



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

EFFECTO DE LA NIXTAMALIZACIÓN CONJUNTA DEL MAÍZ Y EL
FRIJOL SOBRE EL CONTENIDO DE LISINA Y TRIPTÓFANO ASÍ COMO
EN LAS PROPIEDADES DE TEXTURA DE LAS TORTILLAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

DOLORES CUEVAS MARTÍNEZ

ASESORES Dra. CAROLINA MORENO RAMOS
Dr. ABRAHAM MENDEZ ALBORES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

U. N. A. M.

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Efecto de la nixtamalización conjunta del maíz y el frijol sobre el contenido de lisina y triptófano así como en las propiedades de textura de las tortillas

Que presenta la pasante: Dolores Cuevas Martínez

Con número de cuenta: 402072041 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 4 de octubre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. Dora Luz Villagómez Zavala	
VOCAL	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
SECRETARIO	Dra. Carolina Moreno Ramos	
1er SUPLENTE	I.A. Ana María Sabina de la Cruz Javier	
2do SUPLENTE	Dr. Sergio Jiménez Ambriz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHH/pm



AGRADECIMIENTOS

Son muchas personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mi, por todo lo que me han brindado y por sus bendiciones.

A Dios por haberme dado la existencia, por la fortaleza para convertir este sueño en realidad y para seguir adelante pese a todos los obstáculos, por todo lo que tengo y por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida.

Gracias a la UNAM que me abrió las puertas para realizar mis estudios profesionales y a la FES CUAUTITLAN por su estancia, fuiste mi casa por cerca de 5 años germinaste en mi semillas de progreso, autonomía y autogestión agradecida estoy ya que no solo me otorgas un grado académico sino que me diste una de las mejores etapas de mi vida y deseo expresar lo orgullosa que me siento de egresar de esta institución.

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Ernesto Moreno Martínez, por el apoyo y financiamiento para la realización de este trabajo.

A mis tutores quienes me orientaron en todo momento en la realización de este proyecto.

Dra. Carolina Moreno Ramos

Agradezco sinceramente a mi tutora de tesis su esfuerzo y dedicación, por contribuir en mi formación académica; quien es el mejor ejemplo de una mujer exitosa, por ser una persona a la que admiro y respeto, sin usted este trabajo no hubiera sido posible, gracias por su paciencia y motivación y sobre todo por la confianza que depositó en mí y por los momentos compartidos que han sido piezas fundamentales para alcanzar este sueño.

Dr. Abraham Méndez Albores por su labor de dirección de este trabajo y, por su ayuda personal e interés demostrado en la realización del mismo.

A mis sinodales M.C. Dora Luz Villagómez Zavala, I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa, Dra. Carolina Moreno Ramos, I.A. Ana María Sabina de la Cruz Javier y Dr. Sergio Jiménez Ambríz porque gracias a ustedes y a su formación académica estoy en este lugar, agradezco sinceramente el tiempo y sus observaciones tan valiosas para la correcta realización de este trabajo de tesis.

Agradezco a Laura Ancheita y al señor Gustavo por su apoyo moral, por escucharme y animarme en los peores momentos y al todo el personal del Centro de Asimilación Tecnológica por su valiosa ayuda durante mi estancia.

Al Centro de Asimilación Tecnológica por haberme brindado todas las facilidades para el desarrollo de esta tesis Asimismo, agradecer el préstamo de las instalaciones por haberme proporcionado los medios necesarios para llevar a buen fin este trabajo.

**“La diferencia entre lo ordinario
y lo extraordinario es un gran
esfuerzo”**



DEDICATORIAS

Le dedico esta tesis a todos los que creyeron en mí, a toda la gente que me apoyo, a mis amigos y familiares los que siempre han tenido un espacio para estar cerca de mí.

A mi madre Marithelma por haberme dado la dicha de existir, por su apoyo incondicional y por todos los esfuerzos que tuvo para hacerme una profesional, por enseñarme que hay que tener fuerza, carácter y disciplina para luchar por lo que uno quiere, eres mi mayor ejemplo de resistencia ante la adversidad te debo lo que soy, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final recompensado. Gracias por demostrarme tu amor día con día y por creer en mi MAMI no me equivoco si digo que eres la mejor del mundo, te Amo.

Con mucho amor a las dos personas que físicamente dejaron de estar conmigo, pero siempre estarán en mi corazón GRACIAS abuelos los amo, se que aún siguen velando por mi y llegué hasta donde ustedes querían.

A mi Abuela Josefina Rodríguez Márquez (+) por tus cuidados que tuviste conmigo por tus muestras de cariño, por todos los momentos que me diste durante mi infancia y por no dejarme sola cuando mas te necesité te quiero mucho eres inspiradora de este triunfo gracias por darme todo tu amor.

A mi Abuelo Julián Martínez González (+) aunque ya no estés con nosotros te agradezco todo lo que hiciste por mi gracias por adoptarme como tu hija, por ser un pilar de mi formación eres mi guía sin ti esto no hubiera sido posible.

Muchas gracias a todos los que se han cruzado en mi camino, ya que de experiencias se vive y se mejora, es por ello que cada uno de ustedes es importante en mi andar, les agradezco su tiempo y sobre todo su apoyo ya que muchos de ustedes siguen conmigo.

A la Familia Martínez Rodríguez

Por toda su comprensión y cariño que me han brindado. Gracias por estar ahí cuando mas los necesito.

A mis hermananos Joselin, Eliud Karim y Aldo a los cuáles les tengo un gran amor gracias por todos sus juegos que compartieron conmigo y por su apoyo que cada uno de ustedes me ha brindado que esto les sirva de motivación, nunca se conformen busquen nuevos horizontes y conquisten sus sueños por que cuando se desean con fuerza siempre se cumplen. vivan su juventud no se la beban de un solo trago, los quiero mucho.

A mis primos Héctor, Hugo, Selene, Miguel Ángel, Mirna, Yuliana, Gustavo, Alexis, Daniel, Brayan, Paola, Adriana, Oscar, Omar, Viris, Christopher, Derek Isaac, Armando, Bere, Nayeli, Héctor por compartir grandes momentos y por sus muestras de cariño.

A mi sobrina Melanie C. por todas sus sonrisas y travesuras, nena te quiero mucho.



A mis tíos:

Armando M (†) gracias por todo lo que me diste y por haberme apoyado cuando mas te necesite T.K.M.

Rosario Mtz. eres parte fundamental de mi vida, por todos los momentos que hemos compartido en todos estos años y por tu apoyo mil gracias por aguantarme en mis malos momentos.

Martín Mtz. Que desde el principio depositó su confianza en mi y que me ayudo en la etapa mas difícil de mi existencia, por adoptarme como su hija y por sus grandes muestras de cariño por que gracias a eso he aprendido a crecer como persona y por eso cada esfuerzo de mi vida se convirtió en mi recompensa.

