ....	17
	1.2.3.1 Transformación granos-masa (nixtamalización)	17
	1.2.3.2 Agua. ....	17
	1.2.3.3 Calcio. ....	18
	1.2.3.4 Proteínas. ....	18
	1.2.3.5 Almidón. ....	19
1.2.4	Transformación masa- tortilla (cocción). ....	20
1.3	La inulina. ....	21
	1.3.1 Propiedades y beneficios de la inulina. ....	22
	1.3.2 Características funcionales y tecnológicas de la inulina. ....	23
	1.3.3 La inulina como prebiótico. ....	26
2.	OBJETIVOS. ....	28
	2.1 Objetivo general. ....	28
	2.2 Objetivos específicos. ....	28
3.	MATERIALES Y METODOS. ....	29
	3.1 Materiales. ....	29
	3.2 Métodos. ....	29
	3.2.1 Estrategia General de la Investigación. ....	29
	3.2.2 Elaboración del nixtamal, harina de maíz nixtamalizado, masa y tortilla con y sin inulina. ....	30
	3.2.3 Nixtamalización de maíz. ....	30
	3.2.4 Elaboración de masa. ....	30
	3.2.5 Elaboración de la harina de maíz nixtamalizado. ....	31
	3.2.6 Elaboración de las masas de harina de maíz nixtamalizado adicionadas con y sin inulina. ....	31
	3.2.7 Elaboración de las tortillas de maíz adicionadas con y	

sin inulina. ....	32
3.2.8 Caracterización de la inulina. ....	33
3.2.8.1 .Perfil de viscosidad amilográfica. ....	33
3.2.8.2 Morfología con Microscopia electrónica de barrido Ambiental (ESEM).....	33
3.2.9 Caracterización de maíz. ....	34
3.2.9.1 Tamaño del grano. ....	34
3.2.9.2 Peso de 1000 granos. ....	34
3.2.9.3 Dureza.....	34
3.2.9.4 Humedad.....	34
3.2.9.5 Perfil de viscosidad amilográfica de los granos. ....	35
3.2.9.6 Color en grano. ....	36
3.2.10 Caracterización de harinas de maíz nixtamalizado. ....	37
3.2.10.1 Índice de tamaño de partícula. ....	37
3.2.10.2 Densidad aparente. ....	37
3.2.10.3 Color en harinas de maíz nixtamalizados. .	38
3.2.10.4 Capacidad de absorción de agua.....	38
3.2.10.5 Actividad de agua. ....	38
3.2.10.6 Índice de absorción de agua (IAA). ....	39
3.2.10.7 Índice de solubilidad en agua (ISA). ....	39
3.2.10.8 Humedad. ....	40
3.2.10.9 Perfil de viscosidad amilográfica para harina de maíz nixtamalizado. ....	40
3.2.10.10 Parámetros térmicos con Calorimetría diferencial de barrido (DSC). ....	40
3.2.10.11 Morfología con Microscopia electrónica de barrido Ambiental (ESEM). ....	41
3.2.11 Caracterización de masa. ....	42
3.2.11.1 Adhesión y cohesión. ....	42

3.2.11.2	Consistencia.....	42
3.2.11.3	Humedad.....	42
3.2.12	Caracterización de tortillas de maíz. ....	43
3.2.12.1	Grado de inflado. ....	43
3.2.12.2	Pérdida de peso en la cocción. ....	43
3.2.12.3	Capacidad de enrollamiento (rolabilidad). .	44
3.2.12.4	Color en tortillas. ....	44
3.2.12.5	Textura de tortilla. ....	44
3.2.12.5.1.	Tensión. ....	45
3.2.12.5.2.	Corte. ....	46
3.2.12.6	Humedad. ....	46
3.2.12.7	Perfil de viscosidad amilográfica (grado de gelatinización). ....	46
3.2.12.8	Parámetros térmicos con calorimetría diferencial de barrido (DSC). ....	47
3.2.12.9	Morfología con microscopia electrónica de barrido (ESEM). ....	47
3.3	Diseño experimental. ....	47
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	48
4.1	Caracterización de la inulina. ....	48
4.1.1	Perfil amilográfico de la inulina. ....	48
4.1.2	Morfología con Microscopia electrónica de barrido Ambiental (ESEM) de la inulina. ....	48
4.2	Caracterización del grano de maíz. ....	49
4.2.1	Características físicas. ....	49
4.2.2	Características fisicoquímicas. ....	50
4.3	Caracterización de la harina de maíz nixtamalizado. ....	51
4.3.1	Propiedades físicas. ....	51
4.3.2	Propiedades fisicoquímicas. ....	53
4.3.3	Perfil amilográfico de harinas de maíz nixtamalizado	

	adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	57
4.3.4	Propiedades térmicas en harinas de maíz nixtamalizado. ....	59
4.3.5	Morfología (Micrografías con ESEM) de harinas de maíz nixtamalizado. ....	61
4.4	Caracterización de masa. ....	62
4.4.1	Cohesión, adhesión y humedad. ....	62
4.5	Caracterización de las tortillas. ....	64
4.5.1	Propiedades físicas. ....	64
4.5.2	Propiedades fisicoquímicas. ....	66
4.5.3	Propiedades de textura. ....	68
4.5.4	Perfil amilográfico en tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	69
4.5.5	Morfología (Micrografías con ESEM) en tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	71
4.5.6	Selección de los mejores resultados tratamientos. ....	73
5.	CONCLUSIONES. ....	75
6.	BIBLIOGRAFÍA. ....	76

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición de las distintas partes del grano de maíz. ....	5
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de minerales en el maíz. ....	7
<b>Cuadro 3.</b> Pico de viscosidad y de retrogradación de la inulina. ....	48
<b>Cuadro 4.</b> Características físicas en los granos de maíz. ....	49
<b>Cuadro 5.</b> Características fisicoquímicas en granos de maíz. ....	51
<b>Cuadro 6.</b> Propiedades físicas de las harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	53
<b>Cuadro 7.</b> Propiedades fisicoquímicas de harina de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	56
<b>Cuadro 8.</b> Viscosidad máxima y de retrogradación de harina de maíz nixtamalizado, adicionada con diferentes cantidades de inulina. ....	59
<b>Cuadro 9.</b> Temperaturas y entalpías de gelatinización en harinas de maíz nixtamalizado. ....	61
<b>Cuadro 10.</b> Humedad, cohesión y adhesión de masa de maíz nixtamalizado adicionada con diferentes cantidades de inulina. ....	64
<b>Cuadro 11.</b> Propiedades físicas de las tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	66
<b>Cuadro 12.</b> Propiedades fisicoquímicas de las tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	68
<b>Cuadro 13.</b> Fuerza a la tensión, elasticidad y fuerza al corte en tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	69
<b>Cuadro 14.</b> Viscosidad de gelatinización y de retrogradación en tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales partes estructurales del grano de maíz en cortes (a) longitudinal y (b) transversal. Fuente: Hoseney y Faubion (1992). .....	4
<b>Figura 2.</b> Clasificación de granos de maíz de acuerdo a la constitución del endospermo y del grano. Fuente: Sturtevant (1989). .....	8
<b>Figura 3.</b> Producción nacional por tipo de maíz (Millones de toneladas). Fuente: SAGARPA (2005). .....	11
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo para el proceso tradicional para la elaboración de tortillas. Fuente: Arámbula et al., (2001). .....	15
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo para el proceso industrial para la elaboración de tortillas. Fuente: Arámbula et al., (2001). .....	16
<b>Figura 6.</b> Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración de tortillas adicionadas con inulina. ....	29
<b>Figura 7.</b> Nixtamal lavado (a) y nixtamal molido (b). ....	30
<b>Figura 8.</b> Secador Flash (a) y molino de martillos (b). ....	31
<b>Figura 9.</b> Cocimiento de la tortilla en comal.....	32
<b>Figura 10.</b> Equipo Rapid Visco Analyzer (RVA).....	35
<b>Figura 11.</b> Escala cromática L, a, b.....	36
<b>Figura 12.</b> Equipo Aqua Lab, modelo CX-2.....	39
<b>Figura 13.</b> Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC). ....	40
<b>Figura 14.</b> Microscopio Electrónico de Barrido (ESEM). ....	41
<b>Figura 15.</b> Prueba de adhesión y cohesión en masa, utilizando el Textur Analyzer. ....	42
<b>Figura 16.</b> Representación de escala hedónica para medir el grado de inflado completo (a), 2 inflado intermedio (b) y 3 sin inflado (c). ....	43
<b>Figura 17.</b> Prueba de pérdida en peso en la cocción de tortilla de maíz. Tortilla cruda (a), pesaje de tortilla cruda (b) y tortilla cocida (c). ....	44
<b>Figura 18.</b> Texturómetro (Texture Analyzer, TA-TX2). ....	45

<b>Figura 19.</b> Prueba de resistencia a la tensión en tortillas utilizando el texturómetro (Texture Analyzer, TA-TX2). .....	45
<b>Figura 20.</b> Prueba de resistencia al corte en tortillas utilizando el texturómetro (Texture Analyzer,TA-TX2). .....	46
<b>Figura 21.</b> a), y b) micrografías electrónicas de barrido de la inulina. ....	48
<b>Figura 22.</b> Micrografías de SEM de harina de maíz nixtamalizado a diferentes aumentos. ....	62
<b>Figura 23.</b> Micrografías (ESEM) de la morfología en tortillas adicionadas con diferentes concentraciones de inulina (0,5,10,15,20 y 25%): a), b), c), d), e), f) área superficial de la tortilla y g), h), i), j), k), l) corte transversal en la tortilla. .	73



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 El maíz

El maíz es un grano perteneciente a la especie *Zea mays L.* (NOM-NMX-FF-034-1995-SCFI) de la familia de las gramíneas. Es una planta anual dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Su nombre tiene origen indígena caribeño, que significa literalmente “lo que sustenta la vida” (FAO, 1993).

### 1.1.1 Origen

Se considera que este grano fue una de las primeras plantas cultivada por los agricultores desde hace 7 000 ó 10 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos de México, donde algunas pequeñas mazorcas estimadas en más de 5 000 años de antigüedad, fueron encontradas en cuevas de habitantes primitivos (Wilkes, 1989; Paliwal *et al*, 2001).

### 1.1.2 Estructura

El grano de maíz se conforma principalmente de cuatro partes anatómicas: pericarpio, pedicelo, endospermo y germen (Figura 1) (FAO, 1993).

#### 1.1.2.1 Pericarpio

Es la capa externa del grano de maíz, está compuesta de un grupo de células de pared gruesa, alargadas y petrificadas que forman un tejido denso y duro; debajo de éste existe una capa de células esponjosas, tubulares y transversales, que es continua con las células esponjosas del pedicelo.

Después de esta capa se encuentra una membrana cerosa delgada conocida como cubierta externa de la semilla, que hacia el interior contiene un tejido de células gruesas llamado capa de células de aleurona. Todos los componentes del pericarpio constituyen aproximadamente el 5.2% del peso seco del grano (Watson, 1987; Reyes, 1990; Hosney, 1998; Paliwal *et al*, 2001).

El espesor del pericarpio influye fuertemente en la difusividad de los iones de calcio en los componentes del grano de maíz: pericarpio, germen y endospermo, durante el proceso de nixtamalización, por lo que tiene un interés teórico y práctico para las industrias productoras de harina de maíz nixtamalizado. En el proceso de nixtamalización, el pericarpio está en contacto directo con la solución alcalina de hidróxido de calcio; debido a esto la difusión de los iones es alta, y en el caso del germen, los iones se difunden a través de la cofia o pedicelo, lo cual hace que la contribución de calcio de estas dos estructuras del grano sean las que mayormente aportan este elemento en la cuantificación total en el grano completo. Por lo tanto, se puede concluir que el valor de la difusividad de iones de calcio es inverso a la proporción de estos componentes en los granos de maíz (Fernández *et al.*, 2004). También se ha reportado que para el proceso tradicional de nixtamalización, la difusividad de iones de calcio depende de la integridad y características particulares de cada una de las partes del grano de maíz (Fernández, *et al.*, 2004).

#### **1.1.2.2 Pedicelo.**

El pedicelo constituye un 0.8% del peso total del grano (Watson, 1987; Paliwal *et al.*, 2001). Es la parte que se une al olote a través de una estructura esponjosa, la cual está adaptada para la rápida absorción de agua. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro el cual es conocido como capa hilar que funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano (Reyes, 1990).

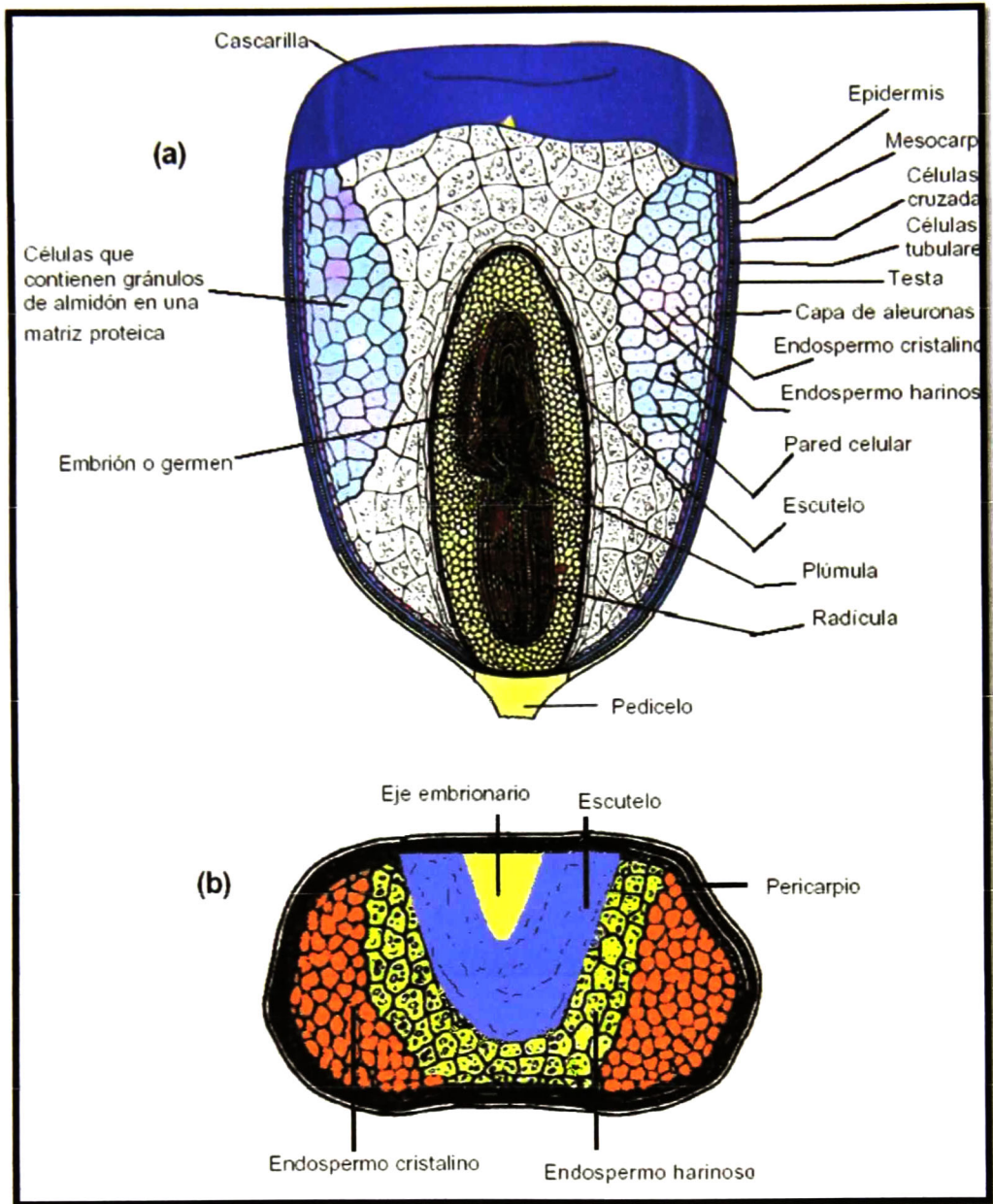
#### **1.1.2.3 Endospermo.**

Constituye aproximadamente el 82% del grano en peso seco y está compuesto por cerca de 86% de almidón. Dentro de esta estructura se encuentran dos regiones: una harinosa y otra córnea, generalmente en una relación de 2:1. La región harinosa del endospermo es caracterizada por células grandes, por gránulos redondos y una delgada matriz proteica. El endospermo córneo tiene pequeñas células, pequeños gránulos de almidón y una densa matriz proteica (Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995).

#### **1.1.2.4 Germen.**

El germen conforma aproximadamente el 11% del peso del grano. Es el embrión u órgano reproductor del grano y está compuesto por plúmula, radícula y escutelo. El escutelo constituye el 90% del germen y funciona como un almacén de nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas sintetizadas en la etapa inicial de germinación hacia la plúmula.

Todas las células del embrión y el escutelo son potencialmente activadas metabólicamente durante una hidratación (Watson, 1988; FAO, 1993; Hosoney, 1998; Paliwal *et al*, 2001).



**Figura 1.** Principales partes estructurales del grano de maíz en cortes (a) longitudinal y (b) transversal. Fuente: Hosney y Faubion (1992)

### 1.1.3 Composición química del grano de maíz

La composición química depende principalmente de las partes que constituyen el grano, tal como se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Composición de las distintas partes del grano de maíz

Componente (%)	Endospermo	Germen	Pericarpio	Pedicelo
Almidón	87.6	8.3	7.3	5.3
Grasas	0.8	33.2	1.0	3.8
Proteínas	8.0	18.4	3.7	9.1
Cenizas	0.3	10.5	0.8	1.6
Azúcares	0.6	10.8	0.3	1.6
Fibra	2.7	18.8	86.9	78.6
Materia seca	83.0	11.0	5.2	0.8

Fuente: Paliwal *et al.*, (2001)

#### 1.1.3.1. Carbohidratos.

Como en la mayoría de los cereales, el maíz es una fuente importante de carbohidratos, los cuales se encuentran principalmente en el endospermo. Estos compuestos químicos se dividen en dos tipos: carbohidratos simples o azúcares y carbohidratos complejos o polisacáridos (almidón y celulosa).

**Azúcares:** Son estructuras sencillas en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano (FAO, 1993).

**Almidón:** Constituye aproximadamente el 73% del peso del grano. Está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa y constituye alrededor del 25-30% del almidón. La amilopectina también consiste de unidades de glucosa, aunque en forma ramificada y constituye aproximadamente entre el 70-75% del almidón (Jackson y Shandera, 1995).

### **1.1.3.2 Lípidos.**

El aceite del grano de maíz se encuentra principalmente en el germen, en valores que varían del 3 al 18%. Tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico, con valores medios de 11% y 2% respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poli-insaturados, fundamentalmente ácido linoléico, con un valor medio de cerca del 24% (FAO, 1993).

### **1.1.3.3. Proteínas.**

Constituyen aproximadamente el 10.3% del grano integral y se encuentran principalmente en el germen del grano de maíz. La principal proteína en el maíz es una prolamina denominada zeína. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente y están formadas al menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18% el total de nitrógeno, con proporciones del 7, 5 y 6% respectivamente. La fracción de prolamina soluble, constituye el 52 % del nitrógeno del grano. La globulina constituye el 25 % de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida (cerca del 5%), está constituida por nitrógeno residual (FAO, 1993; Hosney, 1998).

### **1.1.3.4. Vitaminas.**

El grano de maíz contiene vitaminas hidrosolubles como la tiamina, niacina, riboflavina y en menores cantidades posee también ácidos pantoténico y fólico. En lo referente a las vitaminas liposolubles, contiene carotenos y vitamina E (FAO, 1993).

### **1.1.3.5. Minerales.**

La mayor parte de los minerales (78%) se encuentran en el germen, debido probablemente a que son esenciales para el desarrollo del embrión. El contenido de minerales en el maíz se presenta en el Cuadro 2. El más abundante es el fósforo que representa el 0.08% del grano completo.

Este mineral se encuentra principalmente almacenado en forma de sal de fósforo-magnesio del ácido fítico y es liberado por la enzima fitasa (Watson, 1988).

Uno de los cuatro elementos más abundantes en el grano es el azufre y se encuentra en forma inorgánica como un constituyente de los aminoácidos cisteína y metionina. Otro elemento inorgánico que está presente y forma parte de estos mismos aminoácidos es el potasio (Watson, 1988). La mayoría de los granos de cereales incluyendo el maíz, presentan un bajo contenido de calcio y de otros oligoelementos (FAO, 1993).

**Cuadro 2.** Contenido de minerales en el maíz\*

Mineral	Concentración (mg/100 g)
P	299.6 ± 57.8
K	324.8 ± 03.9
Ca	48.3 ± 12.3
Mg	107.9 ± 09.4
Na	59.2 ± 04.1
Fe	4.8 ± 01.9
Mn	1.0 ± 00.2
Zn	4.6 ± 01.2

\*Promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Fuente: Bressani *et al.* (1989)

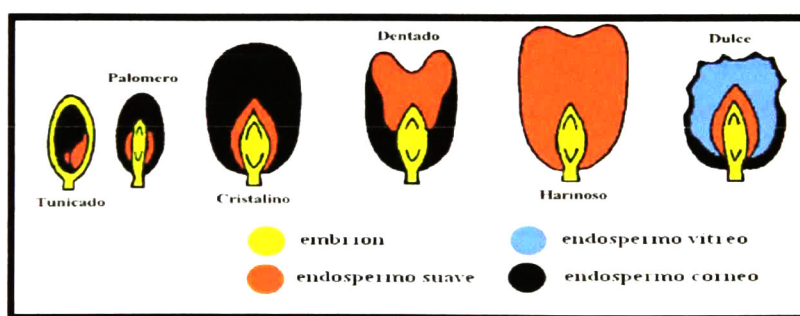
#### 1.1.3.6. Fibra dietética.

La fibra es un conjunto de productos que, a excepción de las ligninas (polímeros de alcoholes aromáticos), están constituidos por polisacáridos no degradables. La fibra dietética total incluye dos porciones diferentes, fibra insoluble y fibra soluble. La fibra insoluble está conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina.

La fibra soluble de forma natural contiene pectinas, gomas y mucílagos. Los componentes más importantes de la pared celular en el maíz son el pericarpio y el pedicelo desde el punto de vista nutricional, los cuales son fuente importante de fibra dietética. (Bressani *et al.*, 1989). Después del almidón, las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente que se encuentra en mayores cantidades en el maíz (FAO, 1993).

### 1.1.4 Tipos de maíz

La diversidad genética encontrada en el maíz es una de las mayores en el mundo vegetal, por lo que se pueden encontrar maíces de muy diversos colores, aunque los principales son: blanco, cremoso, amarillo y los denominados pigmentados como el rojo y el azul (Salinas *et al.*, 2003). Puede ser clasificado en distintos tipos de acuerdo con: a) la constitución del endospermo y del grano; b) el color del grano; c) el ambiente en que es cultivado; d) la madurez, y e) su uso. La clasificación más aceptada se basa en la constitución del endospermo y del grano (Paliwal *et al.*, 2001). Dentro de los tipos más importantes de maíz se encuentran los siguientes: tunicado, palomero, cristalino, dentado, harinoso, dulce y ceroso (Figura 2). Otro tipo de maíz obtenido en la búsqueda de una mejor calidad de las proteínas que puede ser agregado a los anteriores es el QPM (Quality Protein Maize) (Paliwal *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Clasificación de granos de maíz de acuerdo a la constitución del endospermo y del grano. Fuente: Sturtevant (1989).



- **Maíz tunicado (*Zea mays tunicata*).** Este tipo de maíz no se cultiva normalmente en forma comercial, además de que es un tipo muy escaso cuyos granos están encerrados en una vaina. La mazorca se encuentra cubierta por una envoltura foliar como la de otros tipos de maíz. Este grupo no tiene importancia económica, aunque su valor es como material genético y citogenético (Reyes, 1990; FAO, 1993; Desrosier, 1999; Paliwal *et al*, 2001).
- **Maíz reventador o palomero (*Zea mays everta*).** Esta es una forma extrema de maíz cristalino, con endospermo cristalino, que ocupa la mayor parte del grano, así como una pequeña cantidad de almidón suave en la zona basal del mismo. Los granos son pequeños, de color amarillo intenso o anaranjado, ligeramente blanquecinos, con pericarpio grueso y varían en su forma de redondos a ovalados. Al calentar el grano, revienta y el endospermo se expone. El principal uso del maíz reventador es para bocadillos (rositas, rosetas o palomitas) (Reyes, 1990; FAO, 1993; Desrosier, 1999; Paliwal *et al*, 2001).
- **Maíz cristalino (*Zea mays indurata*).** Este tipo de maíz presenta un endospermo duro y gránulos de almidón compactados en una matriz proteica. Los granos son redondos, duros y suaves al tacto. Su principal uso es en la alimentación humana y como materia prima para la obtención de alcohol y almidón (Reyes, 1990; FAO, 1993).
- **Maíz dentado (*Zea mays indentada*).** El grano de este maíz es el más ampliamente cultivado. El endospermo del maíz dentado tiene más almidón suave que los maíces cristalinos y su almidón cristalino está limitado solo a la periferia del grano. Cuando el grano se comienza a secar, el almidón suave en la parte superior del grano se contrae y produce una pequeña depresión, esto da la apariencia de un diente y de ahí deriva su nombre. Los maíces más cultivados son los de color blanco y son más preferidos para la alimentación humana.

También los hay de color amarillo, los cuales se utilizan para alimentación de animales. Ambos tipos son importantes materiales de uso industrial (Reyes, 1990; FAO, 1993; Desrosier, 1999; Paliwal *et al*, 2001).

- **Maíz harinoso (*Zea mays amylacea*).** Es uno de los tipos más antiguos de maíz. El endospermo está compuesto casi exclusivamente por almidón blando, que se raya fácilmente con la uña aun cuando el grano no esté maduro o próximo a su cosecha. Estos maíces son casi exclusivamente utilizados como alimento para humanos y algunas poblaciones lo utilizan para la preparación de platos especiales y bebidas (Serna *et al.*, 1994; Sandhu *et al.*, 2004).
- **Maíz dulce (*Zea mays saccharata*).** El endospermo de este tipo de grano tiene alrededor de 11% de azúcares de aspecto transparente cuando su estado es inmaduro. Se cultiva también para consumo humano, siendo las principales formas de preparación asado o hervido. En el momento de la cosecha el grano tiene cerca de 70% de humedad y no ha comenzado aún el proceso de endurecimiento. Los granos poseen un alto contenido de azúcares y son de sabor dulce (Reyes, 1990; FAO, 1993; Desrosier, 1999; Paliwal *et al*, 2001).
- **Maíz ceroso (*Zea mays cerea*).** El nombre de este grano es debido a que su endospermo tiene un aspecto opaco y ceroso. Se le distingue principalmente porque el almidón de su endospermo está compuesto en su mayoría de moléculas de amilopectina. En años recientes, la química de la amilopectina del maíz ceroso ha sido estudiada en detalle para su uso con fines industriales. Este tipo de maíz se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos (Reyes, 1990; FAO, 1993; Desrosier, 1999).
- **QPM (*Quality Protein Maize*).** Posee un gen mutante recesivo 0-2 que contiene en su endospermo aproximadamente el doble de dos aminoácidos esenciales: lisina y triptofano. Esto mejora la calidad de las proteínas que se encuentran en el maíz común. En el maíz QPM se ve afectada la calidad de las proteínas y no su cantidad (FAO, 1993; Paliwal *et al.*, 2001).

### 1.1.5 Producción y consumo de maíz.

El maíz es el cultivo más importante de México, forma parte de la dieta de los mexicanos y está presente en más de 4 mil productos (almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal, entre otros). Ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país y representa casi una tercera parte del valor de la producción agrícola total. En México existen alrededor de 3 millones de productores de este grano, además de ser el cuarto productor mundial, solo después de Estados Unidos, China y Brasil.

En el año 2007, se cosecharon en México aproximadamente 20.5 millones de toneladas de maíz (Figura 3), cifra 17.4% superior a la producción obtenida en el año 2000 (SAGARPA, 2005).

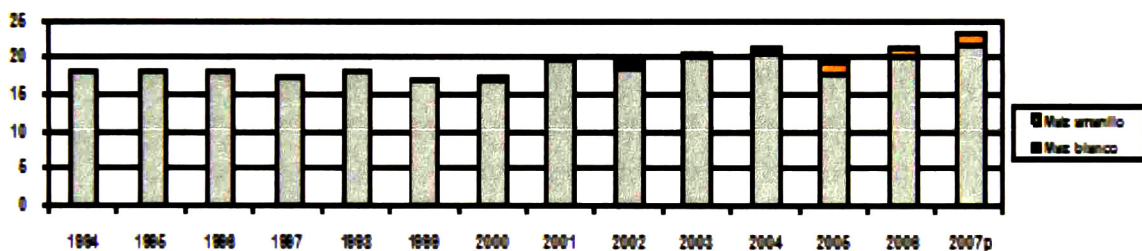


Figura 3. Producción nacional por tipo de maíz (Millones de toneladas).

Fuente: SAGARPA (2005)

Actualmente, se ha reportado que la producción anual no es suficiente para la demanda que se tiene, debido a esto, se ha incrementado la importación de este grano durante los últimos años, lo que ha colocado a nuestro país como el principal importador de los Estados Unidos de América.

### 1.1.6 Usos del maíz

El maíz se consume a nivel mundial en múltiples formas, encontrándose entre estas: atole, pan, palomitas, tortillas y productos extrudidos como cereales para desayuno (Serna-Saldívar *et al*, 1987). Algunas formas más especializadas de consumir el maíz son por ejemplo cuando el grano se fermenta para elaborar *ogi* en Nigeria (Oke, 1967) y otros países de África (Hesseltine, 1979). En Colombia y Venezuela, el grano de maíz se descascara, desgermina y precuece para elaborar un alimento muy popular conocido como arepas (Rodríguez, 1972).

En Egipto es muy común la elaboración de *aish merahra*, un pan plano de maíz que se sazona con alholva y se fermenta mediante una levadura de masa agria.

En el Líbano se consume un producto similar llamado *markouk* (FAO, 1993). El grano de maíz también se utiliza como adjunto para fabricar cerveza.

Actualmente, el maíz también se utiliza para alimentación animal, lo cual generalmente ocurre en los países más desarrollados. Además, este cereal es utilizado como materia prima para la elaboración de más de 800 productos industriales encontrándose entre ellos: papel, adhesivos, fermentados, fármacos y alcohol (Reyes, 1990). El maíz ha creado una tradición culinaria, ya que en nuestro país se han identificado plenamente cerca de 605 platillos elaborados a base de este grano (Torres y Morales, 1997).

En México, la principal forma de consumir el maíz es en tortillas y productos derivados de ella, por ejemplo: tacos, sopes, enchiladas, huaraches, tostadas, botanas y otros (Reyes, 1990).

Los anteriores, son algunos ejemplos de cómo el maíz es altamente consumido, ya sea mínimamente procesado o en algunos casos, con procesos que comprenden múltiples etapas, aunque todas de fácil realización.

## **1.2 La tortilla de maíz**

La tortilla tradicional de maíz es un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado, cuyas dimensiones varían de 1.2 a 2 mm de espesor y aproximadamente 15 cm de diámetro (Campas- Baypoli *et al.*, 2002). Ésta se prepara a partir de una masa sometida a cocción sobre una superficie preferentemente metálica (comal) caliente (260 – 280°C) (Novelo y García, 1987).

La elaboración de tortillas puede ser a mano, así como en máquina semiautomática o automática. Tiene tres etapas de contacto con la superficie caliente (volteo) de 17, 50, y 24 segundos cada una, es decir, 41 segundos por un lado y 50 por el otro.

Se forma una capa delgada durante la primera etapa; la segunda etapa da lugar a la formación de una capa gruesa, y finalmente en la tercera ocurre la evaporación de agua entre las dos capas, lo que hace que ambas capas se separen y se infle la tortilla (Arámbula *et al.*, 1999).

En la zona norte de nuestro país se prefiere el maíz blanco para la elaboración de tortillas, no siendo así en la zona sur, donde el maíz amarillo es el más utilizado para el mismo fin (Torres y Morales, 1997), aunque en algunas regiones es muy común que la población utilice el maíz de color negro, morado, azul o rojo para la elaboración de tortillas y derivados de esta (Iturriaga, 1987).

### **1.2.1 Producción y consumo de tortilla**

En México, la industria de la tortilla es una de las más sobresalientes dentro de la industria alimentaria en importancia económica. La venta de este producto y sus derivados, representa un gran porcentaje de los productos alimenticios comercializados. Para el 2008 se reportó un volumen de producción de 12 millones de toneladas de tortilla, lo que fue equivalente a un consumo “*per cápita*” de 120 kilogramos anuales, esto es, 329 gramos/día (Figuroa *et al.*, 2001).

Se estima que la tortilla se consume por el 95% de la población mexicana (Torres y Morales, 1997). La tortilla forma parte de la dieta de la población de todos los estratos sociales y provee, por sí sola, aproximadamente, el 38.8% de las proteínas, el 45.2% de las calorías y el 49.1% del calcio de la dieta diaria de la población mexicana. Estos porcentajes se ven acentuados en las zonas rurales, donde se ha reportado que la tortilla provee aproximadamente el 70% del total de calorías y hasta el 50% de las proteínas ingeridas diariamente (Serna-Saldívar, 2000).

### **1.2.2 Elaboración de tortillas de maíz**

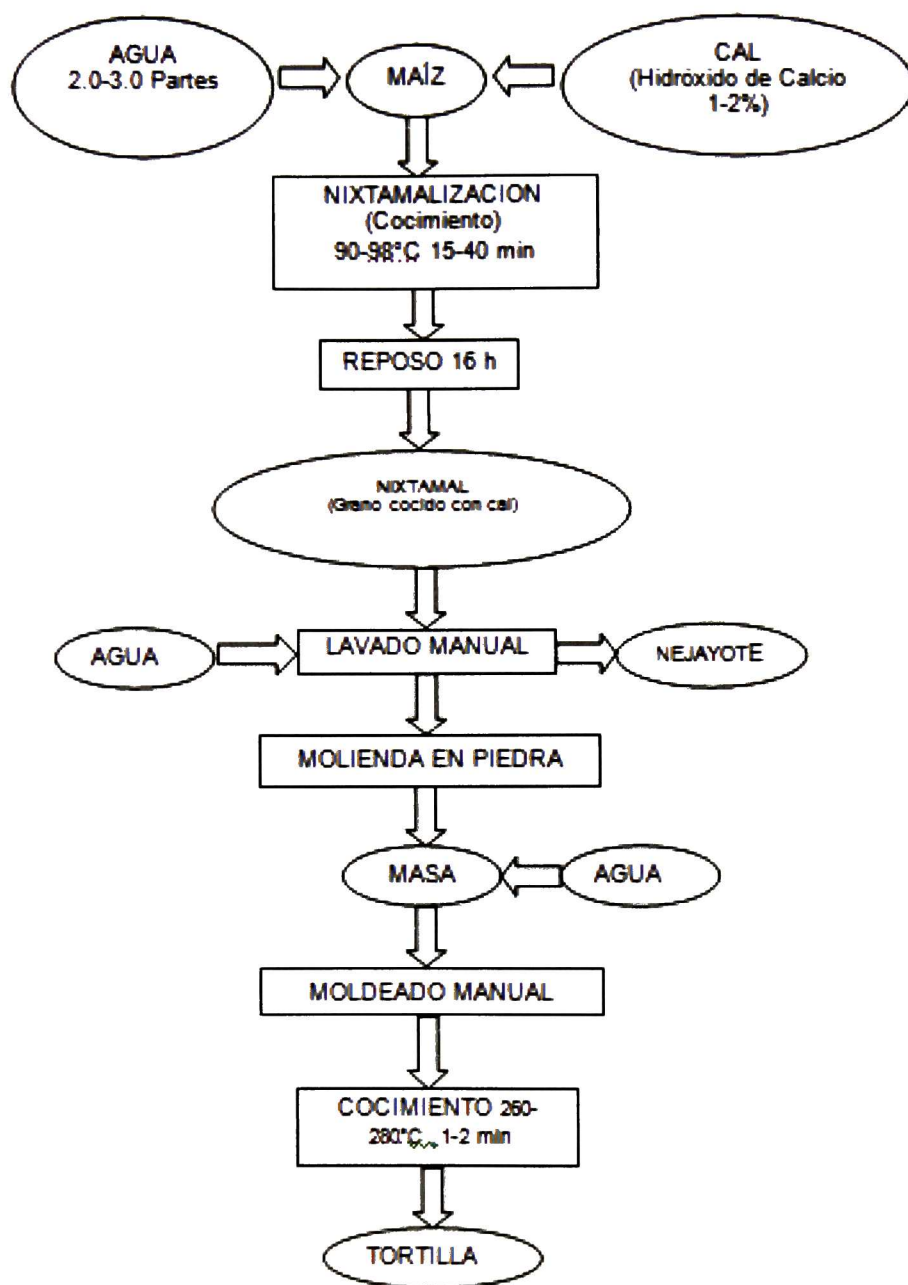
La tecnología para producir tortilla de maíz es muy antigua y se ha transmitido de generación en generación durante el transcurso de los años; este procedimiento se denomina nixtamalización (del náhuatl, *nextli*, cal de cenizas y *tamalli*, masa cocida de maíz (Cabrera, 1992). Se conocen al menos dos procesos para elaborar tortillas: el tradicional y el industrial.

#### **1.2.2.1 Proceso tradicional.**

En este proceso (Figura 4), parte de los componentes del grano (pericarpio y otros sólidos solubles) son removidos y desechados a través del “nejayote”. El nejayote es el agua de cocimiento, la cual contiene junto con algunas partes del pericarpio y otros sólidos solubles de los granos de maíz, gran cantidad de la cal utilizada en este proceso (Arámbula *et al.*, 2001).

#### **1.2.2.2 Proceso industrial.**

En la actualidad, los procesos a nivel industrial para la producción de tortillas (Figura 5) se dividen en las mismas etapas que en el proceso tradicional, aunque con características específicas como son: altos volúmenes de producción, tiempos de proceso más cortos y principalmente homogeneidad de los productos obtenidos (Serna- Saldívar *et al.*, 1990).



**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso tradicional para la producción de tortillas.

Fuente: Arámbula *et al.* (2001)

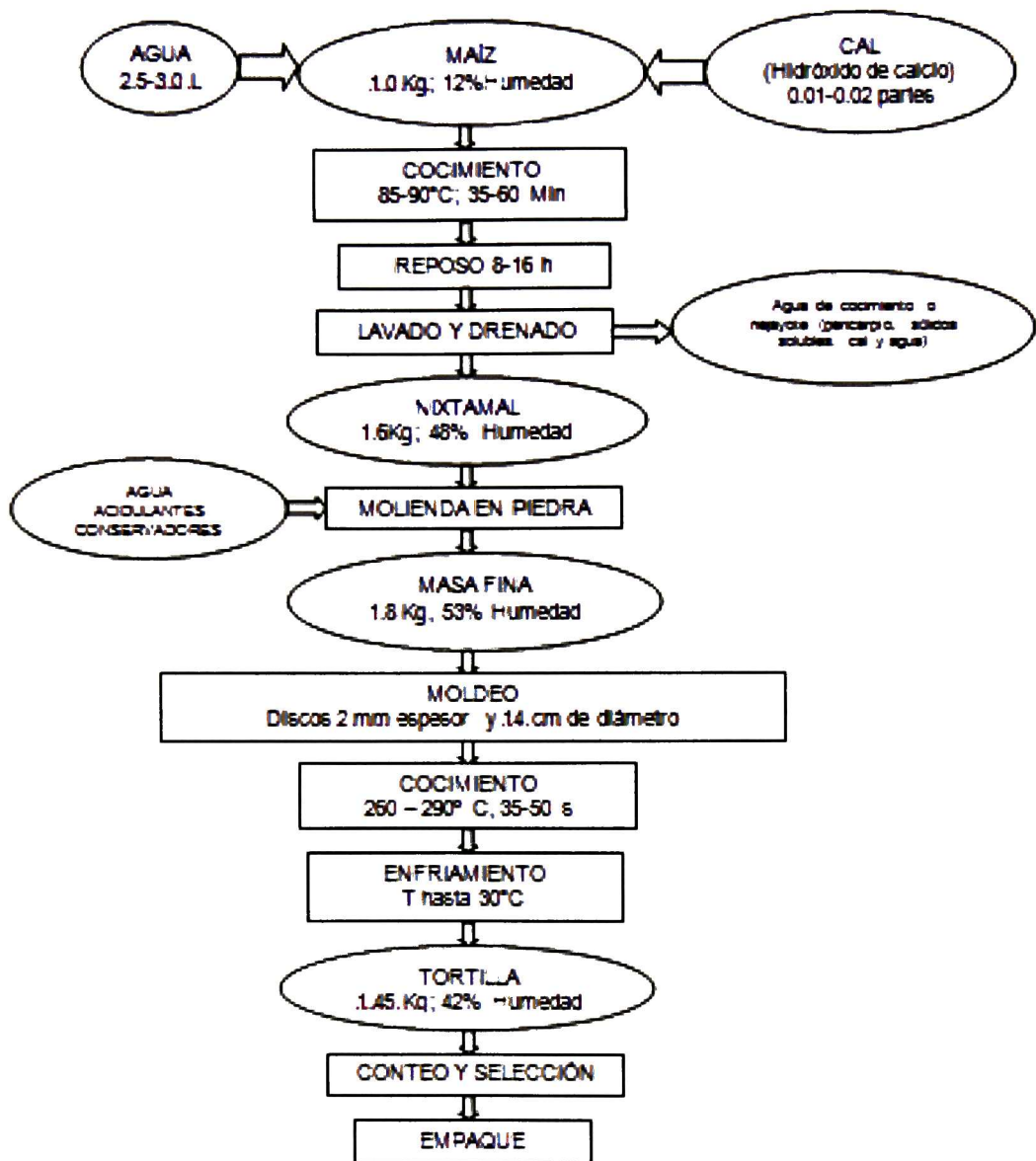


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso industrial para la elaboración de tortillas.