Julián, Magdalena, Alejandro, Oscar, Héctor y Hugo Mtz. Los quiero mucho mil gracias por todas sus muestras de apoyo, por que se que cada uno de ustedes contribuyó para llegar a esta meta y gracias por ser parte de mi family.

Existen personas que ocupan un lugar especial en nuestras vidas, que queremos y perdonamos por encima de todas las cosas; esas personas son especiales por que son parte de nosotros y en algún momento compartimos algo que se queda para la eternidad. Para los que han sufrido un poco mis malos momentos en especial a los Ingenieros en Alimentos de la generación 26 y para mis amigos que fueron parte del grupo JUMEX.

A mi gran amigo Ingeniero en Alimentos César Alejandro Vieyra T (Chino) Mil gracias por tu invaluable amistad y por escucharme, siempre has estado para brindarme un consejo y me has ayudado sin condiciones, por haber compartido desvelos, fiestas, juegos, triunfos y fracasos que complementaron una etapa más en la facultad y por estar en momentos tan importantes en mi vida T.K.M. compa.

A los Ingenieros Anabel Rivas, Nayeli García, Teresa Morales, Janet Hernández, Yadira Rojas, Carla Calva, Guadalupe T, José Ferruzca, Oscar Pacheco, Luis Jesús Salazar y Jenny, por haber compartido momentos importantes durante la carrera.

A mi mejor amiga Isabel Martínez Leal, gracias por tantos años de compartir grandes momentos juntas, y a mi amiguis Paulina Coba.

Al Grupo JUMEX que es mi empleo que me ha hecho desenvolverme profesionalmente y por haberme puesto personas que me llenaron de mucha experiencia.

A mis amigos que me brindaron su ayuda, su atención, y lo más importante su amistad, a quienes día con día me enseñaron a seguir dándome la mano sin alguna condición amiga entrañable Violeta Álvarez por tu amistad incondicional eres super gracias por escucharme y por estar ahí en los peores momentos.

A Juan Alberto Rodríguez (flako) gracias por todo lo que me enseñaste, por haber compartido muchos momentos de alegría y tristeza, y sobre todo por apoyarme eres una persona invaluable y sabes nunca había conocido a una persona con tanto entusiasmo como el tuyo tienes mucha carisma y sabes ganarte el corazón de muchas personas te considero mi mejor amigo mil gracias por tu amistad.



A Gabriel Rocha Vega (gabys) eres una persona muy importante en mi vida ya que me demostraste tu amistad incondicional, tu apoyo y me escuchaste en todo momento, por todas las experiencias compartidas que se quedaron en mi corazón, y sabes que en mí tienes a una persona que siempre sabrá escucharte nunca te olvidare T.K.M

Laura Amable, Rubén Gómez, Sandra Morales, Roberto Alonso, Elizabeth y Joel Cano por el camino que recorrimos, por las travesías y todos aquellos momentos inolvidables que pasamos juntos y que gracias a ellos conservamos nuestra amistad.

Hay situaciones en la vida que nos hacen reflexionar sobre nuestra persona, y en muchas de las ocasiones lo relacionamos con el destino y siempre recordamos que todos tenemos un destino. Como quiera que sea, es uno como persona quien le da sentido y forma a nuestra vida.

La grandeza de nuestra persona, solo la encontramos cuando perdemos las dimensiones de nuestro interior y buscamos en nosotros lo que anhelamos en los demás.

Y serán estas situaciones en las que se nos presenta la oportunidad de crecer. Porque nuevamente renacerá ese sentimiento que de niño teníamos, ilusión o sueño, pero ahora....Ahora es esperanza.

Lo importante es estar dispuesto en cualquier momento a dejar de ser lo que se es, para ser algo mejor.

D.C.M.

¡GRACIAS....!



ÍNDICE

Pág.

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	
2.1. Generalidades del maíz	3
2.1.1. Tipos de maíz.....	4
2.1.2. Estructura del grano de maíz	5
2.1.3. Composición química del grano de maíz	7
2.1.4. Producción de maíz en México	9
2.2. Características generales del frijol	10
2.2.1. Orígenes del frijol.....	10
2.2.2. Clasificación taxonómica	11
2.2.3. Características estructurales del frijol	11
2.2.4. Aporte nutrimental.....	12
2.2.5. Composición química del frijol.....	13
2.2.6. Producción de frijol en México.....	16
2.2.7. Factores antinutricionales.....	17
2.3. Nixtamalización	19
2.3.1. Factores críticos de procesamiento	20
2.3.2. Calidad del grano para nixtamalizar.....	20
2.3.3. Cambios físicos, químicos y estructurales en el grano de maíz durante la nixtamalización	20
2.3.4. Función de la cal en la nixtamalización.....	22
2.3.5. Absorción de agua y calcio durante la cocción y remojo.....	23
2.3.6. Cambios nutrimentales del maíz a la tortilla durante la Nixtamalización.....	23
2.3.7. Proceso de nixtamalización	25
2.4. La Tortilla.....	30
2.4.1. Importancia de la tortilla en México.....	30
2.4.2. Mejoramiento de la calidad de la tortilla de maíz	32
2.4.3. Atributos para evaluar la calidad en la tortilla de maíz	32
2.4.4. Importancia de la textura en las tortillas.....	33
2.4.5. Propiedades de textura en la tortilla.....	33



	Pág.
3. METODOLOGÍA	
3.1. Objetivos	36
3.2. Cuadro metodológico	37
4. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1. Propiedades físicas de los granos.....	38
4.1.1. Tamaño del grano.....	38
4.1.2. Peso de 1000 granos.....	39
4.1.3. Peso hectolítrico	39
4.2. Propiedades fisicoquímicas de los granos	39
4.2.1. Contenido de humedad	39
4.2.2. pH.....	40
4.3. Proceso de elaboración de la tortilla	41
4.3.1. Porcentaje de material perdido durante la nixtamalización	41
4.3.2. Preparación de la masa.....	43
4.3.3. Troquelado de la masa	43
4.3.4. Cocimiento de las tortillas.....	43
4.4. Propiedades de calidad de las tortillas	44
4.4.1. Pérdida de peso en la cocción	44
4.4.2. Grado de inflado	44
4.4.3. Rolabilidad	45
4.5. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas.....	45
4.5.1. Color	45
4.5.2. Humedad.....	46
4.5.3. pH.....	46
4.6. Propiedades texturales de las tortillas.....	46
4.7. Cuantificación de proteínas en las tortillas	47
4.7.1. Cuantificación de lisina y triptófano en las tortillas	49
4.8. Factores Antinutricionales	50
4.8.1. Inhibidor de tripsina, ácido fítico y taninos	50
4.9. Análisis estadístico	51