Fuente: Arámbula *et al.* (2001)



### **1.2.3. Cambios importantes durante la elaboración de la tortilla**

#### **1.2.3.1 Transformación grano-masa (nixtamalización).**

Durante el proceso de nixtamalización se presentan diferentes cambios fisicoquímicos y estructurales en los diversos componentes del grano de maíz, mismos que han sido reportados por varios investigadores.

El cocimiento alcalino y el reposo provocan una disolución parcial de la cutícula y otras capas del pericarpio (Paredes y Saharópulus, 1983), el hinchamiento y debilitamiento de las paredes celulares y de los componentes de la fibra que facilita la eliminación del pericarpio, por otro lado, las células de aleurona permanecen intactas y quedan unidas en la periferia del endospermo (Paredes y Saharópulus, 1983; Gómez *et al.*, 1989).

Además, las paredes celulares son parcialmente degradadas y solubilizadas (detectadas por la pérdida de fluorescencia en las paredes celulares de la periferia del endospermo) (Gómez *et al.*, 1989), gran parte del tejido del germen se retiene durante la gelatinización traduciendo en efectos positivos en la calidad proteica de los productos de la masa (Paredes y Saharópulus, 1983), entre otros.

A nivel molecular, los cambios que se presentan y se han reportado para los diferentes componentes son:

#### **1.2.3.2 Agua**

a) Cuando el grano se somete a cocimiento, absorbe más agua en una solución con cal que en agua sin cal.

b) Durante el cocimiento alcalino el grano absorbe agua hasta alcanzar un 40-42% de humedad, registrándose la mayor absorción durante los primeros 15 minutos.

c) Durante el reposo, la humedad del grano aumenta de un 4 a 7% y se provoca una mejor distribución de la misma dentro del grano (Serna- Saldívar *et al.*, 1990).

### **1.2.3.3 Calcio**

a) Los iones de calcio son transportados por el agua hasta el pedicelo, pericarpio y endospermo. El calcio presenta un comportamiento de absorción semejante al del agua, aunque en menor proporción (Trejo *et al.*, 1982).

b) La mayor cantidad de calcio se acumula en el germen y el pericarpio. Trejo *et al.* (1982) indicaron que el calcio se enlaza al almidón.

### **1.2.3.4 Proteínas**

a) Durante el proceso de nixtamalización se altera la solubilidad de las proteínas (Ortega *et al.*, 1986; Vivas *et al.*, 1987). En el cocimiento del grano (nixtamalización) y el cocimiento de la masa, disminuye la solubilidad de las albúminas, globulinas y las prolaminas (Serna- Saldívar *et al.*, 1990).

b) Se altera la distribución del peso molecular de las diferentes fracciones proteínicas.

c) Se ha reportado que mediante este proceso se aumenta la biodisponibilidad de niacina y mejora la digestibilidad de las proteínas de las tortillas (Serna-Saldívar *et al.*, 1987; Sproule *et al.*, 1988; Wall y Carpenter, 1988; Koetz y Neukom, 1977).

En general, los tratamientos térmicos secuenciales que se aplican durante todo el proceso producen interacciones hidrofóbicas, desnaturalización de proteínas y entrecruzamientos proteicos. Estos cambios químicos son los responsables de la disminución en la solubilidad de las proteínas y de la alta cantidad de proteína insoluble que se recupera en el residuo cuando se extraen por el método de Osborne-Mendel (Serna- Saldívar *et al.*, 1990).

### 1.2.3.5 Almidón.

Con respecto a la molécula de almidón, los cambios que se presentan son:

a) El gránulo absorbe agua y se hincha durante la etapa de cocimiento y reposo. En esta etapa y durante el cocimiento de la tortilla, del 4 al 6% de los gránulos de almidón pierden totalmente su birrefringencia (Gómez, 1988).

b) Se incrementa la susceptibilidad a la hidrólisis por glucoamilasas.

c) Se pierde parcialmente la birrefringencia del gránulo.

d) La estructura del gránulo de almidón nativo se rompe parcialmente, observándose mediante rayos X una estructura menos organizada (Gómez *et al.*, 1989).

Estudios realizados por Agama *et al.* (2004) con maíces pigmentados, reportaron patrones de difracción de rayos X para maíces crudos y nixtamalizados con diferencias en la intensidad de los picos, diferencias que se hicieron evidentes al calcular los índices de cristalinidad. Además, dichos autores reportaron ligeros cambios en el tamaño y forma de los picos de los maíces nixtamalizados, debido al desarreglo de la estructura cristalina con la cocción del grano de maíz.

Arámbula *et al.* (2000), realizaron un estudio con masas de maíz extrudidas con diferentes tratamientos, encontrando que a temperaturas de procesamiento altas, se presenta reducción en la intensidad de los picos de difracción de rayos X, lo cual indicó una disminución en el grado de cristalinidad del material.

e) Durante el reposo se aprecia una estructura parecida a la del gránulo nativo, por lo que se ha observado que en esta etapa se produce una reordenación parcial debido a una recristalización. Esta reasociación de las moléculas de almidón puede ser la responsable del desarrollo de las propiedades reológicas de la masa (Serna- Saldívar *et al.*, 1990).

f) Otro efecto que tiene la nixtamalización es la reducción de la concentración de aflatoxinas en aproximadamente dos terceras partes (Ulloa y Schroeder, 1969).

#### **1.2.4 Transformación masa-tortilla (cocción).**

Al moler el grano nixtamalizado los componentes son liberados y al mezclarlos dan lugar a la masa, la cual está formada de fragmentos de germen, residuos de pericarpio y endospermo, atrapados todos ellos en una mezcla aglutinante de gránulos de almidón fundidos, una malla de matriz proteica y lípidos emulsificados (Serna-Saldívar *et al.*, 1987; Serna- Saldívar *et al.*, 1990).

La textura de la masa es crítica para la etapa de moldeo de las tortillas. Cuando la textura es adecuada, la masa es adhesiva a tal grado que se pega a los rodillos formadores, aunque se logra despegar fácilmente.

En general una masa recocida, es una masa muy pegajosa y por el contrario, una masa poco cocida será una masa poco cohesiva e inadecuada para formar tortillas (Arámbula *et al.*, 2000).

Después que la masa es preparada, se troquela y se somete a cocción para obtener la tortilla. La combinación de temperatura (260-300°C) y la alta humedad (51-55%) facilita la gelatinización del almidón. Sin embargo, ésta es incompleta debido al corto tiempo de cocimiento (20-90 s) (Serna Saldívar *et al.*, 1990). En esta etapa es donde se pierde la mayor parte de la birrefringencia de los gránulos de almidón (Gómez, 1988) y se observa en la tortilla, una deformación y ruptura de dichos gránulos (Gómez *et al.*, 1989).

En general los cambios que se presentan al cocer una masa para elaborar tortillas son: complemento de la gelatinización, disminución del índice de solubilidad de almidón, pérdida de birrefringencia en el gránulo de almidón y disminución de la viscosidad de la solución (Gómez *et al.*, 1992).

### **1.3 La inulina.**

Los carbohidratos son las moléculas biológicas más abundantes en la naturaleza. Se encuentran en todas las formas de vida y se presentan en forma de azúcares, almidones y fibras. Se han usado por generaciones en la industria alimentaria como espesantes, gelificantes, crioprotectores, emulsificantes, humectantes, edulcorantes, estabilizantes, sustitutos de grasa en alimentos bajos en calorías, y pueden conferir sabor, textura y aroma a los alimentos, haciendo que la comida sea más variada y agradable.

En términos de nutrición se ha ponderado la influencia de los carbohidratos en la salud humana y la recomendación de disminuir el consumo de grasa. Está reportado que al menos el 55% de las calorías que se consumen diariamente deben de provenir de los carbohidratos, destacando que gran parte de este aporte debe corresponder a hidratos de carbono complejos con bajo índice glicémico.

Nuevos conceptos sobre nutrición se han emitido como, por ejemplo, que muchos alimentos tienen beneficios más allá de su composición como nutrientes. En este contexto, los carbohidratos, además de ser fuente de energía y fibra, tienen funciones fisiológicas y nutricionales más complejas, convirtiéndose en lo que se conoce como alimentos nutracéuticos o funcionales. Este tipo de alimentos incluyen ingredientes con funciones nutricionales en su formulación, y confieren efectos benéficos sobre la salud del usuario. En este caso, tanto la inulina como los fructoligosacáridos (FOS) han sido reconocidos oficialmente como ingredientes funcionales y se clasificaron como fibra dietética en la mayoría de los países de la Comunidad Europea. El consumo diario de inulina se estima en 1-4g en EUA y entre 3-12g en Europa.

La inulina es un extracto natural de la raíz de algunas plantas. Forma parte del grupo de los oligosacáridos con la composición de un hidrato de carbono de cadena larga. Forma parte de la fibra alimentaria y su incorporación a la dieta diaria es de gran importancia pues llega al intestino casi sin digerir por lo que aumenta el desarrollo de las bacterias bífidas.

### **1.3.1 Propiedades y beneficios de la inulina.**

Son muchas las propiedades benéficas de la inulina, entre ellas se pueden destacar las siguientes:

- Es una fibra dietética soluble.
- Promueve los movimientos intestinales, regulando el tránsito intestinal.
- Estimula el crecimiento de la flora intestinal.
- Tiene actividad prebiótica pues promueve el crecimiento de microorganismos beneficiosos para la salud.
- Reduce el colesterol.
- Mejora la absorción del calcio, magnesio, fósforo, etc.
- Ayuda a equilibrar los niveles de insulina en la sangre.
- Tiene un valor calórico bajo.
- Mejora la sensación de bienestar general en la persona.
- Inhibe la acumulación de triglicéridos en el hígado, reduciendo el riesgo de aterosclerosis.
- Al potenciar la absorción del calcio reduce la aparición de osteoporosis ya que aumenta la densidad mineral del hueso.
- Es recomendable para niños y adolescentes porque ayuda a aumentar el capital cálcico, por la misma razón es conveniente para mujeres embarazadas y personas mayores.
- Disminuye el pH intestinal y facilita el tránsito de las heces.
- Acelera el vaciado del estómago y la velocidad de tránsito a lo largo del intestino, por lo que la absorción de calorías es menor.

- Mejora el aprovechamiento de las vitaminas del grupo B.

La inulina está reconocida como segura por los organismos de control de alimentos, y su incorporación a productos alimenticios está autorizada en Europa desde el año 2007.

Generalmente la inulina se extrae de la raíz de la achicoria y se comercializa como suplemento nutricional, pero esta sustancia no solo se encuentra en la raíz de la achicoria sino que se encuentra también en otros vegetales como la alcachofa, el ajo, la cebolla, el espárrago, el puerro, el trigo, el plátano, y en la piña del agave azul (agave tequilana), materia prima que se utiliza para la elaboración del tequila.

### **1.3.2 Características funcionales y tecnológicas de la inulina.**

La inulina es un componente natural de algunas frutas y hortalizas, aunque industrialmente se extrae de las raíces de la achicoria mediante un proceso de extracción con agua caliente seguido de una etapa de purificación y de otra de cristalización. En esta investigación se trabajó con inulina de agave azul, del cual se obtiene entre un 16 y 25% de inulina, mayor porcentaje que el que normalmente se extrae de la achicoria (10 - 15%). En general, la inulina nativa es una mezcla de cadenas de oligómeros y polímeros con un número variable de moléculas de fructosa, unidas por enlaces  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 1) que suele incluir en su extremo, una molécula de glucosa. Es la configuración  $\beta$  de este enlace la que le confiere su carácter de fibra dietética (Flamm *et al.*, 2001) ya que es la responsable de que la inulina sea resistente a la hidrólisis en el intestino delgado ya que las enzimas digestivas que actúan en el mismo, son específicas para los enlaces  $\alpha$ -glicosídicos. El grado de polimerización de las cadenas que la integran oscila entre 2 y 60 unidades, teniendo en promedio un grado de polimerización de 12. La hidrólisis enzimática parcial de la inulina nativa, con una endo-inulinasa, se obtiene oligofructosa, con un grado de polimerización medio de 4. Mediante métodos físicos (ultrafiltración, cristalización, etc.), se eliminan los oligómeros de grado de polimerización inferior a 10, y se obtiene la inulina de

cadena larga con grado de polimerización medio entre 22 y 25 (Franck, 2002; Moerman *et al.*, 2004).

La ingestión de inulina puede aportar, no solo los beneficios inherentes a su condición de fibra dietética (reducción de los niveles de lípidos y de colesterol en la sangre, regulación del tránsito intestinal, incremento de la adsorción de calcio, etc.) (Flamm *et al.*, 2001) sino también, los derivados de su carácter prebiótico, relacionados sobre todo con la estimulación del crecimiento de las bifidobacterias (Roberfroid *et al.*, 1998; Roberfroid y Slavin, 2000), y con la regulación de la flora intestinal del colon disminuyendo el crecimiento de las bacterias de las clases fusobacteria y clostridia (Kaur y Gupta, 2002). Roberfroid (2005) resumió las funciones fisiológicas que pueden tener los fructanos tipo inulina en tres grupos: a) Funciones suficientemente contrastadas científicamente, en las que se incluyen, además de las citadas anteriormente, la mejora en la absorción de determinados minerales (Ca y Mg) y la reducción de la lipogénesis hepática; b) Funciones sobre las que hay estudios convincentes pero que necesitan todavía una confirmación, como las relacionadas con el metabolismo del colesterol, con la función inmune, con la atenuación de los procesos inflamatorios o con la reducción del riesgo de padecer cáncer de colon y finalmente c) Funciones relacionadas con los resultados prometedores de algunas investigaciones recientes (absorción gastrointestinal de otros minerales: Fe, Cu, Zn), incremento de la resistencia a las infecciones intestinales, reducción del riesgo de metástasis en los procesos cancerosos, etc.

El efecto prebiótico de la inulina depende de varios factores, especialmente de la composición de la flora intestinal de cada individuo. Cuanto menor es la cantidad de bífidus en dicha flora, mayor es el efecto. Debido a esta variabilidad individual, no se puede establecer una relación directa entre la ingesta de inulina y el incremento de bífidus, ni definir una dosis de validez general (Roberfroid, 2005). No obstante, un consumo mínimo de 5g/día se considera suficiente para incrementar la proporción de bífidus en la microflora intestinal (Roberfroid *et al.*, 1998; Roberfroid y Slavin, 2000).



Aunque todos estos macronutrientes son fermentados por las bifidobacterias en el colon, la velocidad de fermentación depende de su grado de polimerización. Los oligómeros con grado de polimerización inferior a 10 es, aproximadamente, el doble que la de las moléculas más largas (Roberfroid *et al.*, 1998) por lo que, en función de la longitud de las cadenas, la fermentación se produce en zonas distintas del colon, la actividad metabólica tiene distinta duración y se pueden producir variaciones en su efecto fisiológico (Coudray *et al.*, 2003; Biedrzycka y Bielecka, 2004; Roberfroid, 2005; Van Loo *et al.*, 2005). Ello parece indicar que la utilización de inulinas de distinto grado de polimerización podría dar lugar a alimentos con diferentes efectos fisiológicos.

Además de los efectos benéficos para la salud, la inulina tiene propiedades tecnológicas interesantes, ya que puede ser utilizada como edulcorante de contenido calórico reducido, como sustituto de grasa, o para modificar la textura (Tungland y Meyer, 2002). Estas propiedades están ligadas al grado de polimerización de sus cadenas.

La inulina de cadena corta u oligofruktosa es mucho más soluble y más dulce que la inulina nativa, con un perfil de dulzor similar al de la sacarosa, con menor contenido calórico (1-2 Kcal/g) y con un poder edulcorante inferior (30-35%). Esta sustancia podría ser útil para reemplazar parcialmente la sacarosa de una formulación o sustituirla totalmente cuando se combina con otros edulcorantes no-calóricos.

La inulina de cadena larga, con grado de polimerización alto (22-25), es más estable térmicamente, menos soluble y más viscosa que la nativa (Wada *et al.*, 2005), y tiene una capacidad como sustituto de grasa, que es prácticamente el doble que la de la inulina nativa (Voragen, 1998; Coussement P.A, 1999).

### 1.3.3 La inulina como prebiótico.

El concepto de prebiótico se definió por primera vez por Gibson y Roberfroid (1995) y fue actualizado por Gibson *et al*, 2004 como “Un prebiótico es un ingrediente fermentado selectivamente que permite cambios específicos, tanto en la composición y/o la actividad de la microflora gastrointestinal que confiere beneficios al bienestar de acogida y de salud”. Por lo tanto, las bacterias deseables (bifidobacterias y lactobacilos) se vuelven más prominentes en el intestino lo cual es beneficioso para el huésped humano.

Por lo tanto un prebiótico debe cumplir con tres criterios (Gibson *et al*, 2004):

- resiste la acidez gástrica, la hidrólisis por las enzimas de los mamíferos y la absorción gastrointestinal;
- es fermentado por la microflora intestinal;
- estimula selectivamente el crecimiento y / o actividad de las bacterias intestinales asociadas con la salud y el bienestar.

Este concepto implica que los prebióticos deben ser estables en el estómago, es decir, que el ácido no debe influir sobre ellos, no deben ser absorbido en el intestino delgado y por lo tanto ser capaces de alcanzar el colon, en donde son selectivamente fermentados por bacterias específicas que ejercen el beneficioso efecto en el huésped (Roberfroid, 2002). Los prebióticos son considerados como los “fertilizantes de las bacterias que colonizan el intestino grueso y que promueven la salud”. Todos los prebióticos, como la inulina, son carbohidratos de cadena corta (3-10 monómeros) con bajo grado de polimerización (Manning y Gibson, 2004).

La glucosa, galactosa, fructosa y xilosa son los bloques de construcción más comunes. Muchos oligosacáridos han sido propuestos como prebióticos, pero sólo el tipo inulina fructanos, transgalacto-oligosacáridos y lactulosa han alcanzado el estado prebiótico (Gibson *et al*, 2004).

Los oligosacáridos más comúnmente investigados por su actividad prebiótica son los fructo-oligosacáridos (FOS) y galactooligosacáridos (GOS).

La diferencia en la estructura entre la inulina y los FOS tiene su efecto en su funcionalidad, ya que la inulina es capaz de formar geles a través de cristales pequeños que no se perciben como dulce, por lo cual ha tenido éxito como sustituto de grasa, mientras que los FOS son más solubles, con un 30% menos de dulzor que el azúcar de mesa, por lo que son principalmente añadidos como reemplazo de azúcar.

La inulina, es un sustituto de grasa adicionada en el agua de productos de fase continuos (Wouters, 2010) y ha sido introducido en productos lácteos bajos en grasa (Meyer y Peters, 2009).

El consumo promedio diario de inulina y FOS, en la población europea se estima entre 3.2-11.3 g/día, y en los EE.UU. es de 4.1g/día, muy por debajo de Europa (Van Loo *et al*; 1995).

También se ha probado la introducción de la inulina y los FOS en productos de carne bajos en grasa como la mortadela y salchichas. En productos de panadería también han atraído mucho interés.

En 2008, el mercado de los prebióticos obtuvo ganancias de alrededor de 295,5 millones de euros y se prevé que para 2015 será de 766,9 millones de euros (Feick, 2009).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Elaborar y caracterizar tortillas de maíz adicionadas con inulina, determinar los parámetros de proceso para la producción comercial de las mismas y seleccionar los dos tratamientos que tengan características de calidad similares a las tortillas elaboradas en forma tradicional.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar y adquirir un tipo de maíz con buena calidad nixtamalera y determinar sus características físicas, químicas, fisicoquímicas, reológicas y estructurales.
- Elaborar harina de maíz nixtamalizado con buenas características para hacer tortillas, utilizando el método tradicional.
- Caracterizar las harinas deshidratadas y masas obtenidas con el maíz seleccionado y procesado.
- Determinar y evaluar las propiedades físico-químicas, estructurales, morfológicas y de textura de las masas y tortillas de maíz que se utilizarán como blanco o patrón.
- Determinar las concentraciones máximas de inulina que se pueden adicionar a las harinas deshidratadas de maíz nixtamalizado, sin que se pierdan sus propiedades características.
- Seleccionar y evaluar seis niveles de adición de inulina para determinar los cambios en todas las propiedades de las harinas, masas y tortillas elaboradas.
- Determinar y evaluar las propiedades físico-químicas, estructurales, morfológica y de textura (masa y tortilla) de las harinas, masas y tortillas adicionadas con inulina.
- Seleccionar los dos mejores tratamientos, en base a las características de harina, masa y tortillas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales.

Se utilizó maíz 30G54, mismo que fue seleccionado por tener reportadas, en estudios previos, buenas características nixtamaleras. Este maíz fue cosechado en el periodo primavera-verano del 2012 en la localidad de Cortázar, Guanajuato, México. También se utilizó inulina que fue proporcionada por la empresa Inulina y Miel de Agave (IMAG) S. A. de C.V. la cual se ubica en Capilla de Guadalupe, Jalisco. México.