	Pág.
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Propiedades físicas del grano	52
5.1.1. Tamaño del grano.....	52
5.1.2. Peso de 1000 granos.....	52
5.1.3. Peso hectolítrico	53
5.2. Propiedades fisicoquímicas	53
5.2.1. Contenido de humedad	53
5.2.2. pH.....	53
5.3. Propiedades fisicoquímicas del nixtamal.....	54
5.3.1. Sólidos totales.....	54
5.3.2. pH.....	54
5.4. Contenido de humedad de la masa.....	55
5.5. Propiedades de calidad de las tortillas	55
5.5.1. Pérdida de peso en la cocción	55
5.5.2. Grado de inflado	56
5.5.3. Rolabilidad	56
5.6. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas.....	57
5.6.1. Contenido de humedad	57
5.6.2. pH.....	57
5.6.3. Color.....	58
5.7. Propiedades texturales de las tortillas.....	58
5.8. Cuantificación de aminoácidos	59
5.9. Factores Antinutricionales.....	60
5.9.1. Inhibidor de tripsina, ácido fítico y taninos	60
6. CONCLUSIONES	62
7. BIBLIOGRAFÍA.....	64
8. ANEXO.....	72



ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Clasificación botánica del maíz	3
Tabla 2. Partes componentes del grano de maíz.....	6
Tabla 3. Composición química proximal del grano de maíz	7
Tabla 4. Aminoácidos presentes en el maíz.....	8
Tabla 5. Producción de maíz en México.....	9
Tabla 6. Clasificación taxonómica del frijol.....	11
Tabla 7. Composición química promedio del frijol común.....	13
Tabla 8. Componentes nutritivos de diferentes tipos de frijol	13
Tabla 9. Composición de aminoácidos del frijol y del maíz	15
Tabla 10. Producción de frijol por estado	17
Tabla 11. Producción nacional de frijol.....	17
Tabla 12. Características de calidad del maíz para la producción de harina, tortilla y otros alimentos de maíz nixtamalizado.....	21
Tabla 13. Cambio en el contenido de aminoácidos en el maíz y la tortilla	24
Tabla 14. Contenido de aminoácidos en el maíz, nixtamal y la tortilla	25
Tabla 15. Composición química de la tortilla	31
Tabla 16. Características de calidad de tortillas.....	33
Tabla 17. Mezclas de maíz y frijol para las tortillas	41
Tabla 18. Caracterización física de los granos de maíz y frijol.....	52
Tabla 19. Propiedades fisicoquímicas de los granos de maíz y frijol	53
Tabla 20. Porcentaje de nejayote perdido en la nixtamalización	54
Tabla 21. pH de la solución de cocimiento de las tortillas	54
Tabla 22. Contenido de humedad de las masas	55
Tabla 23. Pérdida de peso de las tortillas durante la cocción.....	56
Tabla 24. Propiedades de calidad de las tortillas	56
Tabla 25. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas.....	57
Tabla 26. Análisis de color de las tortillas	58
Tabla 27. Propiedades texturales de las tortillas.....	59
Tabla 28. Cuantificación de aminoácidos de las tortillas	60
Tabla 29. Factores antinutricionales en las tortillas elaboradas con las mezclas	61



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Estructura del grano de maíz.....	5
Fig. 2 Estructura del frijol	11
Fig. 3 Principales estados productores de frijol.....	16
Fig. 4 Proceso tradicional de nixtamalización	27
Fig. 5 Consumo de alimentos en la dieta rural.....	31
Fig. 6 Variedades de maíz y de frijol que se utilizaron.....	38
Fig. 7 Balanza analítica Ohaus	39
Fig. 8 Estufa con circulación de aire forzado Stabil therm	40
Fig. 9 Potenciómetro semiportátil marca Orion	40
Fig. 10 Diagrama de bloques para la obtención de tortillas maíz-frijol	42
Fig. 11 Molino de piedras marca Fumasa	43
Fig. 12 Cocimiento de las tortillas	43
Fig. 13 Inflado de las tortillas	44
Fig. 14 Obtención de muestra para textura	47
Fig. 15 Unidad de digestión Kjeldhal	48
Fig. 16 Unidad de destilación Buchi	48
Fig. 17 Rotavapor R-124.....	50



1. INTRODUCCIÓN

El maíz y el frijol son dos de los cultivos de mayor importancia en México, siendo las principales fuentes de alimento para más de 25 millones de mexicanos de las áreas rurales, así como para cerca de 30 millones de habitantes de las áreas urbanas marginadas (Rosado *et al.*, 1992). En México, el maíz y el frijol proveen cerca del 70% de la ingesta de calorías, así como el 90% de la proteína total. El frijol es una fuente importante de proteína (180-300 g/kg), la cuál tiene altas cantidades de lisina (66 g/kg de proteína) y triptófano (32 g/kg de proteína) (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000).

Debido a la gran importancia de los productos nixtamalizados en México y en otros países, numerosos estudios han sido realizados para señalar la baja calidad nutricional de las harinas de maíz nixtamalizado; sin embargo, se ha evaluado la adición de aminoácidos (Scrimshaw y Young, 1993), así como la adición de varias fuentes de proteína ricas en lisina y triptófano para suplir esta desventaja (Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2001; 2003). Desafortunadamente, la mayoría de las estrategias que han sido probadas, han resultado caras y con poca aceptación por parte de los consumidores, debido a que se afectan las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y/o texturales de los productos nixtamalizados (Malovany *et al.*, 2004).

La nixtamalización también lleva a las pérdidas de proteína, de carbohidratos y de vitaminas (Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2001). Debido a este hecho, la industria de la tortilla sufre de un compromiso en calidad con los niveles poco proteínicos, así como deficiencias de la lisina y del triptófano en el producto. Por lo tanto, varios estudios se han conducido con respecto a la mejora de nutrientes en tortillas.

El maíz es pobre en lisina y triptófano, y con la nixtamalización, estos aminoácidos se reducen entre 15 y 50 %, si a ello se agrega que la tortilla es la principal fuente de alimento para más de 25 millones de mexicanos en áreas rurales y 30 millones en zonas urbanas marginadas, es necesario atender esta carencia.

La cantidad de proteína ha sido aumentada agregando la soya (Franze, 1975; Bressani y otros, 1979), desengrasado de la soya (Serna-Saldívar, 1988b), sorgo (Serna-Saldívar y otros, 1988a), harina de la semilla de algodón (Mc Pherson, 1976), maíz germinado (Wang y Fields, 1978), residuos de leche de soya, lisina y triptófano directos (Waliszewski y otros, 2000, 2002), entre otros. Sin embargo, tales estrategias han demostrado ser costosas o imprácticas, debido al cambio en características fisicoquímicas de textura y propiedades sensoriales en la tortilla enriquecida.



En México, el consumo per cápita de tortilla es de 120 kg por año, esto es, 328 g/día (Figueroa *et al.*, 1996). Las tortillas comúnmente se consumen acompañadas con otros alimentos, incluyendo frijol común, otra leguminosa importante del alimento que se consume en grandes cantidades hasta de 60 g por persona por día (Fernández, 2002).