#### 3.2. Métodos.

##### 3.2.1. Estrategia general de la investigación.

Para alcanzar los objetivos planteados se desarrolló la siguiente metodología general para la elaboración de la harina instantánea, masa y tortillas adicionadas con inulina, iniciando desde el grano de maíz, tomando como base el proceso tradicional de elaboración de tortillas (Fig. 6) reportado por Arámbula *et al.* (2001).

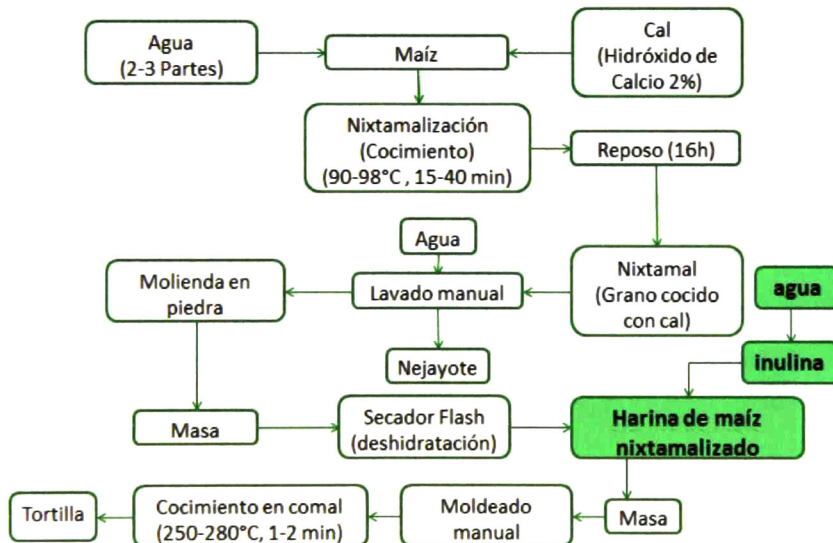


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración de tortillas adicionadas con inulina.

En el siguiente apartado se muestran los materiales y métodos que se utilizaron para la obtención de la harina nixtamalizada, masa y tortilla al igual que la caracterización de cada una de ellas.

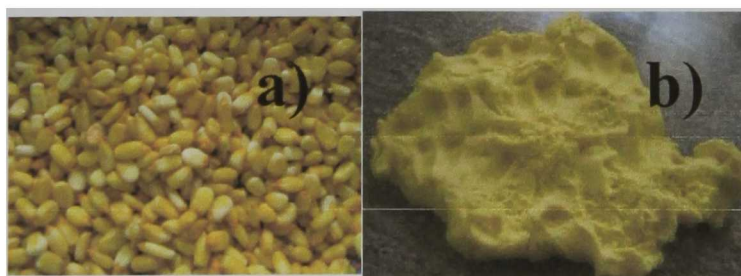
### **3.2.2. Elaboración de Nixtamal, harina de maíz nixtamalizado, masa y tortilla con y sin inulina.**

#### **3.2.3 Nixtamalización de maíz.**

En un recipiente se colocó agua (8 L) y se calentó a una temperatura de 90-92°C, posteriormente se adicionó el maíz (4 kg) y el 2% de hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$  grado alimenticio en base al peso del maíz. El tiempo de cocimiento de los granos fue establecido previamente en 30 min. Este tiempo se fijó de acuerdo al método empírico utilizado en la industria cuya base es la facilidad para desprender el pericarpio del grano al presionar éste con los dedos. Después de cocido, el grano se dejó reposar durante 16 horas.

#### **3.2.4 Elaboración de la masa.**

Al término del reposo, se separó el nejayote o agua de cocimiento del nixtamal, el cual se lavó ligeramente y se molió en un molino de piedras marca FUMASA, modelo US-25. Durante la molienda del nixtamal, se le adicionó el agua necesaria (50-100 ml/kg de nixtamal) para que el molino no presentara problemas de atascamiento, tratando de no elevar demasiado la humedad de la masa, ya que este material se sometería a deshidratación como siguiente paso.



**Figura 7.** Nixtamal lavado (a) y nixtamal molido (b).

### 3.2.5 Elaboración de la harina de maíz nixtamalizado.

La masa del maíz nixtamalizado, obtenida en la molienda, se deshidrató en un secador tipo flash (Desarrollo del CINVESTAV, Unidad Querétaro) a una temperatura de entrada de 270-275°C y una temperatura de salida de 40°C. Este procedimiento se hizo con la finalidad de producir harina con humedad de 8-10%. Posteriormente la harina de maíz nixtamalizado deshidratada obtenida se molió en un molino Pulvex (mod. 210, Guad. Jal., México) con malla 0.5mm, se dejó enfriar y se guardó en bolsas de polietileno, se selló y se almacenó en un cuarto frío a una temperatura de 4°C, hasta su utilización.

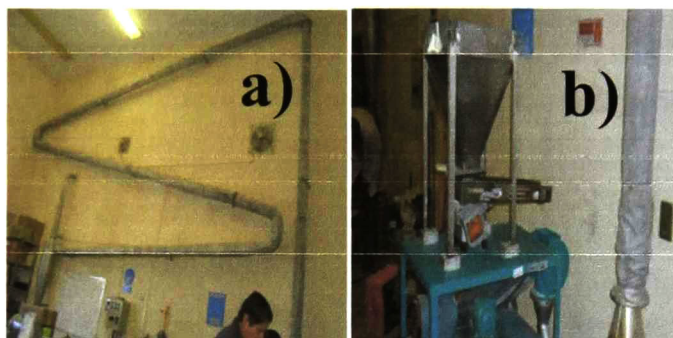


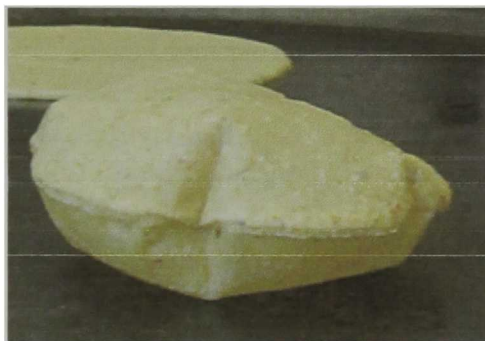
Figura 8. Secador Flash (a) y molino de martillos PULVEX (b).

### 3.2.6 Elaboración de las masas de harina de maíz nixtamalizado adicionadas con y sin inulina.

Después de haber obtenido la harina de maíz nixtamalizado se procedió a la elaboración de las tortillas adicionadas con inulina de la siguiente forma: se pesaron 300g de harina de maíz nixtamalizado y se colocaron en un recipiente para amasado. Por otro lado se tomó la inulina, se pesó y se disolvió en agua. La mezcla de agua-inulina se adicionó a la harina de maíz nixtamalizado ya preparada, se incorporó manualmente y se adicionó el agua necesaria hasta obtener una masa de buena consistencia. Una masa de buena consistencia es aquella masa que al presionarla entre dos placas metálicas cubiertas con plástico, hasta un espesor de alrededor de 2-3mm, se puede despegar sin romperse (Arámbula *et al.*, 2001).

### **3.2.7 Elaboración de las tortillas de maíz adicionadas con y sin inulina.**

Obtenida la masa, se procedió al moldeado de la tortilla utilizando una maquina tortilladora manual de rodillos marca Casa Gonzales (Monterrey, NL, México). El espesor de la tortillas se fijó mediante la calibración de la abertura entre los rodillos, la cual se calibró con un juego de láminas marca Kastar a 1.2 mm. El diámetro de las tortillas fue de 12.5cm. La masa troquelada se coció en un comal a una temperatura de 260-280°C, la cual fue determinada por medio de un termómetro de infrarrojo. También se estandarizaron los tiempos de cocimiento de las tortillas en :17 segundos por un lado para formar la capa delgada, se volteó y se cocinó por 30 segundos para hacer la capa gruesa, y se regreso al lado original para terminar de cocerla por 19 segundos más hasta lograr el inflado de la tortilla. Después del cocinado las tortillas se colocaron en una servilleta de tela, dentro de un recipiente térmico, hasta su utilización.



**Figura 9.** Cocimiento de la tortilla en comal.



### **3.2.8 Caracterización de la inulina**

#### **3.2.8.1. Perfil de viscosidad amilográfica**

Para la prueba de viscosidad amilográfica en la inulina. Se realizó utilizando el equipo Rapid Visco Analyzer, marca Newport Scientific, modelo RVA 3D (Sydney, Australia). Las pruebas se realizaron utilizando  $3\pm 0.001$  g de inulina, adicionándole el agua destilada necesaria para alcanzar un peso total de 28 g (Rapid Visco Analyzer (RVA), 1992). La muestra se colocó en el equipo, el cual produce una agitación rápida durante 10 segundos, para luego estabilizarse a velocidad constante de 160 rpm. Este equipo está en interfase con una computadora, que mediante un software controla un perfil de tiempos-temperaturas. Se utilizó un programa de tiempos y temperaturas de: 1 min a 50°C, aumentando la temperatura hasta 92°C, a una velocidad de 5.6 °C/min (7.5 min), permaneciendo 5 minutos a esa temperatura, y posteriormente disminuyendo la temperatura hasta 50°C, a la misma velocidad utilizada durante el calentamiento, y permaneciendo a esa temperatura durante 1 min, sumando un tiempo total de prueba de 22 min. Durante el desarrollo de la prueba la computadora monitorea automáticamente la viscosidad de la solución en (cP) y la temperatura (°C) graficándolas contra el tiempo (min) transcurrido en la prueba. Se reportó la temperatura inicial de gelatinización, el pico de viscosidad y la viscosidad de retrogradación. La prueba se hizo por duplicado.

#### **3.2.8.2 Morfología con microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM)**

Para conocer la morfología de la inulina se utilizó un Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) Philips modelo XL30 con un haz de 20 kV (50mA) y detector de GSE. Las muestras se prepararon de la siguiente forma: en un porta muestra del equipo se colocó cinta carbón doble cara sobre la cual se colocó alrededor de 1mg de muestra de inulina, se le hace incidir nitrógeno (gas) a baja presión para eliminar el exceso de muestra. El equipo se acondicionó para trabajar en módulo de bajo vacío. Se ajustó el haz de electrones a 15 kV de corriente. Se usó un detector de tipo GSE con un spotsize del láser de 4.5.

### **3.2.9 Caracterización de maíz.**

#### **3.2.9.1 Tamaño del grano.**

Para determinar el tamaño del grano se midió el largo, ancho y espesor del centro del grano. Se midieron 25 granos tomados al azar. Se utilizó un calibrador o vernier Digimatic, Mca. Mitutoyo Corp., con rango de medida de 0.01-150 mm. Los datos se reportan como el valor promedio y la desviación estándar de las mediciones.

#### **3.2.9.2 Peso de 1000 granos.**

Se tomaron 1000 granos al azar y se pesaron en una microbalanza Ohaus *Explorer*, con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de  $\pm 0.001$  g. Se hicieron tres repeticiones de cada medición, se obtiene la media y la desviación estándar de los datos.

#### **3.2.9.3 Dureza.**

Se seleccionaron al azar 10 granos de cada variedad de maíz, y se sometieron a una fuerza de penetración a través de un punzón con un ángulo de  $30^\circ$  el cual está conectado a un Analizador de Textura Universal model.TA-XT2, NY, EUA. La prueba se realizó a una velocidad de 2mm/s y 2mm de penetración, se registró la fuerza necesaria para la ruptura del grano.

#### **3.2.9.4 Humedad.**

Se procedió de acuerdo al método 44-19 de la AACC (1983). Cuatro gramos de muestra de maíz (grano entero) se colocaron en charolas de aluminio en una estufa con circulación de aire forzado a  $103^\circ\text{C}$  durante 72 h. Las pruebas se hicieron y se calcularon por diferencia de peso antes y después de deshidratarlas, además se hicieron por triplicado.

### 3.2.9.5 Perfil de viscosidad amilográfica de los granos.

Para la prueba de viscosidad amilográfica en granos de maíz, se procedió a moler el grano crudo con la ayuda de un molino para café marca Krubs (México, D.F), después se pasó por un tamiz marca Mont-Inox US. No. 60 y se procedió a lo siguiente. Esta determinación se realizó utilizando el equipo Rapid Visco Analyzer, marca Newport Scientific, modelo RVA 3D (Sydney, Australia). Las pruebas se realizaron utilizando  $3\pm 0.001$  g de maíz pulverizado sin procesar con tamaño de partícula menor a 0.25 mm (tamiz US, No.60), ajustadas a una humedad del 14% en peso, adicionándole el agua destilada necesaria para alcanzar un peso total de 28 g (Rapid Visco Analyzer (RVA), 1992). La muestra se colocó en el equipo, el cual produce una agitación rápida durante 10 segundos, para luego estabilizarse a velocidad constante de 160 rpm. Este equipo está en interfase con una computadora, que mediante un software controla un perfil de tiempos-temperaturas. Se utilizó un programa de tiempos y temperaturas de: 1 min a 50°C, aumentando la temperatura hasta 92°C, a una velocidad de 5.6 °C/min (7.5 min), permaneciendo 5 minutos a esa temperatura, y posteriormente disminuyendo la temperatura hasta 50°C, a la misma velocidad utilizada durante el calentamiento, y permaneciendo a esa temperatura durante 1 min, sumando un tiempo total de prueba de 22 min. Durante el desarrollo de la prueba la computadora monitorea automáticamente la viscosidad de la solución en (cP) y la temperatura (°C) graficándolas contra el tiempo (min) transcurrido en la prueba. Se reportó la temperatura inicial de gelatinización, el pico de viscosidad y la viscosidad de retrogradación. Las pruebas se hicieron por duplicado.



**Figura 10.** Equipo Rapid Visco Analyzer (RVA).

### 3.2.9.6 Color en grano.

Para la medición de los granos de maíz se utilizó un colorímetro Mca. Hunter Lab MiniScan, procediéndose de la siguiente forma: el colorímetro se calibro con una placa blanca de porcelana. Los granos de maíz se colocaron en un contenedor de cuarzo, para su medición en el equipo. Las lecturas se realizaron por duplicado con respecto a cuatro posiciones localizadas 90° una respecto a la otra. Para medir objetivamente el color en los alimentos que son translúcidos hay diferentes métodos, uno de ellos es el método triestímulo Hunter L,a,b. Este método se basa en la determinación, por reflexión de la luz, de tres parámetros. El parámetro "L", que mide el grado de luminosidad y varía desde 100 para el blanco perfecto a 0 para el negro; los parámetros "a" y "b", son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de "a", están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro "b", están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul. Se midieron los valores de L, a , y b. Con estos valores se obtuvo el valor de  $\Delta E$  utilizando la fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Dónde:

$\Delta E$  = diferencia total del color, entre el color de referencia y el de la muestra.

$\Delta L$ ,  $\Delta a$  y  $\Delta b$  = diferencias absolutas de los valores de L, a y b de la placa de referencia y los valores correspondientes determinados en las muestras.

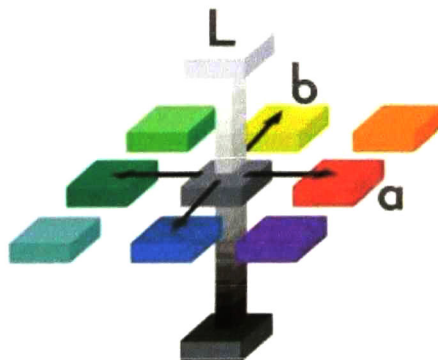


Figura 11. Escala cromática L, a, b.

### **3.2.10 Caracterización de harinas de maíz nixtamalizado.**

#### **3.2.10.1 Índice de tamaño de partícula.**

El Índice de tamaño de Partícula (ITP), es un indicador del tamaño de partícula que presenta un material. Cuando el material es muy fino presenta un ITP alto, y por el contrario cuando el material es grueso tendrá un ITP bajo. Para determinar este parámetro se toman muestras de 50 g de harina instantánea, se colocaron en una serie de tamices marca Mont-Inox (US. No. 40, 60, 80, 100 y contenedor) colocando en cada uno de ellos tres taponos de hule del No. 6, para facilitar el cernido de las harinas instantáneas. La serie de tamices se colocaron en un equipo ROTAP durante 10 min, se pesó el material retenido sobre cada tamiz y se expresó en porcentaje en peso. Las que no fueron posibles de separar en el equipo por su cantidad de finos, se separaron mediante la utilización de una brocha suave, procediéndose de la misma forma descrita. Las determinaciones se realizaron con dos repeticiones. El índice de tamaño de partícula (ITP), se obtuvo utilizando la fórmula propuesta por Bedolla y Rooney, (1984); en la que el Índice de Tamaño de Partícula  $ITP = \sum ai bi$ , donde:  $ai$  es el porcentaje retenido sobre el tamiz  $i$ , y  $bi$  es el coeficiente asignado al tamiz.

Los valores  $b$  para los tamices son: 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 para los tamices US, No. 40, 60, 80 y la suma del No. 100 y el contenedor, respectivamente.

#### **3.2.10.2 Densidad aparente.**

La densidad aparente de las harinas se obtuvo utilizando el método de Koeppel et al., (1987), de la siguiente forma: a temperatura ambiente se llenó con harina un recipiente de aluminio de 72.5 mL de capacidad, se golpeó suavemente cinco veces, se arrasó con una espátula de acero inoxidable y se pesó en una microbalanza. La densidad se obtuvo dividiendo el peso de la harina entre el volumen del recipiente. Se hacen tres repeticiones de cada muestra.

### **3.2.10.3 Color en harinas de maíz nixtamalizadas.**

Para la medición del color en harinas de maíz nixtamalizado se preparó la harina pasando esta por un tamiz marca Mont-Inox US. No. 60. Se utilizó un colorímetro Mca. Hunter Lab MiniScan, procediéndose de la siguiente forma: el colorímetro se calibró con una placa blanca de porcelana. Los valores de calibración de los parámetros fueron:  $\underline{L}$  = 97.63,  $\underline{a}$  = 0.78, y  $\underline{b}$  = 2.85. Las determinaciones se hicieron de la forma siguiente, se colocaron aproximadamente 100 gramos de harina en un recipiente de vidrio ancho y baja profundidad (2 cm). Las lecturas se realizaron por duplicado con respecto a cuatro posiciones localizadas 90° una respecto a la otra. Se midieron los valores de  $\underline{L}$ ,  $\underline{a}$ , y  $\underline{b}$ . y se calculó  $\Delta E$  (igual como se describe en la sección 3.2.9.6 Color en grano).

### **3.2.10.4 Capacidad de absorción de agua.**

La capacidad de absorción de agua se obtuvo de acuerdo a Bedolla, (1983) con algunas modificaciones, de la siguiente forma: se pesaron 300 g de harina instantánea, se colocaron en un recipiente de acero inoxidable, se le agregó agua electro pura a temperatura ambiente utilizando una bureta de 50 mL de capacidad, se mezcló manualmente hasta obtener una consistencia de masa adecuada para elaborar tortillas. La capacidad de absorción de agua se expresó en mililitros de agua a temperatura ambiente (25°C), por gramo de harina instantánea (Bedolla, 1983). La prueba se realizó por duplicado.

### **3.2.10.5 Actividad de agua.**

Este parámetro se determinó empleando un equipo para medición de actividad de agua Mca. Aqua Lab, modelo CX-2 (Figura 12). Se utilizaron  $2.0 \pm 0.001$  g de muestra de harina instantánea, tomándose las lecturas directamente del equipo. Las pruebas se hicieron por triplicado.



Figura 12. Equipo Aqua Lab, modelo CX-2.

### 3.2.10.6 Índice de absorción de agua (IAA).

Para esta determinación se utilizó el método descrito por Anderson *et al*, (1969). Una muestra de harina instantánea de 2.5 g se suspendió en 30 mL de agua a 30°C en un tubo de 50 mL para centrifuga, previamente tarado, se agito intermitentemente a una velocidad moderada por 30 minutos. La suspensión se centrifugo a 3020 x g durante 10 min a 30°C utilizando una centrífuga marca HERLE, modelo Z513K. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El gel formado se pesó, y el índice de absorción de agua se calculó con este peso, como gramos de gel por gramos de muestra seca. Esta medición se llevó a cabo con tres repeticiones. El índice de absorción de agua se obtuvo con la formula siguiente:

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

### 3.2.10.7 Índice de solubilidad en agua (ISA).

El índice de solubilidad en agua de las harinas se hizo siguiendo el método reportado por Anderson *et al*, (1969). Este parámetro se evaluó pesando los sólidos obtenidos después de evaporarse en una estufa el sobrenadante de las muestras donde se determinó el índice de absorción de agua. Este índice se expresó como el porcentaje de sólidos secos en 2.5 g de muestra. Cada evaluación se hizo con cuatro repeticiones. El % del índice de solubilidad en agua se obtuvo con la siguiente fórmula:

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

### 3.2.10.8 Humedad.

Se procedió de acuerdo al método 44-19 de la AACC (1983). Cuatro gramos de muestra de harina se colocaron en charolas de aluminio en una estufa con circulación de aire forzado a 103°C durante 24 h. Las pruebas se hicieron por triplicado.

### 3.2.10.9 Perfil de viscosidad amilográfica para harinas de maíz nixtamalizado.

Para la prueba de viscosidad amilográfica en harinas de maíz nixtamalizado, se procedió a moler la harina de maíz nixtamalizado con la ayuda de un molino para café marca Krubs, modelo. GVX2, después se pasó por un tamiz marca Mont-Inox US. No. 60 y se analizó con la técnica descrita en la sección 3.2.9.5.

### 3.2.10.10 Parámetros térmicos con Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

Los parámetros térmicos como las temperaturas de gelatinización y la entalpía de gelatinización de las harinas se determinaron con un calorímetro diferencial de barrido (DSC-822a marca Mettler-Toledo, modelo 822) (Figura 13). Se pesaron 3 mg de muestra de harina de maíz nixtamalizado previamente molida en un molino para café marca Krubs, modelo GVX2 y tamizados por malla 60 (U.S.A. Mont-Inox), se colocaron en un crisol de aluminio y se agregaron 7 $\mu$ L de agua destilada. El crisol se selló con una prensa y se hicieron las determinaciones térmicas. Las condiciones utilizadas en estas determinaciones fueron: intervalo de calentamiento, de 30 a 100°C; velocidad de calentamiento, 10°C/min. De los termogramas obtenidos se determinó la temperatura inicial de gelatinización (TIG), temperatura pico (TMG) y temperatura final de gelatinización (TFG), además de la entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ).



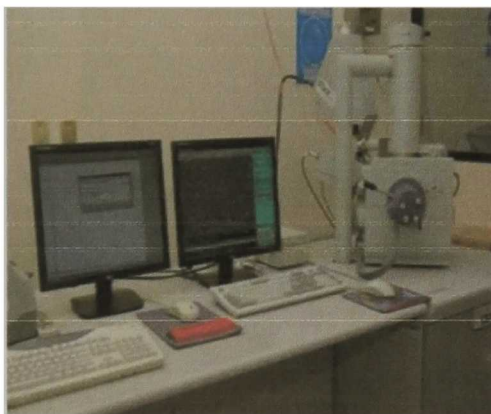
**Figura 13.** Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC).



### **3.2.10.11 Morfología con Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (ESEM)**

Para conocer la morfología de las muestras se utilizó un Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) Philips modelo XL30 con un haz de 20 kV (50mA) y detector de GSE (Figura 14). Las muestras se prepararon de la siguiente forma: en un porta muestra del equipo se colocó cinta carbón doble cara sobre la cual se colocó alrededor de 1mg de muestra previamente molida y tamizada, se le hace incidir nitrógeno (gas) a baja presión para eliminar el exceso de muestra.

El equipo se acondicionó para trabajar en módulo de bajo vacío. Se ajustó el haz de electrones a 15 kV de corriente. Se usó un detector de tipo GSE con un spotsize del láser de 4.5. Los acercamientos se hicieron a 100X, 150X y 500X.

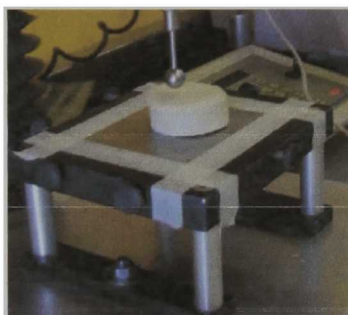


**Figura 14.** Microscopio Electrónico de Barrido (ESEM).

### **3.2.11 Caracterización de masa.**

#### **3.2.11.1 Adhesión y cohesión.**

Para medir la fuerza de adhesión y cohesión de las masas se utilizó el equipo Texture Analyzer TA-XT2, NY EUA con la punta de prueba TA-18 (esfera de acero inoxidable de 1.27 cm de diámetro), a una velocidad de prueba de 2 mm/s, y una distancia de penetración de 4 mm. Se colocó una muestra de masa de 25 g en un molde de plástico (anillo), de 1.2 cm de alto y 5.33 cm de diámetro, la masa moldeada se colocó sobre una placa de aluminio y se realizó la medición. Se reportó la fuerza máxima registrada. La prueba se llevó a cabo con una repetición.



**Figura 15.** Adhesión y cohesión en masa, utilizando el equipo Texture Analyzer TA-XT2.

#### **3.2.11.2 Consistencia.**

La consistencia de las masas se hizo en forma subjetiva. Se tomaron 300 g de harina instantánea, se colocaron en un recipiente de acero inoxidable y se mezclaron con suficiente agua hasta que se logró "sentir" una consistencia de masa adecuada para formar las tortillas. Dependiendo de la consistencia de la masa se le asignó una calificación de 1 a las masas que presentaron buena consistencia, de 2 a las de consistencia regular y de 3 a las de mala consistencia. Las determinaciones se hicieron con una repetición.

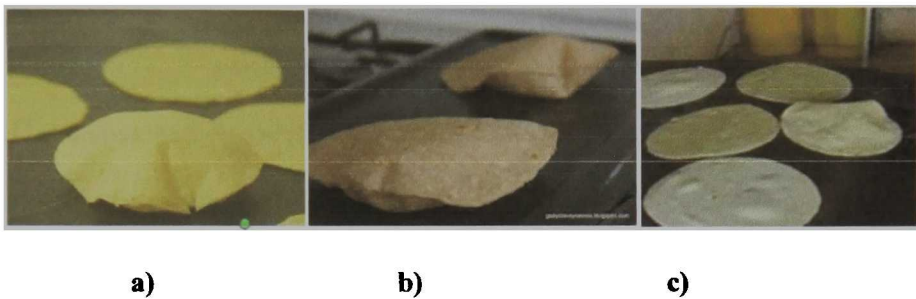
#### **3.2.11.3 Humedad**

Se procedió de acuerdo al método 44-19 de la AACC (1983) similar a la sección 3.2.10.8.

### 3.2.12 Caracterización de tortillas de maíz.

#### 3.2.12.1 Grado de inflado.

Para evaluar el grado de inflado se hicieron tres tortillas en las condiciones descritas anteriormente, y se observó el tamaño de la ampolla que presentó cada tortilla al momento de su elaboración, asignándole una calificación de 1 a la tortilla con un inflado completo, de 2 inflado intermedio, y de 3 sin inflado (Figura 16).



**Figura 16.** Representación de escala hedónica para medir el grado de inflado: a) inflado completo=1, b) inflado intermedio=2 y c) sin inflar=3.

#### 3.2.12.2 Pérdida de peso en la cocción.

Para evaluar la pérdida de peso en la cocción (pp) se hicieron cinco tortillas en las condiciones descritas y se determinó, calculando el porcentaje en peso de material perdido durante el cocimiento, pesando la tortilla antes de someterla a cocción y después de cocida (40° C aprox.). Se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% pp = \frac{(p.t.cruda - p.t.cocida)}{(p.t.cruda)} \times 100$$

donde:

*p.t. cruda* = peso de la tortilla cruda.

*p.t. cocida* = peso de la tortilla cocida.



a)

b)

c)

**Figura 17.** Prueba de pérdida en peso en la cocción de tortilla de maíz. Tortilla cruda (a), pesaje de tortilla cruda (b) y tortilla cocida (c).

### **3.2.12.3 Capacidad de enrollamiento (rolabilidad).**

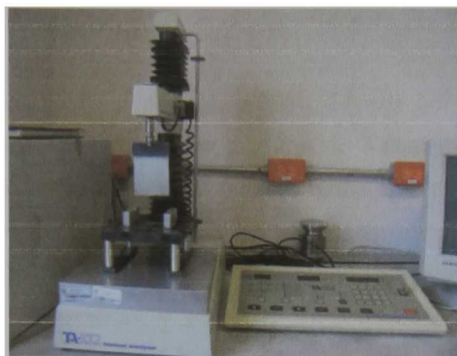
Para evaluar la capacidad de enrollamiento se hizo de manera manual, para las tortillas de cada uno de los tratamientos descritos anteriormente y se asignó una calificación de 1 a la tortilla que no se rompió, de 2 a la tortilla que presentó una ruptura desde 25-75%, y de 3 a la que no se pudo enrollar y se rompió totalmente. La prueba se llevó a cabo a temperatura ambiente, después de 30 min de elaborada la tortilla.

### **3.2.12.4 Color en tortillas.**

Para la medición del color en tortillas se utilizó la tortilla completa y se midió con un colorímetro Mca. Hunter Lab MiniScan mod. XE Plus, Reston Virginia. El colorímetro se calibró con una placa blanca de porcelana. Las lecturas de las muestras se realizaron por duplicado con respecto a cuatro posiciones localizadas 90° una respecto a la otra. Se midieron los valores de  $L$ ,  $a$ , y  $b$ , y se calculó  $\Delta E$  (método triestímulo Hunter L, a, b, descrito en sección 3.2.9.6 Color en grano).

### **3.2.12.5 Textura de tortilla.**

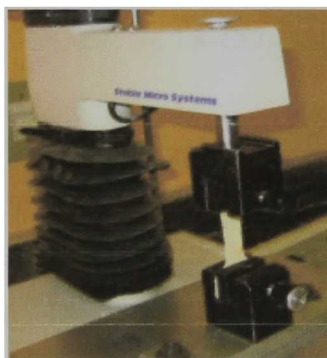
Para medir objetivamente la textura de los materiales ricos en almidón, en especial las tortillas de maíz, se han empleado varios métodos utilizando el Texturómetro (Figura 18) con diferentes accesorios, como a continuación se describen.



**Figura 18.** Texturómetro (Texture Analyzer, TA-TX2)

### **3.2.12.5.1 Tensión.**

Para realizar esta determinación se tomaron al azar dos tortillas de cada tratamiento a temperatura ambiente. Se cortó una tira en forma de probeta de la parte central de la tortilla, se colocó en las pinzas de retención (TA-96) del texturómetro TA-XT2 (Figura 19). La prueba se desarrolló a una velocidad de 2 mm/s, y una distancia de 10 mm. Las mediciones se efectuaron con las tortillas elaboradas y almacenadas a temperatura ambiente dentro de bolsas de polietileno abiertas. Se determinó la fuerza máxima a la tensión. Las pruebas se hicieron con una repetición.



**Figura 19.** Prueba de resistencia a la tensión en tortillas utilizando el Texturómetro (Texture Analyzer, TA-TX2)

### **3.2.12.5.2. Corte.**

Para esta prueba se utilizó la punta de prueba TA-90 del texturómetro TA-XT2 (Figura 20). Este accesorio es una cuchilla plana de 3 mm de espesor y 6.93 cm de ancho, que se conectó al brazo sensor del texturómetro, que al desplazarse hacia abajo pasó a través de la ranura de una placa de aluminio ocasionando que el material expuesto se cortara. Esta prueba se realizó tomando las mitades de las tortillas utilizadas en la prueba de tensión, y sometiéndolas transversalmente a corte, a una velocidad de 2 mm/s y una profundidad de 15 mm. Se reportó la fuerza máxima al corte registrado. Cada prueba se hizo con 4 repeticiones.



**Figura 20.** Prueba de resistencia al corte en tortillas utilizando el Texturómetro (Texture Analyzer, TA-TX2)

### **3.2.12.6 Humedad.**

Tomando las piezas de tortilla, sobrantes de las pruebas de tensión y corte, se procedió a aplicar el método 44-19 de la AACC (1983) descrito en la sección 3.2.10.8 para determinar la humedad

### **3.2.12.7 Perfil de viscosidad amilográfica (grado de gelatinización).**

Para la prueba de viscosidad amilográfica en tortillas, la tortilla se trituró, se colocó en charolas de aluminio en una estufa con circulación de aire forzado a 103°C durante 24 horas. Después se molieron en un molino para café marca Krubs y al final se pasaron por un tamiz marca Mont-Inox US. No. 60 y se aplicó la técnica descrita en la sección 3.2.9.5.

### **3.2.12.8 Parámetros térmicos con Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).**

Para determinar los parámetros térmicos con calorimetría diferencial de barrido en tortillas se utilizó la tortilla seca, molida y tamizada (sección 3.2.12.7), y se procedió a aplicar la técnica descrita en la sección 3.2.10.10.

### **3.2.12.9 Morfología con Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (ESEM)**

Se utilizó un Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) Philips modelo XL30 (Figura 14). Las muestras se prepararon de la siguiente forma: en un porta muestra especial se colocó un trozo de tortilla para tomar la micrografía tanto de la superficie como en forma transversa, y se procedió a aplicar la técnica descrita en la sección 3.2.10.11.

## **3.3 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para la comparación de medias entre tratamientos utilizó la prueba de comparación de medias de rango múltiple de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). Los resultados se analizaron con el programa de computación Statistical Analysis System (SAS, 1989). Las variables y niveles evaluados fueron: adición de inulina, 6 concentraciones (0, 5, 10, 15, 20, 25 % (p/p, bh). Después del análisis estadístico se determinaron, en base a las propiedades evaluadas en harina, masa y tortillas, los dos mejores tratamientos, tomando como patrón la harina, masa y tortillas sin adición de inulina o tradicional.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de la inulina.

#### 4.1.1 Perfil amilográfico de la inulina.

En el Cuadro 3 se muestra el pico máximo y de retrogradación de la inulina, en el cual se muestra que esta no presenta viscosidad, por tal motivo este resultado repercutirá en los valores de viscosidad en harina como en tortilla.

**Cuadro 3.** Pico máximo de viscosidad y de retrogradación de la inulina.

Muestra	Viscosidad (cP)	
	Pico Máximo	Retrogradación
Inulina	16	0

Valores promedio,  $\pm$  desviación estándar, de al menos tres repeticiones por prueba.

#### 4.1.2. Morfología con Microscopía electrónica de barrido Ambiental (ESEM) de la inulina.

En la Fig. 21 se muestran las micrografías de la inulina utilizada. Este compuesto presentó una estructura cristalina semejante a un sistema cúbico de clase icositetraedro o trapezoedro cuyas caras forman trapecios. Estas formas pueden ser llamados “esferocristales” (Frank, 2002). Resultados similares fueron reportados por Frank, 2002, entre otros.



**Figura 21.** a), y b) Micrografías de ESEM de la inulina a diferentes aumentos.



## 4.2 Caracterización del grano de maíz.

### 4.2.1 Características físicas

Las propiedades físicas del grano de maíz utilizado en el presente trabajo se muestran en el Cuadro 4. Las dimensiones del grano fueron uniformes con respecto a su largo, ancho y grosor. Dichos valores están dentro del rango de valores reportados por Arámbula (1994) para maíz Común. En el caso del peso de 1000 granos, al igual que el tamaño de mil granos, sus valores se encontraron dentro del rango recomendado por la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002) para maíz destinado para nixtamalización.

Con respecto al color en los granos de maíz se encontró una  $L=47.21$  (Cuadro 4) por lo que el maíz procesado presentó un color opaco (por debajo de 50 se considera un objeto opaco), y una diferencia de color baja al compararlo con los valores del control (placa de porcelana blanca.). Los valores de L, a y b encontrados estuvieron por debajo del rango de los valores reportados por Vélez Medina (2004) para maíces evaluados para ser utilizados para nixtamalización. El maíz mostro una diferencia de color que fluctuó entre 24.85-25.81.

**Cuadro 4.** Características físicas en los granos de maíz.

Tamaño			Peso de 1000 granos (g)	Color			
Dimensiones (mm)				L	a	b	$\Delta E$
Largo	Ancho	Espesor					
13.08 $\pm 0.60$	8.1 $\pm 0.59$	4.14 $\pm 0.46$	314.78 $\pm 0.47$	47.21 $\pm 0.47$	1.86 $\pm 0.16$	14.18 $\pm 0.44$	25.33 $\pm 0.48$

Valores promedio,  $\pm$  desviación estándar, de al menos tres repeticiones por prueba.

#### 4.2.2 Características fisicoquímicas

Las determinaciones fisicoquímicas que se le hicieron al maíz fueron la dureza, la humedad y la viscosidad (Cuadro 5). De acuerdo a los resultados, el maíz presentó una dureza de 6.98kg por lo que fue clasificado como maíz suave (López *et al.*, 2004) con características aptas para una buena nixtamalización, es decir que resultó adecuado para resistir el tratamiento térmico alcalino (nixtamalización) y presentó un tiempo corto para su cocimiento. Al respecto, se conoce que la industria de la tortilla prefiere un grano suave para aplicar un menor tiempo de cocimiento, y por lo tanto para ahorrar energía en el proceso. En general los maíces duros son poco aceptados, debido a que requieren tiempos de cocimiento más largos para su procesamiento (Salinas *et al.*, 2003). La dureza del grano de maíz está influenciada por diversos parámetros; uno de ellos es la relación amilosa-amilopectina presente en el almidón de los granos (Trejo-González *et al.*, 1982), entre otros.

La humedad del grano osciló entre 13 y 13,5% (p/p) (Cuadro 5), considerada como adecuada para el manejo o almacenamiento de este tipo de grano. No es aconsejable almacenar el maíz con un alto grado de humedad (> 14%), debido a que es un maíz propenso a la proliferación de hongos, principalmente. El valor recomendado de humedad para grano de maíz, después de la cosecha, y adecuado para almacenar es de menos de 12% (Arámbula, 1994). Los valores encontrados se situaron en este rango.

En el cuadro 5 se presenta la viscosidad máxima de los granos de maíz. Esta viscosidad fue elevada debido a que el maíz era nativo, es decir, este maíz no había sufrido ningún proceso térmico que afectara su potencial gelatinización. Por otro lado, la viscosidad de retrogradación está relacionada con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón después de gelatinizado y deshidratado al rehidratarse no desarrolla viscosidad y por el contrario uno nativo tiende a desarrollar la viscosidad a su máxima capacidad (Arámbula *et al.*, 2001). En los procesos industriales como la nixtamalización, se debe seleccionar un maíz de buena calidad, ya que de lo contrario, repercutirá en forma negativa en las características y

resultados de calidad de las harinas, masas y totillas. En esta investigación los resultados de viscosidad máxima y viscosidad de retrogradación estuvieron dentro de los parámetros requeridos.

**Cuadro 5.** Características fisicoquímicas en los granos de maíz.

Dureza (kg)	Humedad (%)	Viscosidad (cP)	
		Máxima	Retrogradación
6.98±1.44	13.32±0.22	2519±130.11	1182.5±71.4

Valores promedio, ± desviación estándar, de al menos tres repeticiones por prueba.

### 4.3 Caracterización de la harina de maíz nixtamalizado.

#### 4.3.1 Propiedades físicas

En el Cuadro 6 se muestran las propiedades físicas determinadas a las harinas de maíz nixtamalizado con y sin inulina. El ITP para la harina sin inulina fue de 63.43. La mayor cantidad de harina retenida se encontró en las mallas 60 y 80. Este valor está dentro del rango de valores reportados por la norma oficial mexicana (NMX- F-046-S-1980, NOM-187-SSA1) la cual indica que el 75% de las partículas de harina deben de ser retenidas en la malla 60, lo cual equivale a un tamaño de partícula de 250µm. El índice de tamaño de partícula se determinó solo en harina sin adición de inulina, debido a que, con la humedad del medio ambiente, la inulina formó grumos tipo hojuelas y no permitió su evaluación.

El índice de tamaño de partícula, en las harinas, está relacionado con su capacidad de hidratación y con la formación de una masa con buenas cualidades reológicas. Partículas muy pequeñas, en general, incorporan mayor cantidad de agua, pero pueden formar masas muy compactas difíciles de troquelar. Las tortillas mexicanas, para su elaboración requieren de harina de maíz nixtamalizado con un tamaño de partícula fina que proporcione mayor flexibilidad y cohesión al producto final.

Aunque las diferencias entre las propiedades fisicoquímicas y funcionales atribuidas al índice de tamaño de partícula en la harina han sido reportadas, existe poca información sobre el cómo, tales diferencias, provocan modificaciones en las características de textura de la tortilla (Fernández- Muñoz *et al*, 2008).

Dentro de las pruebas físicas de las harinas se encuentra la densidad aparente (DA) (Cuadro 6). Esta variable depende de la compactación del material. Su importancia radica en su relación directa con el volumen de los poros u oquedades del material. En los valores de DA en harinas con y sin inulina se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Al incrementar la adición de inulina, aumentó también el valor de DA. El valor de DA de la harina de 0% inulina, se encontró muy similar a los reportados por Galicia-García (2005). El resto de los valores, obtenidos en las harinas con inulina, se encontraron en los rangos, 0.41 a 0.55 g/cm<sup>3</sup>, reportados por Arámbula (1998) y Flores-Farías (2002), quienes concluyeron que esta variable es afectada por el tipo de molino y tamiz utilizado.

Los valores de color (Cuadro 6) de las harinas de maíz nixtamalizado con y sin inulina, resultaron por encima de los valores reportados para luminosidad por Velez-Medina, (2004) L=78.16, Gruma, L=92.2 y Minsa, L=91.8. Estas dos últimas son las marcas comerciales más consumidas en México (Reyes-Moreno *et al*, 2003). Estos valores son altos, sin embargo, están dentro del rango de valores permitidos por la NOM-187-SSA.

El parámetro “a” de color, reportado para harinas de maíz nixtamalizado son valores tendientes a una coloración rojiza (valores positivos de “a”), desde 1.68 ± 0.96 (Figuroa, 2001) a 4.37 (Flores Farías, 2004; Veles Medina, 2004). En este caso la harina experimental sin inulina presentó valores en el mismo rango señalado (1.05). El resto de los tratamientos presentaron valores mayores que la harina sin inulina. En general la inulina le confirió, a las harinas, un color tendiente a alejarse del patrón o referencia. Todos los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos, solamente de todos estos comparados con la harina sin inulina.