Considerando que las tortillas en nuestro país son generalmente elaboradas con maíces normales, las cuáles son deficientes en lisina y triptófano; el uso de frijol blanco es una buena estrategia para mejorar la calidad de la proteína en este producto de gran importancia, por lo tanto, se evaluó la adición de diferentes cantidades de frijol durante la nixtamalización del maíz como una alternativa para producir tortillas con una buena calidad proteica.



2. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del maíz

El maíz existió como un precursor silvestre hace unos 7,000 años en la región central de México. Unos 2,000 años más tarde el maíz ya fue cultivado por el hombre y fue utilizado diariamente como alimento durante el desarrollo de la gran civilización Mesoamericana (Desroisier, 1994).

El maíz (*Zea mays*) es el único cereal proveniente del Nuevo Mundo, específicamente de México (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 1994). En la nomenclatura científica *Zea mays* significa “grano que proporciona vida” es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal.

El maíz está clasificado como una planta monocotiledónea, botánicamente pertenece a la familia de las gramíneas, tiene sistemas de raíces fibrosas, hojas alternantes, venas paralelas en las hojas, vainas de hojas divididas, tallos cilíndricos con nudos sólidos y flores en espiga más o menos abiertas (Desroisier, 1994).

El maíz es el cereal que ocupa el primer lugar en cuanto a la extensión territorial de su cultivo.

En la tabla 1 se muestra la clasificación botánica del maíz.

Tabla 1. Clasificación botánica del maíz

Categoría taxonómica	Maíz
Nombre científico	<i>Zea mays</i>
Reino	Vegetal
División	Tracheophyta: plantas con tejidos vasculares
Subdivisión	Pteropsidae: con hojas grandes
Clase	Angiospermae: plantas con flor; semillas dentro de frutos
Subclase	Monocotyledoneae: con un solo cotiledón
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales: generalmente hierbas
Familia	Gramíneae
Género	<i>Zea</i> : maíz
Especie	<i>Zea mays</i> : maíz cultivado o domesticado

Fuente: (White y Jhonson, 2003)



2.1.1. Tipos de maíz

La característica variable del maíz que más se relaciona con sus usos como alimento es la composición de su endospermo, carácter usualmente controlado por unos pocos genes de herencia simple (Villagrana y Villareal 2000). Una sencilla clasificación utilitaria del maíz basada en las características del endospermo distingue los siguientes tipos:

- **Palomero** (reventador) -*Zea mays everta*. El tipo domesticado original, consiste de pequeños frutos esféricos. La humedad atrapada en el almidón harinoso se expande mediante la aplicación de calor haciendo que el almidón salga a través de dicha capa endurecida, produciendo así las populares palomitas.
- **Cristalino** (duro) -*Zea mays indurata*. Similar al maíz reventador, pero con frutos más largos. Este tipo de maíz es producido en áreas donde puede requerirse tolerancia al frío o bien en zonas donde las condiciones de germinación y almacenaje son pobres. Actualmente comprende un 14 % de la producción comercial.
- **Harinoso** (blando) - *Zea mays amylacea*. El descubrimiento y selección de esta característica constituyó un paso esencial para la amplia dispersión, desarrollo y adopción de una gran cantidad de alimentos elaborados a base de maíz. La harina de maíz continúa siendo la forma preferida para la elaboración de productos de consumo humano directo. En la actualidad involucra el 12 % de la producción comercial.
- **Dentado** -*Zea mays indentata*. Consiste de un núcleo de almidón harinoso con inclusiones laterales de almidón duro. Este es el tipo de maíz que se produce más a nivel mundial, involucrando un 73 % de la producción comercial, siendo usado en la alimentación del ganado así como para diversos productos industriales (almidón, jarabe, aceite, alcohol).
- **Dulce** - *Zea mays sacharata*. El endospermo consiste principalmente de azúcar soluble, con un poco de almidón y una forma intermedia de un polímero de azúcar llamado fitoglicógeno. La producción comercial es escasa.
- **Tunicado** -*Zea mays tunicata*. Se caracteriza por que cada grano se encuentra encerrado por una vaina, como consecuencia cada grano tiene características de endospermo distinto.
- **Cereo waxi**- *Zea mays cerea*. Se le distingue porque el almidón está compuesto básicamente de amilopectina. Se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos (Hoseney, 1991).



2.1.2. Estructura del grano de maíz

El grano de maíz está constituido por cuatro partes principales como muestra la figura 1, cada una de ellas presenta diferentes características de composición de importancia en la utilización del grano de maíz.

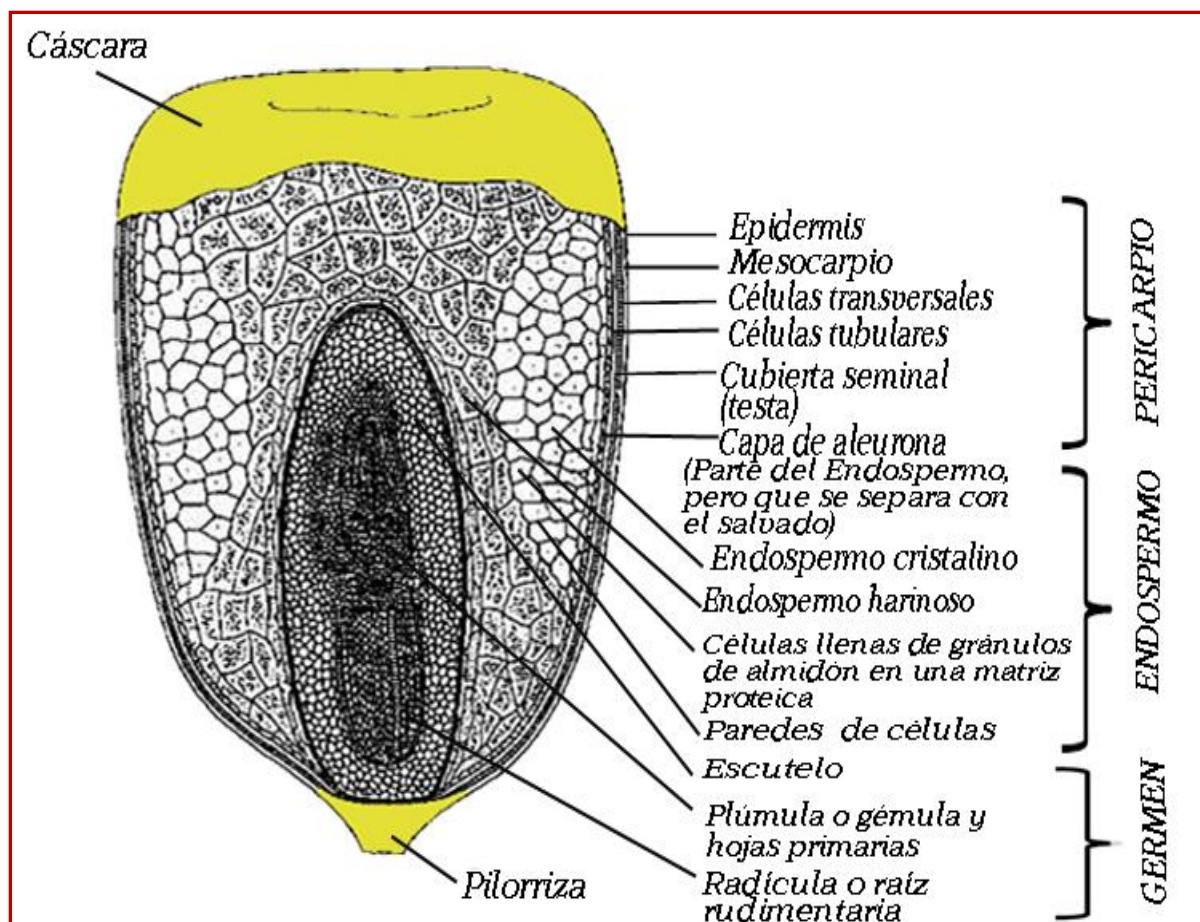


Figura 1. Estructura del grano de maíz

Fuente: <http://www.fao.org>

***Germen:** En el extremo más bajo del grano ocupando del 9.5 al 12 % del peso seco del grano se encuentra el germen. Posee dos partes deseables, el eje embrionario (planta nueva) y el escutelo que constituye una gran reserva del alimento, los cuales son movilizados por enzimas elaboradas durante las etapas iniciales de la germinación. El escutelo es la sencilla capa de células secretoras las cuáles forman el contacto primario entre el germen y el endospermo (Watson y Ramstad, 1987).

La mayoría de las proteínas del germen son albuminas y globulinas, componentes del sistema enzimático de la célula (Watson y Ramstad, 1987).



***Endospermo:** Es la estructura que representa la reserva energética, constituye el 80-84% de peso total del grano. Funciona como dador de energía a la planta en su desarrollo. Está comprendido por células empacadas con gránulos de almidón de 5 a 30 μm empotrados en una matriz proteica continua. Existen dos tipos de endospermo; el endospermo periférico que está adherido a la capa de aleurona y que representa una capa delgada y el endospermo almidonoso de dos tipos: harinoso y córneo, ambos están comprimidos por la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón. El endospermo harinoso rodea la fisura central del grano es opaco para transmitir la luz. La opacidad es debida a la refracción de la luz sobre las bolsas de aire alrededor de los gránulos de almidón las cuales resultan del desgarramiento de la delgada matriz proteica cuando se encoge esta durante el secado (Watson y Ramstad, 1987).

***Pericarpio:** Es una capa exterior de cubierta protectora dura y fibrosa que encierra al grano, es una membrana delgada, transparente casi invisible, llamada cubierta de la semilla o testa; se adhiere fundamentalmente a la superficie externa de la capa aleurona y además imparte propiedades semipermeables al grano de maíz, representa entre el 5-7 % del grano de maíz (Klaus y Karel, 1991).

***Punta o cofia:** Es la parte minoritaria también conocida como pedicelo, representa menos del 1 % del grano de maíz, es una estructura fibrosa que mantiene el grano unido por el olote y por la cual se transportan los nutrimentos que el grano necesita durante la etapa de crecimiento, está compuesta principalmente por celulosas, entre la base del germen y la punta se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar que funciona como sello del grano en la etapa madura (Klaus y Karel, 1991).

En la tabla 2 se describe el porcentaje en peso de cada uno de los componentes del grano de maíz.

Tabla 2. Partes componentes del grano de maíz

Parte	Porcentaje en peso del grano entero
Endospermo	82.9
Germen	11.1
Pericarpio	5.2
Cofia	0.8
Grano entero	100

Fuente: (Watson y Ramstad, 1987).



2.1.3. Composición química del grano de maíz

Los principales componentes químicos del maíz son: carbohidratos (almidón), proteínas, lípidos, fibra cruda, azúcares y minerales. En la tabla 3, se muestra la composición química proximal del grano de maíz y de sus estructuras anatómicas.

Tabla 3. Composición química proximal del grano de maíz (%)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	8.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.9	8.3
Carbohidratos	0.3	0.6	10.8

Fuente: (Watson y Ramstad, 1987)

Proteínas: Las proteínas del maíz se localizan principalmente en el endospermo y en el germen. Las proteínas presentes en el endospermo representan entre el 75 y el 82 % de la proteína total del grano.

En el maíz se han identificado varias clases de proteínas denominadas como sigue: albúminas, globulinas, zeína y glutenina. Constituyen el 6-10% del grano y se localizan principalmente en el endospermo y el germen. Basadas en su solubilidad son clasificadas en: albúminas, solubles en agua; globulinas, solubles en soluciones salinas diluidas e insolubles en altas concentraciones de sal; prolaminas, solubles en solución de alcohol al 70% y glutelinas, solubles en soluciones ácidas y básicas diluidas. Cuantitativamente las proteínas que predominan en el maíz son las prolaminas y en este grupo la principal es la zeína constituyendo el 50% de las proteínas (Hoseney, 1991).

Las proteínas del maíz se componen de dos fracciones:

1. Las proteínas localizadas en el germen, que están bien equilibradas desde el punto de vista nutricional, pero que lamentablemente sólo representan el 20% del contenido total de proteínas en el maíz.
2. Las proteínas que se encuentran en el endospermo en forma de cuerpos proteicos discretos y una matriz proteica. Los cuerpos proteicos están compuestos fundamentalmente por una prolamina llamada zeína, que tiene cantidades insuficientes de dos aminoácidos indispensables, lisina y triptófano (Hoseney, 1991).



La zeína tiene leucina (aminoácido esencial), fenilalanina y tirosina, los tres en casi el 50% del total de la proteína. Está en mayor proporción en el endospermo dentro de los cuerpos proteicos de las membranas del mismo. La matriz proteica envuelve a los gránulos de almidón y rodea a los cuerpos que son más grandes y numerosos en el endospermo córneo que en el harinoso. La zeína α tiene alto contenido de glutamina, valina, metionina, leucina y alanina en forma de α hélices que interactúan con puentes de hidrógeno en forma de bastón (Watson y Ramstad, 1987).

La proteína total del maíz es un compuesto de numerosas moléculas proteicas cada una de las cuales son polímeros de aminoácidos (Watson y Ramstad, 1987). En la tabla 4 se muestra el porcentaje de los aminoácidos presentes en el maíz.

Tabla 4. Aminoácidos presentes en el maíz

Aminoácido	(%)
Metionina	0.17
Cistina	0.13
Lisina	0.22
Triptófano	0.09
Treonina	0.34
Isoleucina	0.37
Histidina	0.19
Valina	0.42
Leucina	1.0
Arginina	0.052
Glicina	0.33
Fenilalanina	0.44

Fuente: (Allen, 1993)

Lípidos: El contenido de lípidos varía ampliamente dependiendo de la proporción del germen presente en el grano y su contenido de aceite. En general se tiene un 4.5% de lípidos y de éste total el 85% está presente en el germen como triglicéridos de ácidos grasos y el 15% restante constituye fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides (Watson y Ramstad, 1987).