El valor de “b” para las harinas fue de 11.8 a 15.3, valores por debajo de los reportados por los mismos autores. Los valores que se presentaron de diferencia de color entre los tratamientos con inulina no hubo diferencias significativas estos fluctuaron entre 14.03-15.65, por otro lado estos tratamientos si tuvieron diferencia significativa con la harina que no contenía inulina ya que esta tubo una diferencia de color de 22.70.

**Cuadro 6.** Propiedades físicas de las harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

Tratamiento Inulina (%)	DA	Color			
		L	a	b	ΔE
0	0.49c	75.49b	1.05a	15.36a	22.70a
5	0.59ab	83.11a	0.20b	13.25b	15.65b
10	0.61a	82.14a	0.23b	13.11b	16.10b
15	0.60ab	83.12a	0.14b	12.53cb	15.04b
20	0.60ab	83.75a	0.11b	12.21cb	14.40b
25	0.59b	83.92a	0.09b	11.87c	14.03b

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p=0.05$ ). DA: Densidad aparente. L, a, b y  $\Delta E$ : parámetros de color Hunter Lab.

#### 4.3.2 Propiedades fisicoquímicas.

Las propiedades fisicoquímicas que se determinaron en la harina de maíz nixtamalizado con y sin inulina (Cuadro 7), fueron la capacidad de absorción de agua (CAA), actividad de agua ( $A_w$ ), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y humedad.

Los valores de CAA oscilaron entre 0.55 para la harina con la cantidad más alta de inulina a 1.07 para la harina sin inulina obteniendo así grandes diferencias significativas.

La CAA está relacionada directamente con el rendimiento de la masa y la tortilla, ya que al aumentar la cantidad de agua absorbida por la harina, en combinación con una baja pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla, producirá un aumento en el rendimiento de tortilla, razón por la cual es de gran interés económico para los industriales (Veles Medina, 2004). Los valores aquí encontrados para la harina sin adición de inulina están de acuerdo a los reportados por Flores Farías *et al.*, (2002) para harinas nixtamalizadas comerciales en México (1.2 ml agua/g. de harina y 1.35 ml agua/ g de harina). Para harina de maíz nixtamalizado de forma tradicional se reportaron valores de 1.05 a 1.28 ml de agua/g. harina (Billeb *et al.*, 2001). Los valores obtenidos en los demás tratamientos fueron por debajo de los antes mencionados esto fue debido a que cada vez que se aumentaba la inulina, la harina iba disminuyendo y por consiguiente la absorción de agua.

Los valores de  $A_w$  que se encontraron fueron valores que están dentro de un rango seguro para almacenar el material sin que presente daño microbiológico (0.303-0.486), (Cruz, 2005), en primer lugar y en segundo, estos valores están en concordancia con los reportados por otros investigadores para este mismo producto. En general los alimentos con una  $A_w$  de 0.7 y menos tendrán un daño microbiológico mínimo si se almacena en condiciones apropiadas (Ponce, 2004). Por el contrario alimentos con  $A_w$  mayores a 0.7, dicha susceptibilidad aumenta considerablemente. La tortilla es un alimento con  $A_w$  alta (arriba de 0.9) y por consecuencia con demasiada susceptibilidad a la proliferación de microorganismos, principalmente hongos y bacterias. Por esta razón, las harinas que requieren ser almacenadas se mantienen con  $A_w$  por debajo de 0.4.

El IAA obtenido en la harina sin adición de inulina (3.0 mL/g b.s.) y los de las harinas adicionadas con diferentes porcentajes de inulina (2.7-2.9 mL/g b.s.) resultaron dentro del rango de valores reportados para harinas de maíz nixtamalizado en general y también dentro de los valores de IAA para harinas comerciales en México. El valor promedio de IAA, reportado para harinas de maíz nixtamalizado, es de 3.14 g gel/ g harinas en general (Reyes *et al*, 2009), y para harinas comerciales, en México, el valor es de 3.7 g gel/ g muestras (Flores Farías *et al*, 2002). El IAA y la CAA están interrelacionadas, aunque el IAA es una prueba estandarizada de la cantidad de agua que puede absorber la harina y está relacionado con el daño del almidón de la misma, a diferencia de la CAA que es una prueba subjetiva de acondicionamiento de la harina para masa, pero igualmente relacionada con el daño del almidón (Billeb *et al.*, 2001).

El ISA (Cuadro 7) amentó al aumentar la cantidad de inulina adicionada a la harina y todos los tratamientos mostraron diferencias significativas entre ellos. Para el caso de la harina sin adición de inulina el ISA fue menor al reportado por Billeb *et al.*, 2001, para harina de maíz nixtamalizado. Para las harinas adicionadas con inulina se obtuvieron diferencias significativas entre todos los tratamientos, siendo además valores mayores a los reportados para harina de maíz nixtamalizado (4.11 a 5.2 %) y para harinas comerciales (5.7-7.4%) (Billeb *et al.*, 2001). Lo anterior se debió al aumento de inulina en cada uno de los tratamientos, ya que esta última presenta por sí sola una alta solubilidad, por lo que al aumentar la cantidad añadida a la harina, mayor valor de solubilización presentó el material.

La humedad de la harina de maíz nixtamalizado, con y sin inulina resultó por debajo del límite máximo permitido por las normas oficiales mexicanas (NMX-F-S-1980 y NOM-147-SSA1) (11%). Los valores se encontraron en un rango seguro microbiológicamente, ya que este valor se estableció para asegurar que los microorganismos patógenos como hongos y bacterias, no tengan condiciones de humedad propicia para su desarrollo. Este parámetro es importante y está relacionado con la vida de anaquel de las harinas.

Los valores de humedad para harinas nixtamalizadas por el método tradicional van de 10.1 a 12% (Gómez *et al.*, 1987). Estos valores se consideran seguros microbiológicamente, ya que si esta supera el 13%, la susceptibilidad el producto al ataque de mohos y levaduras, se eleva fuertemente (Contreras-Jiménez, 2009). La baja humedad contribuye a la conservación fisicoquímica de la harina, ya que retarda la rancidez de los lípidos y reduce la actividad enzimática, con lo cual conserva sus características (Flores-Farías, 2004.)

**Cuadro 7** Propiedades fisicoquímicas de harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

<b>Tratamiento Inulina (%)</b>	<b>CAA (mL/g)</b>	<b>Aw</b>	<b>IAA (mL/g m. s.)</b>	<b>ISA (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>0</b>	1.07 <sup>a</sup>	0.39 <sup>a</sup>	3.00 <sup>a</sup>	3.28 <sup>f</sup>	10.6 <sup>d</sup>
<b>5</b>	0.95 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	2.94 <sup>a</sup>	7.62 <sup>e</sup>	9.92 <sup>f</sup>
<b>10</b>	0.87 <sup>c</sup>	0.36 <sup>c</sup>	2.97 <sup>a</sup>	11.52 <sup>d</sup>	9.49 <sup>a</sup>
<b>15</b>	0.75 <sup>d</sup>	0.34 <sup>e</sup>	2.96 <sup>a</sup>	15.65 <sup>c</sup>	9.25 <sup>b</sup>
<b>20</b>	0.68 <sup>e</sup>	0.35 <sup>d</sup>	2.79 <sup>b</sup>	20.13 <sup>b</sup>	8.40 <sup>e</sup>
<b>25</b>	0.55 <sup>f</sup>	0.34 <sup>e</sup>	2.74 <sup>a</sup>	24.36 <sup>a</sup>	8.13 <sup>c</sup>

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ). CAA: capacidad de absorción de agua, Aw: actividad de agua, IAA: índice de absorción de agua, ISA: índice de solubilidad en agua.



### **4.3.3 Perfil amilográfico de harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.**

De los perfiles amilográficos se obtuvo la viscosidad máxima desarrollada y la de retrogradación (Cuadro 8) de cada uno de los tratamientos. La adición de inulina a la harina de maíz nixtamalizado modificó la viscosidad máxima desarrollada durante la prueba. Al aumentar el porcentaje de inulina, esta viscosidad disminuyó. Esto se debió probablemente a que la inulina sola no presentó viscosidad, también, la viscosidad desarrollada se debió solo a la harina utilizada, entonces, por tal motivo esta viscosidad disminuyó conforme aumentó la adición de inulina. Al mismo tiempo la viscosidad de retrogradación disminuyó también.

En todos los tratamientos, las harinas presentaron una viscosidad máxima muy baja (203-894cP), comparadas con los valores reportados por Flores-Farías *et al.*, (2000). Estos autores reportaron viscosidades promedio de 2592 cP para harinas. Estas diferencias pueden ser debidas a que las cantidades de muestras utilizadas en las pruebas con el RVA, fueron mucho mayores a las utilizadas en este experimento. Lo anterior tiene su base en que la viscosidad registrada por el equipo es directamente proporcional a la cantidad de materia seca que se utiliza y segundo estas diferencias pueden deberse a que estos resultados son para viscosidades de harinas comerciales, mismas que, como reportaron los mismos investigadores, contenían aditivos como goma CMC que produce viscosidades muy altas, y otros compuestos.

En esta investigación, las harinas evaluadas solamente contenían inulina como elemento adicional, misma que provocó una disminución de la viscosidad debido a que la inulina, por si sola, no presentó viscosidad.

Por otro lado, la viscosidad determinada con el RVA, está relacionada en forma inversa con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón después de gelatinizado y deshidratado, al rehidratarse no desarrolla viscosidad, y por el contrario un almidón nativo, tiende a desarrollar viscosidad a su máxima capacidad (Arámbula *et al.*, 2001).

Para el caso de la viscosidad de retrogradación de las harinas (Cuadro 8), estas disminuyeron conforme aumentó la cantidad de inulina adicionada. La elevada viscosidad de retrogradación (tratamiento 0% inulina) fue atribuida a un elevado grado de asociación entre los residuos de las moléculas que conforman el gránulo de almidón (amilosa y amilopectina) originado por la fuerte tendencia de estas moléculas a la formación de puentes de hidrogeno entre los grupos OH<sup>-</sup> presentes en las molécula adyacentes después del proceso de gelatinización (Palomino *et al.*, 2010).

Una viscosidad de retrogradación alta no es deseable en productos como tortilla o pan debido a que indica una fuerte interacción molecular, que se refleja en características de textura duras, no adecuadas para el consumidor. Un valor alto de retrogradación significa que es un producto que se endurece fácilmente a través del tiempo (Contreras- Jiménez, 2009).

En esta investigación, los tratamientos de 20 y 25 presentaron una viscosidad de retrogradación muy baja sin embargo no significó que fueran los mejores tratamientos, ya que la consistencia de las masas fue también demasiado pegajosa, siendo su amasado muy difícil por lo que afectó negativamente la masa y tortillas en las pruebas reológicas, tanto de viscosidad como de textura.

La harina con exceso de agua, con trabajo mecánico aplicado y sometido a un tratamiento térmico produce viscosidad que aumenta hasta un punto máximo o viscosidad máxima ocasionada por el hinchamiento de los gránulos de almidón al gelatinizarse.

Este parámetro es considerado importante ya que en algunos procesos industriales, donde se utiliza la masa o pasta formada por la harina de maíz nixtamalizado, esta requiere ser transportada mediante tuberías, y de no tener un buen control de este comportamiento, se pueden producir taponamientos y pérdidas debidas a sobrecalentamientos del material. Por otro lado, este mismo parámetro permite conocer el grado de modificación o degradación del almidón de la harina, debido principalmente a la aplicación de algún tratamiento previo al que haya sido sometida.

**Cuadro 8.** Viscosidad máxima y de retrogradación de harina de maíz nixtamalizado, adicionada con diferentes cantidades de inulina.

Tratamiento Inulina (%)	Viscosidad (cP)	
	Máxima	Retrogradación
0	894a	1457a
5	628b	1044b
10	537c	912c
15	390d	660d
20	269e	431e
25	203f	312f

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p=0.05$ ).

#### 4.3.4 Propiedades térmicas en harinas de maíz nixtamalizado.

En el Cuadro 9 se presentan las temperaturas inicial, máxima y final de gelatinización, además de la entalpia del mismo fenómeno, para las harinas de maíz nixtamalizado con y sin inulina, evaluadas. Todos los tratamientos mostraron diferencias significativas en los parámetros mencionados. La tres temperatura (inicial, máxima y final) mostraron pequeñas diferencias (alrededor de 2°C) con tendencia positiva, esto es al aumentar la cantidad de inulina se presentó un ligero aumento de estas temperaturas. Los valores de entalpia de gelatinización de las harinas de los tratamientos evaluados (Cuadro 9), también presentaron diferencias significativas entre casi todos los tratamientos, con una tendencia positiva.

Al aumentar la concentración de inulina, se requirió mayor cantidad de energía para el proceso de gelatinización del material. Solo los tratamientos con las más altas concentraciones de inulina (20 y 25%) no mostraron este comportamiento.

Los valores fluctuaron entre los 14.23 y 17.4 J/g. Los valores bajos de entalpías de gelatinización, sugieren condiciones de procesamientos severos del material, ya que todo tratamiento térmico produce gelatinización del almidón provocando con ello mayor desorganización de las moléculas que conforman el gránulo, y con ello menor requerimiento de energía para su gelatinización (Bello-Pérez *et al.*, 2002). Por el contrario los valores de  $\Delta H$  altos significan que existe mayor cantidad de gránulos de almidón que puede desarrollar mayor viscosidad durante el amasado de la tortilla. A pesar de que los tratamientos con el 20 y 25 % de inulina presentaron las entalpías más bajas, en forma práctica estas harinas, durante la elaboración de la masa, presentaron demasiada pegajosidad, por lo que fue difícil de amasar y troquelar. Esta pegajosidad fue ocasionada por la inulina añadida.

De acuerdo a lo reportado por Neder- Suarez *et al.*, (2011) entre menor sea la entalpía de gelatinización, las propiedades reológicas de la masa para la elaboración de tortillas son mejores. La entalpía, al disminuir su valor significa que el material está más gelatinizado y por tanto se torna más dúctil, pero en el caso específico de la tortilla de maíz, existe un límite en el grado de gelatinización, ya que si es demasiado alto, se presenta el problema de una alta pegajosidad que se hace notar en las dificultades que presenta el material para ser troquelado y despegado, para ser pasado al comal. Esto es, la masa se hace demasiada chiclosa, y puede no ser posible despegarla del troquelador, considerándose por esto, no adecuada.

**Cuadro 9.** Temperaturas y entalpías de gelatinización en harinas de maíz nixtamalizado.

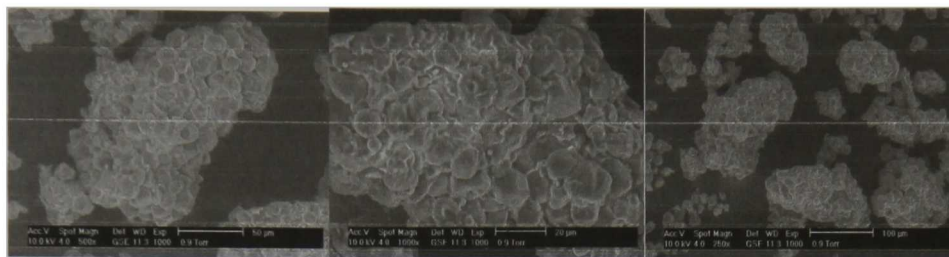
Tratamiento Inulina (%)	Calorimetría Diferencia de Barrido (CDB)			
	TIG (°C)	TMG (°C)	TFG(°C)	$\Delta H$ (J/g)
0	64.40a	69.96c	76.82c	-17.4e
5	65.24b	70.63c	77.55c	-16.9d
10	65.37b	71.14b	77.77c	-16.6c
15	65.89b	71.30b	78.06b	-15.9b
20	66.08a	71.63b	79.29a	-14.15a
25	66.51a	72.29a	78.99a	-14.23a

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ). TIG: Temperatura inicial de gelatinización, TMG: temperatura máxima de gelatinización, TFG: Temperatura final de gelatinización,  $\Delta H$ : Entalpia de gelatinización.

#### 4.3.5 Morfología (micrografías con ESEM) de harinas de maíz nixtamalizado.

Las micrografías de la harina de maíz nixtamalizado sin adición de inulina, a diferentes profundidades, se muestran en la figura 22. En ellas se apreciaron gránulos de almidón aglomerados. Estas aglomeraciones se deben al tratamiento térmico que se le aplicó al maíz en la nixtamalización y en la molienda del nixtamal para convertirlo en masa. Los gránulos de almidón presentaron predominantemente formas poliédricas, aunque también se presentaron, unas pocas formas esféricas. En general, la microscopía ha permitido estudiar la forma, tamaño y apariencia de los gránulos de almidón en las harinas, además de permitir entender diferencias en sus propiedades físicas, algunas de las cuales son parámetros útiles en el procesamiento tecnológico, y que tiene su origen en las formas y tamaños de este componente alimenticio.

Ejemplo de estas propiedades son la composición química, la susceptibilidad enzimática, la cristalinidad, la gelatinización, las propiedades de formación de pasta, hinchamiento y solubilidad, entre otras (Lindeboom *et al.*, 2004).



**Figura 22.** Micrografías de ESEM de harina de maíz nixtamalizado a diferentes aumentos.

#### **4.4 Caracterización de la masa.**

##### **4.4.1 Humedad, cohesión y adhesión.**

Los resultados de humedad, cohesión y adhesión de las masas de los tratamientos experimentales, se muestran en el Cuadro 10. La humedad de las masas mostró diferencias significativas entre algunos tratamientos. Al aumentar el porcentaje de inulina, la humedad de la masa disminuyó, esto debido a que al adicionar inulina disuelta en agua a las harinas, estas requirieron menor cantidad de agua para obtener una masa adecuada para ser formateada. Esto es, una masa que se pudiese amasar y troquelar, ya que cuando se adicionó agua, más de la necesaria, se obtuvo masa de consistencia muy pegajosa difícil de manipular. Los tratamientos con 5, 10 y 15% no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero si mostraron estas diferencias con el resto de los tratamientos evaluados. Se encontró un rango de humedad entre 37-48%. Estos valores están por debajo del rango reportado por Arámbula *et al.* (2000) quienes concluyeron que en una masa de maíz de buena calidad para producir tortillas la humedad debe oscilar entre 50 y 58%. Esta baja humedad se debió al aumento de pegajosidad de la masa provocado por la inulina adicionada, y el aumento de las dificultades para troquelar las masas adicionadas.

En general al aumentar la cantidad de inulina, las harinas requirieron menos agua, y al adicionar mayor cantidad de esta, se desarrolló mayor pegajosidad, y aumentó el problema para el troquelado.

En el caso de la fuerza de cohesión (Cuadro 10), la capacidad que tienen las moléculas, para mantenerse unidas, los resultados presentaron diferencias significativas entre algunos de los tratamientos, disminuyendo esta variable conforme la cantidad de inulina aumentó. Valores reportados de cohesividad para masa van desde 0.074 a 0.2 kg (Martínez- Flores *et al* 1998) y (Flore-Farías 2004). En esta investigación los valores de cohesión en las masas evaluadas están dentro del rango de los valores reportados.

La adhesión, al igual que la cohesión, presentó diferencias significativas entre algunos tratamientos evaluados, mostrando una tendencia positiva conforme aumentó la cantidad de inulina. Los valores encontrados oscilaron entre -21.58 y -12.42g. Valores de adhesión para masa, reportados en otros trabajos, van de 14 a 51g (Martínez- Flores *et al.*, 1998). Este parámetro es muy importante porque se relaciona con la funcionalidad de la masa; valores muy altos se atribuye a una alta gelatinización del almidón y se considera indeseable ya que la masa es pegajosa y difícil de troquelar (Bello Pérez *et al.*, 2002; Flores-Farías 2004). En las masas de maíz nixtamalizadas se requieren valores de adhesividad y de cohesión, que se encuentren dentro de un rango adecuado para que el material se pueda troquelar. Una masa con buen comportamiento al troquelado, es aquella que cuando es presionada entre dos láminas de plástico, hasta un espesor de al menos 2mm, es capaz de despegarse sin romperse, para colocarse en el comal (Arámbula *et al.*, 2001). Una masa sin adhesión no presenta la consistencia adecuada para troquelar tortillas; y por el contrario una masa demasiado adhesiva (chiclosa) no permite formar tortillas, ya que se pega al momento de troquelar, lo que permitirá ser formada y transportada hasta el comal para su cocimiento (Arámbula *et al.*, 2001). Para obtener una buena adhesión, el almidón debe gelatinizarse parcialmente (<5%) y debe de tener un alto contenido de agua (Gómez *et al.*, 1992).

**Cuadro 10.** Humedad, cohesión y adhesión de masa de maíz nixtamalizado adicionada con diferentes cantidades de inulina.

<b>Tratamiento Inulina (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cohesión (g)</b>	<b>Adhesión (g)</b>
<b>0</b>	47.78a	222.14a	-12.42a
<b>5</b>	44.62b	185.61b	-21.58b
<b>10</b>	42.68b	174.06b	-19.77b
<b>15</b>	42.42b	155.39b	-19.02b
<b>20</b>	40.03c	110.69c	-18.59b
<b>25</b>	37.02d	240.56a	-14.46a

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ).

#### **4.5 Caracterización de tortillas.**

##### **4.5.1 Propiedades físicas.**

Entre las propiedades físicas de las tortillas de maíz se encuentran el grado de inflado, la rolabilidad y el color. Los valores resultantes de esta investigación se muestran en el cuadro 11. En el inflado de las totillas se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos con 10, 15 y 20%, contra el resto de los mismos. Estos tratamientos, junto con las tortillas del tratamiento con 25% de inulina añadida, presentaron dificultades para obtener un inflado deseable ( $cal.=1$ ). El grado de inflado es el resultado de una buena o mala elaboración de la tortilla, y de un buen o mal manejo del proceso de producción en general (Yáñez- Ortega, 2005). En este caso, los procedimientos de elaboración fueron debidamente controlados, como se muestra por el grado de inflado logrado en la tortilla de referencia (0%), por lo que los problemas presentados fueron debidos a los efectos de la adición de la inulina, ya que desde la elaboración de la masa, y entre otros problemas surgidos, no contó con el porcentaje de humedad adecuada para hacer las tortillas.

Respecto a la rolabilidad (Cuadro 11), los tratamientos con 20 y 25% de inulina, presentaron problemas ya que se rompieron completamente al ser enrolladas.



La rolabilidad tiene una fuerte relación con la humedad de las tortillas. En general las tortillas con humedades por encima de 35% de humedad, será una tortilla suave y no quebradiza (Figuroa et. al., 2001), y como se mencionó antes, los tratamientos con mayor porcentaje de inulina fueron los que requirieron menos agua al momento de preparar la masa y por ende los de menor humedad final.

Los valores de L, a y b encontrados estuvieron dentro del rango de los valores reportados por Vázquez- López (20013) para tortillas de maíz nixtamalizado. Para luminosidad los valores fluctuaron entre 62-63.50, en cuanto al eje a no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto al eje b hubo diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto más alta era la cantidad de inulina este parámetro fue disminuyendo.

Las tortillas no presentaron diferencias significativas en la diferencia total de color ( $\Delta E$ ) entre los tratamientos (Cuadro 11). Todos los tratamientos mostraron un color muy similar a las tortillas de referencia, las elaboradas sin inulina. Los valores de  $\Delta E$  fluctuaron entre 34.17 a 34.99. Las tortillas que presentaron un color tenuemente oscuro, fueron las totillas de los tratamientos adicionados con 20 y 25% de inulina, debido a que la inulina a altas temperaturas puede caramelizarse, igual que los azúcares, se rompe su estructura y desarrolla u color oscuro, o en su defecto desarrollar reacciones del tipo Maillard, mismas que se presentan al reaccionar los azúcares con aminoácidos, o bien a reacciones típicas de caramelización de azúcares producto de la hidrólisis del almidón (Sefa-Dedeh *et al.* (2004)). En este caso, aunque demasiado ligero, este efecto lo presentaron los tratamientos con mayor porcentaje de inulina.

El color de las tortillas es importante para la aceptación del producto por el consumidor, ya que existen zonas en el país en la que prefieren tortillas muy blancas o en otras donde las prefieren amarillas u oscuras (Almeida and Rooney, 1996).

**Cuadro 11.** Propiedades físicas de las tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

Tratamiento Inulina (%)	Grado de Inflado	Rolabilidad	Color			
			L	a	b	ΔE
0	1.10d	1c	63.48a	3.19a	18.60a	34.17a
5	1.50c	1c	63.89a	3.21a	18.48ab	34.23a
10	2b	1c	63.14ab	3.00a	18.38ab	34.32a
15	2b	1c	62.67ab	3.05a	18.17bc	34.61a
20	2b	2b	62.06b	2.99a	17.91c	34.99a
25	3a	3a	NDL	NDL	NDL	NDL

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ). L, a, b y ΔE: parámetros de color Hunter Lab. NDL: No se logró determinar la lectura.

#### 4.5.2 Propiedades fisicoquímicas.

El Cuadro 12 muestra las propiedades fisicoquímicas determinadas en las tortillas elaboradas con las harinas experimentales. La pérdida en peso (Cuadro 12) mostró diferencias significativas entre el tratamiento de referencia o patrón y el resto de los tratamientos adicionados con inulina. Analizando los tratamientos añadidos con la inulina, no se encontraron diferencias significativas entre todos ellos, mostrando valores menores a los encontrados en las tortillas de referencia o patrón (0% de inulina). Los valores encontrados fluctuaron entre 19.9 hasta 25.6%. El rango de pérdida de peso de las tortillas que se acepta como adecuado debe oscilar entre 16 y 20 % (Arámbula et al., 2001). Lo anterior para que posean buenas cualidades de textura, aunque son múltiples los factores que convergen en ello.

Ejemplo de estos son: la humedad de la masa, la temperatura y el tiempo de cocimiento en el comal, así como también la capacidad de absorción de agua de las harinas, entre otros (Flores- Farías, 2004).

La humedad de las tortillas (Cuadro 12) presentó diferencias significativas casi entre todos los tratamientos, disminuyendo el porcentaje al aumentar la cantidad de inulina adicionada. Los resultados fluctuaron entre 26.45 y 44.04% de humedad. Una parte de estos valores (tratamientos con 0, 5 y 10%) están dentro del rango de valores reportados por Anatana *et al* (2008) para tortillas elaboradas con diferentes tipos de maíz. De la misma forma, Arámbula *et al.*, (2001) reportaron que la humedad de las tortillas, para que sea considerada como buena, debe estar 42 y 44%, ya que con esta humedad se asegura una buena textura. El resto de los tratamientos presentaron bajas humedades (26.4-40.6%). Lo anterior se debió a que la masa para la elaboración de las tortillas con 20 y 25 % de inulina adicionada, se le añadió menor cantidad de agua durante su amasado, porque de lo contrario la masa se tornaba chiclosa, difícil de amasar y troquelar. La humedad es un atributo de calidad de las tortillas y tiene mucha influencia en las características de textura de las mismas, ya que a mayor humedad, las tortillas son más suaves.

Caso contrario, las tortillas con baja humedad se hacen rígidas y pierden propiedades de textura (Serna- Saldívar *et al.*, 1987).

**Cuadro 12.** Propiedades fisicoquímicas de las tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

<b>Tratamiento Inulina (%)</b>	<b>Perdida en peso</b>	<b>Humedad</b>
<b>0</b>	25.66a	44.04a
<b>5</b>	20.16b	43.72a
<b>10</b>	20.49b	42.55ab
<b>15</b>	19.91b	40.59b
<b>20</b>	21.16b	29.60c
<b>25</b>	21.83b	26.45d

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ).

#### **4.5.3 Propiedades de textura.**

El Cuadro 13 muestra los resultados de fuerza máxima a la tensión, elasticidad y fuerza al corte de las tortillas adicionadas con diferentes cantidades de inulina. Para los tres parámetros se encontraron diferencias significativas entre casi todos los tratamientos. La fuerza máxima a la tensión de las tortillas mostró una tendencia positiva al aumentar la cantidad de inulina adicionada a las harinas. Comportamiento contrario fue para la elasticidad, la cual disminuyó al aumentar dicha cantidad de inulina, mostrando en esta variable diferencias significativas entre todos los tratamientos evaluados. Lo anterior se debe a que tanto la fuerza máxima a la tensión

como la elasticidad están fuertemente influenciadas por el grado de gelatinización de los almidones que componen la harina, y al disminuir este componente (al aumentar la cantidad de inulina, disminuye la cantidad de harina y con ello de almidón) el material se torna más duro y menos elástico. Este mismo efecto se presentó en el comportamiento de la fuerza al corte de las tortillas (Cuadro 13), aunque sus resultados fueron menos definidos. Los valores de fuerza máxima a la tensión resultaron en el límite inferior del rango reportado por Rangel-Meza *et al.* (2004), ya que estos autores reportaron un rango de 300-800g para esta variable, para tortillas elaboradas con 5 variedades de maíz, de manera tradicional. Respecto a la fuerza máxima al corte resultó que los valores se encontraron en los rangos reportados por Mauricio *et al.* (2004).

**Cuadro 13.** Fuerza a la tensión, elasticidad y fuerza al corte en tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina

Tratamiento Inulina (%)	Tensión		Corte
	Fuerza máxima (g)	Elasticidad (mm)	Fuerza máxima (g)
0	186.60c	7.44a	1030.46bc
5	232.43b	6.40b	1026.86bc
10	271.68b	4.68c	1035.16bc
15	312.45a	2.73d	990.57c
20	253.62b	1.77e	1170.67ab
25	NDL	NDL	1196.17a

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p=0.05$ ). NDL: no se logró determinar la lectura.

#### 4.5.4 Perfil amilográfico de tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

Las viscosidades máximas de gelatinización y de retrogradación, obtenidas de los perfiles amilográficos realizados con las tortillas de maíz evaluadas, se muestran en el Cuadro 14. La viscosidad máxima desarrollada mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos experimentales, con una tendencia negativa.

Los valores oscilaron entre 291cP para la harina de referencia o sin inulina, hasta 84-89 cP, que correspondió a las tortillas de harinas con el mayor porcentaje de inulina adicionada. Al aumentar la cantidad de inulina a las harinas, las tortillas desarrollaron menor viscosidad durante la prueba. Lo anterior se debió al efecto que tiene, en el desarrollo de viscosidad, el disminuir la cantidad de material causante de la gelatinización en este producto (el almidón). Los resultados encontrados son similares a los reportados por Campus-Baypoli *et al.* (1999), quienes encontraron una baja viscosidad en las tortillas, y concluyeron que fue debido a que el grano fue dañado por la molienda, por lo que hubo menos gránulos de almidón susceptibles a gelatinización.

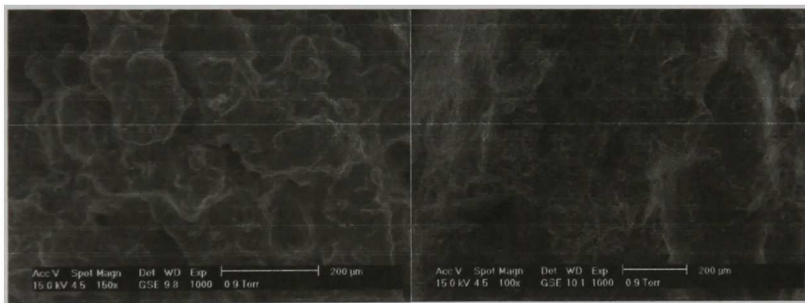
**Cuadro 14** Viscosidad de gelatinización y de retrogradación en tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado adicionada con diferentes cantidades de inulina.

<b>Tratamiento</b> <b>Inulina (%)</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	
	<b>Máxima</b>	<b>Retrogradación</b>
<b>0</b>	291a	373a
<b>5</b>	150b	176b
<b>10</b>	134c	174b
<b>15</b>	101d	145cd
<b>20</b>	84e	131d
<b>25</b>	89e	120c

Medias con la misma letra, en la misma columna no tiene diferencias significativas (Duncan,  $p= 0.05$ ).

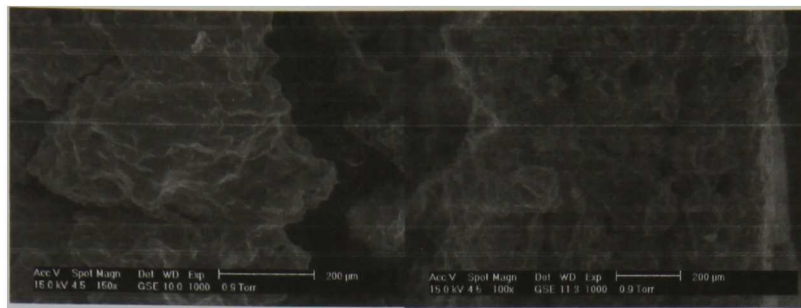
#### 4.5.5 Morfología (micrografías con ESEM) de harinas de maíz nixtamalizado, adicionadas con diferentes cantidades de inulina.

El análisis de la morfología de las tortillas se hizo tanto del área superficial (Fig. 23 a,b,c,d,e,f), así como del área transversal (Fig. 23 g,h,i,j,k,l) de las tortillas elaboradas con harina adicionadas con inulina. En el análisis no se determinaron diferencias en las formas visualizadas, solo se observó un cambio de estructura al comparar las tortillas con 0% de inulina, con respecto a la tortillas adicionadas con inulina. Al aumentar la concentración de inulina se observaron, ciertas estructuras como aglomerados de gránulos de almidón, las cuales se van haciendo más notorias al aumentar la cantidad de inulina en las tortillas. Estas aglomeraciones van siendo embebidas, gradualmente, por una sustancia que hace se muestre, principalmente en la vista transversal, una superficie más continua, dando una apariencia más globular a los gránulos mencionados. En el análisis superficial de las tortillas, a partir de aquellas adicionadas con 10% de inulina, se observa dicha sustancia amorfa la cual se asume es inulina, que cubre los gránulos de almidón.



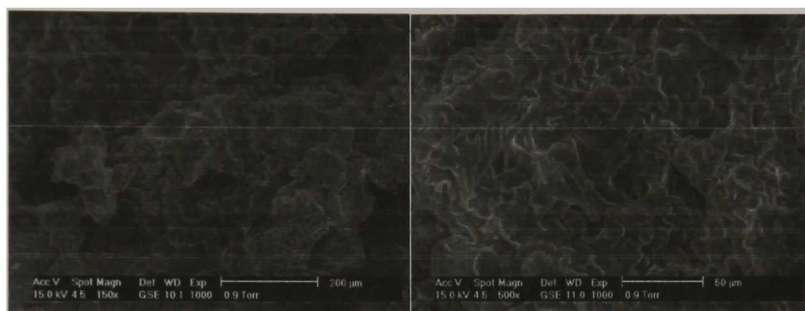
a)

g)



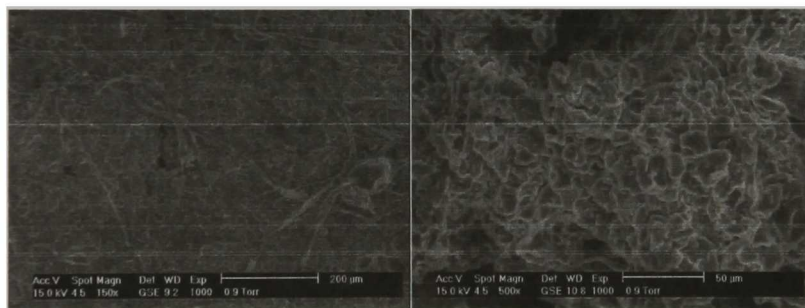
**b)**

**h)**



**c)**

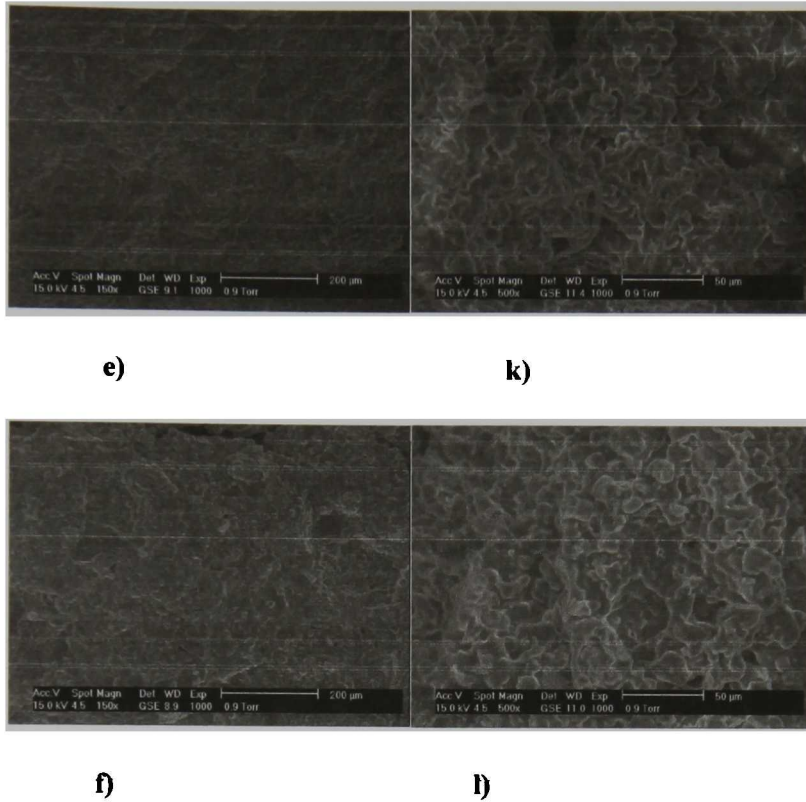
**i)**



**d)**

**j)**





**Figura 23.** Micrografías (ESEM) de la morfología en tortillas adicionadas con diferentes concentraciones de inulina (0,5,10,15,20 y 25%): a), b), c), d), e), f) área superficial de la tortilla y g), h), i), j), k), l) corte transversal en la tortilla.

#### 4.6. Selección de los mejores tratamientos.

De acuerdo a los resultados de la caracterización de harinas, masas y tortillas antes evaluadas, se encontró que en harina de maíz nixtamalizado los tratamientos del 5 y 10 % de inulina fueron los mejores en comparación con los demás tratamientos, debido a que entraban dentro de los parámetros reportados para índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), capacidad de absorción de agua (CAA), color y viscosidad, De igual manera las características en masa tanto en adhesión como cohesión no presentaron diferencias significativas con el blanco (0% inulina).

En tanto en la caracterización en tortillas se encontró que estos tratamientos mostraron una textura del rango reportado para tortillas de maíz, y de igual manera sus características físicas y fisicoquímicas están dentro de los parámetros de calidad de las tortillas de maíz. En base a todas las variables evaluadas se han seleccionado a los tratamientos 5 y 10 % de inulina como los mejores porcentajes de adición para la realización de tortillas de maíz.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos se concluyó lo siguiente:

- Con la metodología propuesta se elaboraron tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con inulina.
- Las harinas de maíz nixtamalizado, masas y tortillas, presentaron diferencias en la mayoría de las variables evaluadas. Las harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con inulina que presentaron las mejores características físicas, fisicoquímicas y térmicas, tomando como referencia la tortilla tradicional, sin inulina, fueron los tratamientos adicionados con 5 y 10 % de inulina.
- De la misma manera, las masas adicionadas con 5 y 10% de inulina, fueron las que presentaron las mejores características en adhesión y cohesión, con valores similares o mejores que las elaboradas sin inulina (masas de referencia).
- Las tortillas elaboradas con las masas de las harinas de maíz nixtamalizado, adicionadas con los porcentajes antes mencionados de inulina, resultaron con buena textura (un poco más suaves o similar) o similares a las tortillas elaboradas sin inulina. Esto lo indican tanto la fuerza a la tensión y la elasticidad encontradas.
- Después del análisis de las determinaciones hechas a todos los tratamientos evaluados, se puede concluir que la harina de maíz nixtamalizado adicionada con 5 y 10% de inulina puede ser utilizada para la elaboración de tortillas, sin que se afecte la calidad de las mismas.
- Consumir tortillas elaboradas con harinas de maíz nixtamalizado adicionadas con 5 y 10% de inulina, otorga la cantidad de inulina recomendada según lo reportado por Roberfroid y Slavin, (2000), para obtener sus beneficios.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AACC, 1983. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. p. 1525. Assoc. of Am. Cereal Chemists, Inc., St. Paul. Minnesota, USA.
- Agama A. E., Marie-Astrid Ottenhof, F. Imad, M., O. Paredes L., J. Ortiz C., y L. Bello P. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*. 29(11):643-649.
- Almeida Domínguez, H.D., Cepeda, M., y Rooney, L. W., 1996. Properties of comercial nixtamalized corn flours. *Cereal Food World*; 41: 624.
- Anderson R.H. Conway H.F., Pfeifer V.F. y Griffin E.L. Jr. 1969. Gelatinization of corn grits by-roll extrusion-cooking, *Cereal Science Today* 14; 4-7;11-12
- Antuna Grijalva O., Rodríguez Herrera S. A., Arámbula Villa G., Palomo Gil A., Gutiérrez Arias E., Espinosa Banda A., Navarro Orona E., Enríquez., 2008. Calidad tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:3:23-27.
- Arámbula-Villa G, JA Méndez-Albores, J González- Hernández, E Gutiérrez-Aria, E Moreno- Martínez (2004) Evaluation of a methodology to determine texture characteristics of maize (*Zea mays* L.) tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54: 216-222.
- Arámbula, V.G., A.L. Barrón, H.J. González, E. Moreno and B. Luna, 2001. Efecto del cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortilla de maíz. *Arch. Latinoam Nutr.*, 51(2): 187-194.