Los principales ácidos grasos presentes en el maíz son el ácido linoleico (el 50%, oleico (35%), palmítico (13%), esteárico y linolénico.

Vitaminas y Minerales: El maíz contiene dos vitaminas liposolubles (A y E) en aproximadamente 2.5 mg/kg peso seco del grano. Las vitaminas hidrosolubles tiamina (B1) en 3.8 mg/kg y la piridoxina en 5.3 mg/kg de peso seco. La niacina se encuentra en elevadas proporciones (28 mg/kg de materia seca) pero se encuentra



enlazada de tal forma que es no disponible para los animales monogástricos. Sin embargo el tratamiento térmico-alkalino la hace disponible (Watson y Ramstad, 1987).

El 78% de los minerales totales del grano, se encuentran concentrados en el germen. El elemento inorgánico más abundante es el fósforo en 0.08 % del grano seco. Otros son el potasio (0.037%) y el azufre el forma orgánica como componente de aminoácidos azufrados. Además el maíz es una fuente importante de calcio y selenio (González, 1995).

Carbohidratos: El maíz como todos los cereales constituye una importante fuente de carbohidratos. El almidón es el principal carbohidrato presente en el maíz, y representa el 72-73 % del grano y esta compuesto por dos tipos de moléculas, la amilosa y la amilopectina. Es el polisacárido de almacenamiento energético más importante del maíz y básicamente se concentra en el endospermo y en menor cantidad en el germen, pericarpio y pedicelo (Watson y Ramstad, 1987). Se forma en planta por condensación progresiva de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos y está constituido por dos polímeros: uno lineal que es la amilosa y uno ramificado que es la amilopectina (Watson y Ramstad, 1987). La amilosa está presente en un 24 % y la amilopectina el 73-76%.

2.1.4. Producción de Maíz en México

Globalmente, el maíz se cultiva en más de 140 millones de hectáreas, con una producción anual de más de 20 millones de toneladas (www.infoaserca.gob.mx), como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5. Producción de Maíz en México 2006-2009
(Millones de Toneladas)**

Año Agrícola	Producción
2006	20,507.4
2007	21,191.5
2008	21,191.5
2009	22,472.6

Fuente: elaborado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas con datos del SIAP.

Para el año 2010. La producción nacional de maíz fue de 25 millones de toneladas; sin embargo esta cantidad no fue suficiente, por lo cual se tuvo que importar maíz.



2.2. Características Generales del Frijol

El frijol es uno de los cultivos de mayor importancia en nuestro país, ubicándose en segundo lugar por superficie destinada, la mayor importancia radica en el papel que juega para la economía campesina y como fuente vital de proteínas para la población mexicana (<http://www.agronet.com.mx/>).

En México esta leguminosa ha sustentado la alimentación popular desde épocas precolombinas, en donde se le conocía bajo distintos nombres: Etl (náhuatl), Tatsunitl (purépecha), X-kalil-bul (maya), Bi-zaahul (zapoteco).

El frijol, pertenece a la familia de las leguminosas o fabáceas. La planta puede llegar a medir de 50 a 70 cm de altura, cuenta con raíces bien desarrolladas y una principal pivotante, tallos delgados y débiles, cuadrangulares, sus semillas son reniformes oblongas a ovales o redondeadas, poco comprimidas, color rojo, amarillo, café o negro (Soriano, 2006).

2.2.1. Orígenes del frijol

El nombre científico de la especie es *Phaseolus vulgaris* L. originaria de México y Centroamérica en donde se han encontrado vestigios con una antigüedad de más de 7,000 años (Blancas, 2001).

Existen alrededor de 80 especies de frijol silvestre en el Continente Americano, de las cuáles, sólo cuatro especies fueron domesticadas para servir como alimento y se conservan actualmente en tierras americanas (Solórzano-Vega, 1994). Estas son: *Phaseolus vulgaris* o frijol común con múltiples variedades, son originarias del Continente Americano pero ahora se cultivan ampliamente en Asia y África; *Phaseolus coccineus* o frijol ayocote (ayecohtli, ayecocimatli) esta especie es originaria de las tierras altas, tropicales y húmedas de México, Guatemala y Honduras; *Phaseolus acutifolius*, frijol tepari o escumite se originó y todavía crece de manera silvestre en México y el sudoeste de los E.E.U.U y *Phaseolus lunatus* o frijol lima originarios de Perú se consumen en todas las áreas tropicales y subtropicales (Soriano, 2006).

Algunos de sus nombres comunes son: frijol, habichuela, judía común, alubia, cholo, ayote, french bean, entre otros (Allen y Allen, 1981). El frijol (*Phaseolus vulgaris*), es una planta originaria de América tropical y subtropical, su uso con características domésticas, según los restos más antiguos data de hace cinco mil años, aproximadamente (Pérez, 2002).



2.2.2. Clasificación taxonómica

Phaseolus vulgaris es la especie más conocida del género *Phaseolus* en la familia *Fabaceae* (tabla 6), con unas cincuenta especies de plantas, todas nativas de América. Es una especie anual de la familia de las leguminosas de América, que se cultiva en todo el mundo. Existen numerosas variedades y de ella se consumen tanto las vainas verdes como los granos secos.

Tabla 6. Clasificación Taxonómica del frijol

Super reino	Eucariota
Reino	Plantae
División	Magnoliofitas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rósidas
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

Fuente: (Soriano, 2006)

2.2.3. Características estructurales del frijol

La semilla del frijol tiene 2 estructuras, las cuales se muestran en la figura 2, el embrión y la cubierta de la semilla o testa.

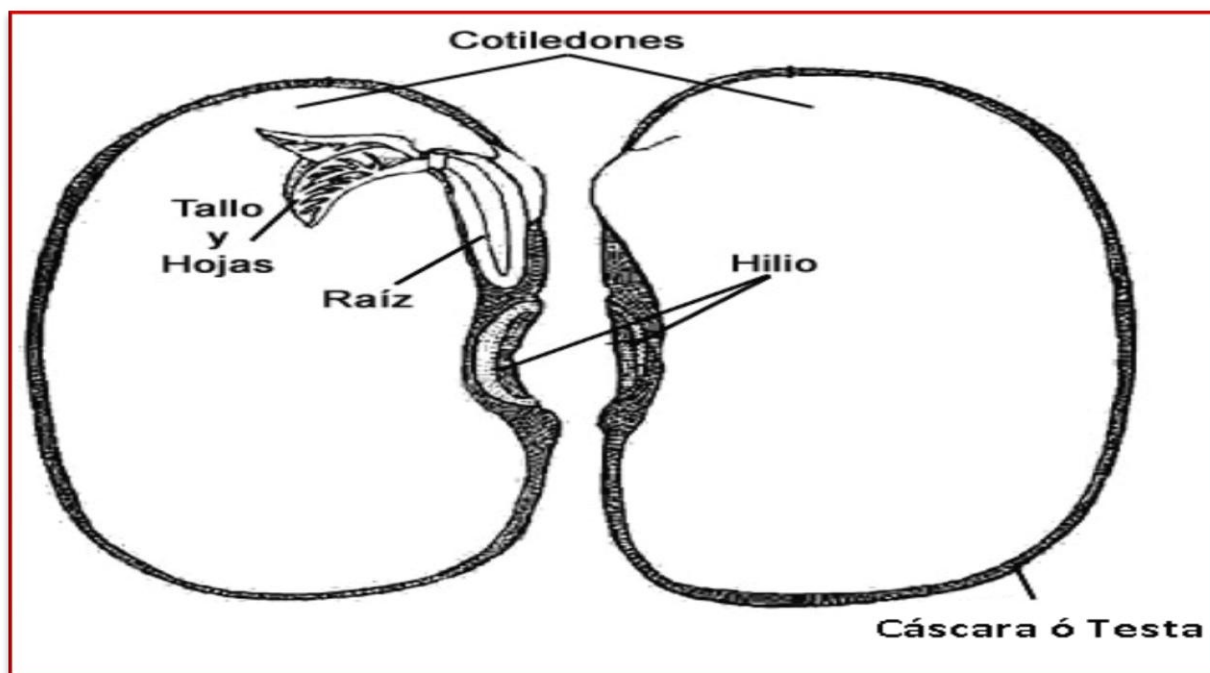


Figura 2. Estructura del frijol

Fuente: www.sdnhm.org



a) La testa o cáscara es la estructura externa que envuelve a la semilla la cuál puede tener muy distintas texturas y apariencias, es dura y está formada por una capa interna y una externa de cutícula y, una o más capas de tejido grueso que sirve de protección y que puede estar constituida por hilio, que es una cicatriz ovalada que aparece en el lugar donde la semilla estaba unida al funículo (Moreno C.P, 2003).

A un lado del hilio se localiza una abertura, el micrópilo y al otro lado se localiza un borde llamado rafe (Moreno C.P, 2003).

b) El embrión es el origen de la raíz, hojas y tallo de la nueva planta. El embrión maduro, de las plantas que tienen flores, consiste en un eje parecido a un tallo (eje embrionario) en cuyo extremo están dos cotiledones. Tiene función reproductiva con capacidad para iniciar divisiones celulares y crecer. Se trata de un eje porque inicia el crecimiento en dos direcciones: hacia las raíces y hacia el tallo. Generalmente, el eje embrionario es pequeño con respecto a las demás partes de la semilla (Moreno C.P, 2003).

Los cotiledones, que son parte del embrión, son abultados y constituyen el 90% de la masa de la semilla, exhiben una estructura altamente organizada, contienen células parenquimatosas unidas por una pared celular distinta (Liu ,1995).

2.2.4. Aporte nutrimental

Diversos autores (Ortega, 1991; Kohashi, 1996; Castellanos *et al.*, 1997; Jacinto *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2002; Serrano y Goñi, 2004; Salinas *et al.*, 2005; Herrera *et al.*, 2005), han destacado las propiedades nutritivas que posee el frijol, de manera fundamental por su alto contenido en proteínas y en menor medida en carbohidratos. Los resultados de dichos estudios evidencian, de cierta forma, las razones del por qué las culturas mesoamericanas, desde tiempos inmemoriales basaron su alimentación en el frijol y el maíz, al igual que la razón del por qué en la actualidad continúan siendo complementos básicos entre la población de Mesoamérica.

Mientras las gramíneas de grano comestible, como el maíz, carecen de aminoácidos (lisina y triptófano) indispensables en la actividad orgánica del ser humano, el frijol los tiene en altas proporciones. Por ejemplo, en 100 g de harina de frijol canario, es posible obtener la cantidad de aminoácidos que una persona adulta requiere para su dieta diaria (Ortega, 1991). Por su parte, (Kohashi, 1996) establece que, mientras el frijol aporta en su mayor parte proteínas y una parte de carbohidratos, el maíz proporciona en su mayoría carbohidratos.

Se ha determinado que el frijol no sólo suministra proteínas y carbohidratos, también tiene cantidades importantes de vitaminas y minerales. Serrano y Goñi, (2004) descubrieron que con la ingesta diaria de 70.5 g de frijol negro se puede obtener un 13.4% (0.447 mg) de ácido fólico; 19.1% (4.82 mg) de hierro; 35.5% (195.6 mg) de magnesio y 15.9% (3.96 mg) de zinc. En el mismo sentido, (Jacinto *et al.*, 2002), al evaluar los componentes nutrimentales de dos genotipos y diecisiete líneas



endogámicas de frijol, encontraron además otras propiedades de esta leguminosa y destacan la presencia de antocianinas, indispensables en la prevención de enfermedades, entre ellas el cáncer de colon, la arterosclerosis y las inflamaciones intestinales.

2.2.5. Composición química del frijol

El frijol es una rica fuente de proteínas y carbohidratos (tabla 7) además, es una buena fuente de vitaminas del complejo B (niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina). Proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, tiene un alto contenido en fibra (www.fao.org).

Tabla 7. Composición química promedio del frijol común

Nutrientes	%
Humedad	10.4
Proteínas	22.6
Lípidos	1.5
Carbohidratos	57.6
Celulosa	4.73
Minerales	3.7

Fuente: (James, 1981)

Existen pequeñas diferencias en la composición química dependiendo de la variedad de frijol como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Componentes nutritivos de diferentes tipos de frijol

Componente	Amarillo	Ayocote	Bayo	Garbancillo	Negro
Agua (g)	7.5	11.7	10.1	6.3	12
Proteínas (g)	14.2	15	22.7	16	21.8
Grasas (g)	1.7	1.7	1.8	1.7	2.5
Cenizas (g)	5.2	3.6	4	4.8	3.9
Carbohidratos					
totales	71.40	68	61.4	71.2	59.8

Fuente: CEPAL, <http://www.ric.fao.org>

Algunas características importantes de los componentes químicos del frijol se explican a continuación:



Carbohidratos: Sirven de reserva energética y constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas, 55 a 65 % del peso seco en promedio. De ellos, el almidón es el principal constituyente, seguido de la fibra dietética y cantidades pequeñas pero significativas de oligosacáridos (Bravo *et al.*, 1998). El almidón del frijol sirve como aporte de energía y de estructuras carbonadas para síntesis posteriores en el metabolismo (González *et al.*, 2005).

Las células del frijol son una importante fuente de fibra dietética. La fibra está formada principalmente por carbohidratos complejos no digeribles, como la celulosa, hemicelulosa y pectina de las células vegetales y lignina, que no es un carbohidrato. La fibra dietética ha sido definida como el conjunto de lignina y polisacáridos no hidrolizados por las enzimas endógenas del tracto digestivo de los humanos (www.inta.gob.ni).