- Arámbula V.G., J.M. Yáñez L., Y. Vorobiev V. y J. González H. 2000. Coeficiente efectivo de difusión de agua en masas de maíz nixtamalizado por extrusión. *Agrociencia* 34: 711-727.
- Arámbula VG, SR Mauricio A, JD Figueroa C, J González H, FC Ordorica A (1999) Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal Food Science* 64: 120-124.
- Arámbula V.G. 1994. Evaluación de un proceso continuo de extrusión para obtención de harinas instantáneas de maíz para la elaboración de tortillas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán de Rosales. Sinaloa, México. pp 1-109.
- Archer, B. J., Johnson, S. K., Devereux, H. M., & Baxter, A. L. (2004). Effect of fat replacement by inulin or lupin-kernel fibre on sausage patty acceptability, post-meal perceptions of satiety and food intake in men. *British Journal of Nutrition*, 91(4), 591-599.
- Armstrong, L. M., Luecke, K. J., & Bell, L. N. (2009). Consumer evaluation of bakery product flavour as affected by incorporating the prebiotic tagatose. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(4), 815-819
- Asad, U., Emenaker, N. J., & Milner, J. A. (2008). Colorectal cancer prevention: The role of prebiotics. In G. R. Gibson, & M. B. Roberfroid, *Handbook of Prebiotics* (pp. 285-294). Boca Raton: CRC Press.
- Bedolla S. y Rooney LW, 1984. Characteristics of U.S and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal food world*. 29:11:732-735.
- Bedolla, S. 1983. Development and characterization of instant tortilla flours from sorghum and corn by infra-red baking (micronizing) and extrusion baking. Phd dissertation. Texas A y M University: College station, TX.
- Bello Pérez Luis A., Osorio Díaz P., Agama Acevedo E., Nuñez Santiago C., Paredes López O., 2002. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas

de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 33:6:319-327.

- Beriain, M. J., Gomez, I., Petri, E., Insausti, K., & Sarries, M. V. (2011). The effects of olive oil emulsified alginate on the physico-chemical, sensory, microbial, and fatty acid profiles of low-salt, inulin-enriched sausages. *Meat Science*, 88(1), 189-197.
- Biedrzycka, E., & Bielecka, M. (2004). Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (3-4), 170-175.
- Billeb de Sinibaldi A. C., Bressani Ricardo, 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *ALAN 51: 1: 86-94*.
- Brennan, C. S., & Samyue, E. (2004). Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 7(3), 647-657.
- Bressani, R., Breuner, M. y Ortiz, M.A.1989. Contenido de fibra ácido- y neutrodetergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 39: 382-391.
- Bot, A., Erle, U., Vreeker, R., & Agterof, W.G.M. (2004). Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. *Food Hydrocolloids*, 18 (4), 547-556.
- Burton-Freeman, B. (2000). Dietary fiber and energy regulation. *Journal of Nutrition*, 130(2), 272S-275S.
- Cabrera L. 1992. *Diccionario de aztequismos*. 1ª. ed. Ed. COLOFON México.
- Campas-Baypoli, O. N.; Rosas-Burgos, E. C.;Torres -Chavez, P.I.; Ramirez-Wong, B.; and Serna-Saldivar, S. O. (2002) Physicochemical Changes of Starch in Maize Tortillas During Storage at Room and Refrigeration Temperatures. *Starch/Starke*. 54(8): 358-363.
- Campas- Baypoli; N. Rosas, B.P.I; Torres, C.H; Ramirez, W.B.; Serna, S.S.O 1999. Physicochemical changes of starch during Maize tortillas production. *Starch starke*. 51:173-177.

- Capriles, V. D., Soares, R. A. M., Pinto e Silva, M. E. M., & Areas, J. A. G. (2009). Effect of fructans based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(10), 1895-1901.
- Contreras Jiménez B.L. 2009. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. Tesis de Maestría CICATA, Querétaro.
- Coudray, C., Tressol, J.C., Gueux, E., & Raysiguier, Y. (2003). Effects of inulin-type fructans of different chain length and type of branching on intestinal absorption and balance of calcium and magnesium in rats. *European Journal of Nutrition*, 42 (2), 91-98.
- Coussement, P.A. (1999). Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. *American Society for Nutritional Sciences*, 129, 1412S-1417S.
- Cruz H. E. 2005. Estudio de las propiedades físicas y fisicoquímicas del grano, nixtamal, masa y tortillas elaboradas con maíz germinado. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana.
- Desrosier N.W. 1999. Elementos de Tecnología de los alimentos. Ed. CECOSA. México. pp. 155-166.
- Devereux, H. M., Jones, G. P., McCormack, L., & Hunter, W. C. (2003). Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. *Journal of Food Science*, 68(5), 1850-1854.
- E.E.A.INTA. 2006. Informe de coyuntura del mercado de granos. Área Estudios Económicos y Sociales. N° 218/2006.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124 (2), 411-421.

- Espinosa-Martos, I., Rico, E., & Rupérez, P. (2006). Note. Low molecular weight carbohydrates in foods usually consumed in Spain. *Food Science and Technology International*, 12(2), 171-175.
- EUR 1859 (2000). Scientific concepts of functional foods in Europe. Project Report. Vol. 3 Dg Research-RTD actions: life sciences and Technologies. Bruselas. Bélgica.
- FAO, 1993. El maíz en la nutrición humana. Depósito de documentos de la FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Roma.
- Feick K (2009). <http://www.frost.com/proced/servelet/pressrelease.pagdocid=168776171>. Accessed 18.08.11
- Fernández-Muñoz J.L., I. Rojas-Medina., M.L. González-Dávalos., M. Leal., M.E. Valtierra., E. San Martín-Martínez and M.E. Rodríguez. 2004. Study of calcium ion difusión in componentes of Maize kernels during tradicional nixtamalization process. *Cereal Chemistry* 81: 65-69.
- Fernández-Muñoz, J.L., E.S. Martín-Martínez, J.A.I. Díaz-Góngora, A. Calderón and H. Ortiz, 2008. Evaluation of particle distributions of nixtamalized maize flour by RVU. *Superficies Vacío*, 21: 25-30.
- Fennema O.R. 2000. *Química de alimentos*. 2ª. ed. Ed Acribia. España. pp. 212-245.
- Figueroa J. D., Acero G. M. G., Vasco M. N., Lozano G. A., Flores A. L., Gonzalez H. L., 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *ALAN* 51: 3: 293-302. ISSN 0004-0622.
- Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., & Roberfroid, M. (2001). Inulin and Oligofructose as Dietary Fiber: A Review of the Evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41 (5), 353-362.



- Flores- Farías Rivelino, 2004. Efecto de la incorporación de fibra de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea maíz L.*). Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.
- Flores Farías Rivelino, Martínez B. Fernando., Salinas Yolanda, Ríos Elvira, 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36: 5: 567. México.
- Flores-Farías, R.; Martínez-Bustos, F.; Salinas-Moreno, Y.; Kil-Chang, Y.; González Hernández, J.; Ríos, E. 2000. Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised Mexican maize flours for tortilla. *J Sci Food Agric*. 80: 657-664.
- Flores F.R. 1997. Caracterización Físicoquímica y Reológica de Harinas Comerciales de Maíz (*Zea mays L.*) Nixtamalizado. Tesis de Licenciatura, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. México
- Fogliano, V., & Vitaglione, P. (2005). Functional foods: Planning and development. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49 (3), 256-262.
- Franco María Lajolo, Elizabete Wenzel de Menezes (2006), Composición. Estructura, propiedades Biológicas e Carbohidratos y su utilización en Alimentos, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 648p.; 16x23cm. ISBN: 85-314-0935-7.
- Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose.
- García, M. L., Cáceres, E., & Selgas, M. D. (2006). Effect of inulin on the textural and sensory properties of mortadella, a Spanish cooked meat product. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(10), 1207-1215.
- Gibson GR, Roberfroid MB; Dietar y modulation of the human colonic microbiote. Introducing the concept of prebiotics. *J Nurt*, 1995, 125:1401-1412.

- Gómez M.H., C.C.Dollak and L.W. Rooney. 1992. Steeping of alkaline-cooked sorghum. *Cereal Foods World* 37: 574.
- Gómez M.H., R.D. Waniska and L.W. Rooney. 1990. Effects of nixtamalization on grinding conditions on the starch in masa. *Starch/Stärke* 42: 475-482.
- Gómez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W. y Waniska, R.D.1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* 54: 330-336
- Gomez, M.H., 1988. Physicochemical characteristics of fresh masa from alkaline processed corn surghum and of corn dry masa flour. Ph. D. thesis , Texas A and M, Universidad, college station.
- Gómez M. H., Waniska R. D., y Rooney and Pflugfelder. R. L. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World.* 32: 372.
- Gibson, G. R., Probert, H. M., Loo, J. V., Rastall, R. A., & Roberfroid, M. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17, 259-275.
- Gibson, GR. y Roberfroid, MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota:
- Introducing the concept of prebiotics *J. Nutr.*, 125: 1401-1412.
- Hawthorne, K. M., & Abrams, S. A. (2008). Prebiotics and the absorption of minerals: a review of experimental and human data. In G. R. Gibson, & M. B. Roberfroid, *Handbook of Prebiotics* (pp. 105-113). Boca Raton: CRC Press
- Hempel, S., Jacob, A., & Rohm, H. (2007). Influence of inulin modification and flour type on the sensory quality of prebiotic wafer crackers. *European Food Research and Technology*, 224(3), 335-341.
- Hesseltine, C.W.1979. Some important fermented foods of mid-Asia, the Middle East and Africa. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56: 367-374

- Hosney R.C. 1998. Principles of Cereal science and technology. 2a. ed. Ed. American Association of Cereal Chemists. Inc. Minnesota. 378 p.
- Hosney R. C. and Faubion J. M. 1992. Physical properties of cereal grains. in: Storage of cereal grains and their products. Sauer, D. B. American Association of Cereal Chemist, inc. Minnesota, USA. pp 28-38.
- Hosoya, N., Dhorraintra, B., & Hidaka, H. (1988). Utilization of [U-14C] fructooligosaccharides in man as energy resources. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 5(1), 67-74.
- Hunterlab 2001. Principios básicos de mediad y percepción del color. Versión 1.2. consulta web <http://www.hunterlab.com/pdf/color-s.pdf>. (Mayo 2009).
- Iturriaga N.J. 1987. De taco, tamales y tortas. Ed. Diana. México. p. 125.
- Jackson, D. S. and Shandera, J. R. 1995. Corn Wet Milling: Separation Chemistry and Tecnology, ADVANCES in Food and Nutrition Research. Vol. 38:271-297.
- J. L. Fernández-Muñoz\*, E. San Martín-Martínez, J. A. I Díaz-Góngora, A. Calderón, H. Ortiz, Evaluación de las Distribuciones de Tamaño de Partícula de Harina de Maíz Nixtamalizado por medio de RVA, Superficies y Vacío 21(3) 25-30,septiembre de 2008.
- Journal of Nutrition, 128 (1), 11-19.
- Kaur, N., y Gupta, A. K. (2002). Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. Journal of Biosciences, 27, 703-714.
- Koetz, R., and Neukom, H. 1977. Nature of bound nicotinic acid in cereals and its release by thermal and chemical treatment. Page 305 in: Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing. T Hoyden and O. Kvale, eds. Applied Science Publishers: London.

- Lindeboom, N., P.R. Chang y R.T. Tyler; Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review, *Starch/Stärke*: 56(3-4), 89-99 (2004).
- Lopez Guillermo A. H., de Dios F J., Mendoza G Arturo, Gaytan M Marcela., Velez M. Juan.(2004). Avances en la evaluacion de la dureza en granos de maiz utilizando latecnica de ultrasonido Cinvestav-Unidad Queretaro. IPN. Simposio de metrologia
- Macfarlane, G. T., Steed, H., & Macfarlane, S. (2007). Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics. *Journal of Applied Microbiology*, 104(2), 305-344.
- Macfarlane, S., Macfarlane, G. T., & Cummings, J. H. (2006). Review article: prebiotics in the gastrointestinal tract. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 24(5), 701-714.
- Manning, T. S., & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 18(2), 287-298.
- Martínez-Bustos, F.; Figueroa, J.D.C.; Sánchez-Sinencio, S.F., González-Hernández, J.; Martínez, M.J.L.; Ruiz-Torres, M.; inventores; Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., assignee. 1996 Sep 24. Extrusion apparatus for the preparation of instant fresh corn dough or masa. U.S. patent 5,558,886.
- Martínez- Flores H. E., Martínez- Bustos F., Figueroa J. D. C., González Hernández J., 1998. Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *Journal Food Science* 63: 130133.
- Mauricio- Sánchez R.; Figueroa Cárdenas J.D .; Sukethosi T.; Reyes- Vega M.O.; Ricon- Sanchez , F.; Mendez- Galvan A.; 2004. Caracterización de accesiones de maíz de por calidad del grano y tortilla. *Rev. Fitotec Mex.* 25 (003) : 213-222.

- Meyer, D. y Peters, B. (2009). Enhancing the nutritional value of bread with inulin. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 20(3), 48-50.
- Moerman, F.T.; Van Leeuwen, M.B., & Delcour, J.A. (2004). Enrichment of higher molecular weight fractions in inulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (12), 3780-3783.
- Neder- Suarez, D.R Talamas- Abbud, A. Quintero- Ramos, V. Santana-Rodríguez, R. Márquez- Meléndez, D. Lardizábal- Gutiérrez, K. Campos-Venegas, B. Ramírez-Wong. 2011. Método alternativo para la elaboración y evaluación Físicoquímicas y sensorial de masa y tortillas de maíz. *Síposium internacional sobre tecnologías convencionales y alternativas en el procesamiento de maíz*. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Niness, K. R. (1999). Inulin and oligofructose: What are they? *Journal of Nutrition*, 129(7), 1402S-1406S
- NMX-FF-034-1995.SCFI. Productos alimenticios no industrializados. Cereales-Maíz (*Zea mays* L.) Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (<http://www.economía-nmx.gob.mx/>).
- Novelo V. y A. García. 1987. *La tortilla: alimento, trabajo y tecnología*. UNAM. México. 65 p.
- Oke O.L. 1967. Chemical studies on the Nigerian food stuff “ogi”. *Food Technology* 21: 202-204.
- Ortega., E. I., Villegas, E., and Vasal, S. K., 1986. A comparative study of protein changes in normal quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 65: 446.
- Paliwal R.L., G. Granados., H.R. Lafitte y A.D. Violic. 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. FAO. Roma.

- Palomino, C., Molina, Y. & Pérez, E. 2010. Atributos físico y composición química de harina y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott, *Revista de la Facultad de Agronomía*, 32(2), 58-66.
- Paredes y Saharopulus. PME 1983. Maize: A review of tortilla production technology. *Bakers*. 57: 16-25.
- Ponce, A.E 2004. Bacterias lácticas productoras de bacteriocinas y su aplicación en su conservación de alimentos. II Simposio Internacional de Ciencia y tecnología de alimentos. P 84-86.
- Rangel- Meza, E; Muñoz- Orozco, A.; Vázquez-Carrillo, G.; Cuevas-Sánchez, J.; Merino- Castillo, J. y miranda Colín 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlan, Puebla, México. *Agrociencia*. 38:53-61.
- Reyes Moreno C., Millan J., Gutierrez Dorado R., Paredes Lopez O., Cuevas Rodriguez E.O., Garzon tiznado J.A., 2003. Instant flour from quality protein maize (*Zea Mays* L) Optimization of extrusión process. *Lebensm wiss. U-Technol*. 36:685-695.
- Reyes C.P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. A.G.T. Editor. México. 460 p.
- Roberfroid, M.B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 93, S13-S25.
- Roberfroid, M. (2002). Functional food concept and its application to prebiotics. *Digestive and Liver Disease*, 34(Suppl. 2), S105-S110.
- Roberfroid, M., & Slavin, J. (2000). Nondigestible oligosaccharides.
- Roberfroid, M. B., Van Loo, J. A. E., & Gibson, G. R. (1998). The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products.
- Rodríguez O.F. 1972. Producción industrial, mercadeo y distribución de masa de maíz para la preparación de arepas en Venezuela. In R. Bressani. J.E.

Braham y M. Béhar. Eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Pub. INCAPL-3. Guatemala, INICAP. p.109-114.

- SAGARPA. 2005. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Delegación Sinaloa.
- Sahai, D.; Buendía, M.O.; Jackson. D.S. 2001. Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour particle size and functionality relationships in a masa flour simple. *Cereal Chem.* 78; 14-18.
- Salinas, M.Y., Soto, M.H., Martínez-Bustos, F., Ortega, R.P., Arellano Vasquez, J.L., 2003. Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia* 37, 617–628.
- Sandhu K.S., N. Singh and M. Kaur. 2004. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering* 64: 119-127.
- Seifert, S., & Watzl, B. (2008). Prebiotics and the immune system: Review of experimental and human data. In G. R. Gibson, & M. B. Roberfroid, *Handbook of Prebiotics* (pp. 143-162). Boca Raton: CRC Press.
- Serna-Saldívar, S. (2000). Sorghum. En: *Handbook of Cereal Science and Technology*, (Kulp, K., Ponte, J., eds.). Marcel Dekker, New York, USA.
- Serna-Saldívar S.O. M.H. Gómez and L.W. Rooney. 1994. Food uses of regular and specialty corns and their dry milled fractions. In A.R. Hallauer, ed. *Specialty corns*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press. p. 263-298
- Serna-Saldívar S.O. M.H. Gómez and L.W. Rooney. 1990. Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. Cap. 4. In: *Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. X., Y. Pomeranz(ed). P. 243-307. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul MN.
- Serna-Saldívar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W. y Tanksley, T.D.1987. Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chem.*, 64: 247-252.

- Sloan, A.E. (2006). The top 10 functional food trends. *Food Technology*, 60, 22-40.
- Sproule, A.M., Serna-Saldivar, S.O., Buckholt, A.J., Roone,v, L.W. y Knabe, D.A. 1988. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize. *Cereal Foods World*, 33: 233-236
- Taylor, T. P., Fasina, O., & Bell, L. N. (2008). Physical properties and consumer liking of cookies prepared by replacing sucrose with tagatose. *Journal of Food Science*, 73(3), S145-S151.
- Torres S.G. y I.M. Morales. 1997. Maíz-tortilla. Políticas y alternativas. Universidad Nacional Autónoma de México. 240 p.
- Trejo-González, A., Feria-Morales, A. y Wild-Altamirano, C.1982. The role of time in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Adv. Chem Ser*: 198: 245-263
- Tunglund, B.C., & Meyer, D. (2002). Non-digestible Oligosaccharides (Dietary Fibre): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3, 73-92.
- Ulluo-Sosa M. and H.W. Schoeder. 1969. Note on aflatoxin descomposition in the process of making tortillas from corn. *Am. Ass. Cereal chem* 46:397-400.
- Van Loo, J., Clune, Y., Bennet, M., & Collins, J.K.(2005). The SYNCAN project: goals, set-up, first results and settings of the human intervention study. *British Journal of Nutrition*, 93, S1 S91-S98.
- Van Loo J, Coussement P, de Leenheer L, Hoebregs H y Smits G. 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35 (6): 525-552.



- Vázquez- López. 2013. Evaluación de mezclas de harina de malanga y maíz para elaborar tortillas. Tesis de Maestría. Campus de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Campus, Tabasco.
- Vélez Medina José Juan, 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.
- Voragen, A.G.J. (1998). Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends in Food Science and Technology*, 9, 328-335.
- Wada, T., Sugatani, J., Terada, E., Ohguchi, M., & Miwa, M. (2005). Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1246-1253.
- Wall J. W. and K. J. Carpenter. 1988. Variation in availability of niacin in grain products. *Food Technology* 42: 198-204.
- Watson, S. A. 1988. Structure and composition. *Corn: chemistry and technology*. Pag. 53-82. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. ST. Paul, Minesota, USA.
- Watson, S.A. 1987. Structure and composition. En S.A. Watson y P.E. Ramstad. eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 53-82. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem
- Wells, A. L., Saulnier, D. M. A., & Gibson, G. R. (2008). Gastrointestinal Microflora and Interactions with Gut Mucosa. In G. R. Gibson, & M. B. Roberfroid, *Handbook of Prebiotics* (pp. 13-38). Boca Raton: CRC Press.
- Wilkes H.G. 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. In D.R. Harris & G.C. Hillman, (eds.) *Forage and farming*. London, Unwin Hyman. p.440-454.

- Wouters, R. (2010). Inulin. In A. Imeson, Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents (pp. 180-197). New York: John Wiley & Sons.
- Yáñez- Ortega Yadira, 2005. Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas. Tesis de maestría CICATA, Legaria.
- Zahn, S., Pepke, F., & Rohm, H. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(12), 2531-2537.

EL JURADO DESIGNADO POR LA UNIDAD QUERÉTARO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, APROBÓ LA TESIS DE MAESTRÍA DE LA C. ARELY BERENICE HERNÁNDEZ MALDONADO TITULADA: "DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE TORTILLAS ADICIONADAS CON INULINA", FIRMAN AL CALCE DE COMÚN ACUERDO LOS INTEGRANTES DE DICHO JURADO, EN LA CIUDAD DE QUERÉTARO, QRO., A LOS 9 DÍAS DEL MES DE AGOSTO DEL AÑO 2013.



DR. GERÓNIMO ARÁMBULA VILLA



DR. JUAN FRANCISCO PÉREZ ROBLES



DR. JESÚS ABRAHAM MÉNDEZ ALBORES



CINVESTAV - IPN  
Biblioteca Central



SSIT0011979