Lípidos: Los glóbulos de grasa se encuentran insertos entre la red que forman las proteínas y los carbohidratos en cada cotiledón, encontrándose principalmente triglicéridos. Entre los ácidos grasos libres se han identificado: ácido láurico, palmítico, esteárico, siendo el palmítico el más abundante. Sin embargo, la mayor fracción la representan los triglicéridos que contienen ácidos grasos insaturados como el oleico, linoleico y linolénico y ácidos grasos esenciales, los cuales le confieren al frijol una mayor calidad nutrimental (Carpita y Gibeaut, 1993).

Proteína: El frijol proporciona entre un 20 a 30 % de proteína dependiendo de la variedad. La importancia de su proteína, no sólo se debe a su cantidad sino a su calidad. Es una proteína con un alto contenido de lisina, que es uno de los aminoácidos estratégicos en la nutrición y los niveles de esta, son superiores a la de todos los cereales, que junto con el frijol, forman parte importante de la dieta del mexicano. Aunque se ha reportado que es deficiente en metionina y cisteína por lo que se complementan perfectamente con los cereales. Por lo tanto, el valor nutrimental de la leguminosa está determinado en gran medida por el contenido de proteína y su digestibilidad (Carpita y Gibeaut, 1993).

Calidad proteica

La calidad de la proteína del frijol es importante porque contiene aminoácidos esenciales entre los que destacan la lisina (tabla 9), pero presenta cierta deficiencia en los aminoácidos azufrados (metionina, cistina). Debido a la deficiencia de lisina que tienen algunos cereales, el frijol combinado con granos como maíz, arroz, trigo, etc. se complementan obteniendo como resultado una mejor calidad proteínica que la de los granos individuales (Bonilla, 1991).



Tabla 9. Composición de aminoácidos del frijol y del maíz

AMINOÁCIDOS	FRIJOL	MAÍZ	FAO ESTANDAR
Lisina	500	177	270
Triptófano	58	28	90
AA sulfurados totales	83	117	270
Isoleucina	319	241	270
Leucina	205	260	306
Treonina	310	182	180
Tirosina	62	220	180
Valina	360	252	270
Fenilalanina	323	278	180

Fuente: <http://www.fao.org>

Al comparar aminoácidos individuales de maíz y frijol con el patrón de referencia de la FAO, en la tabla 9 puede notarse que el maíz es deficiente en lisina y triptófano, principalmente. El frijol por el contrario, tiene cantidades considerables de lisina, siendo suficientes para corregir la deficiencia de lisina del maíz en una mezcla alimenticia. En el caso del triptófano tanto maíz como frijol son deficientes sin embargo, el frijol posee mayores cantidades que el maíz, por tanto, en una mezcla disminuirá esta deficiencia.

Vitaminas y minerales: En general las leguminosas son buenas fuentes de vitaminas del grupo B como (niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina). En cuanto a los minerales son ricas en calcio, hierro y fosforo, y su asimilación depende de la acción inhibitoria del ácido fítico (www.inta.gob.ni).

Compuestos tóxicos y antinutrimientales: El frijol presenta factores antinutrimientales que incluyen inhibidores enzimáticos, factores de flatulencia, taninos y ácido fítico y compuestos tóxicos como hemaglutininas. La cocción elimina por completo las hemaglutininas, mientras que el inhibidor de tripsina es el más resistente al calor.

La presencia de factores antinutrimientales como inhibidores de tripsina, ácido fítico, oligosacáridos y taninos, reduce su valor biológico; pero es importante mencionar que estos compuestos son inhibidos o inactivados durante la cocción (González *et al.*, 2005).

El frijol constituye una de las leguminosas de mayor consumo en México y en general de América Latina. En las poblaciones rurales de nuestro país equivale al 30 % de la dieta diaria y es la principal fuente de proteínas para la población (SAGAR, 2000).



2.2.6. Producción de frijol en México

Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia dentro de la superficie de los diez cultivos principales del país. La producción en el ámbito nacional es muy vulnerable a las condiciones climatológicas que prevalecen durante el ciclo productivo, debido a que aproximadamente el 87 % de la superficie destinada a este cultivo se ubica en áreas de temporal.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), la producción mundial de frijol en el año 2010 fue de 19.30 millones de toneladas; 0.52% menos respecto al 2009 y para el 2008 disminuyó 6.76% respecto al 2003, en promedio mostró una disminución del 1.70% anual en este periodo.

La mayoría de la producción (entre 60 y 70%) se ubica en la zona noroeste del país, en donde se cultivan variedades azufradas, negras, pintas, etc. Las azufradas son consumidas en la zona norte, donde gusta este tipo de frijol; en cambio, todo el negro que se produce en Nayarit y Zacatecas, es enviado a la zona centro y sur del país, donde se encuentran sus mayores consumidores. Por otro lado, no debemos olvidar que hay variedades que se producen en menor escala porque son consumidos localmente, lo que amplía más el universo de consumo (<http://www.infoaserca.gob.mx>).

En México, el cultivo del frijol junto con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad (SAGAR 2000).

Los estados productores de mayor importancia son: Zacatecas, Sinaloa y Durango (figura 3), destacándose por los altos rendimientos que obtienen y su aportación a la producción nacional (tabla 10).

Zacatecas es el principal productor a nivel nacional en 2008 participó con el 23.7 %, lo que equivale a un total de 0.25 millones de toneladas, Sinaloa con el 14.2 % de la producción nacional equivalente a 0.15 millones de toneladas y Durango aportó el 10.7 % lo que represento 0.11 millones de toneladas.

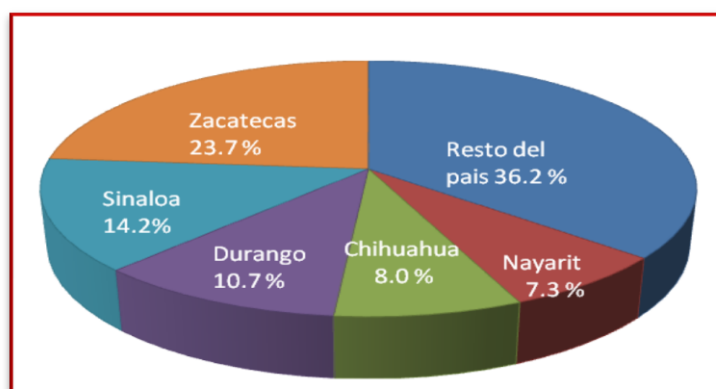


Figura 3. Principales estados productores de frijol
Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP



Tabla 10. Producción de frijol por estado (2010)

Entidad	Producción (Toneladas)
Zacatecas	229,314
Sinaloa	125,256
Durango	95,152
Nayarit	72,338
Chiapas	19,955

Fuente: SAGARPA Servicio de Información y estadísticas agroalimentarias y Pesqueras (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados.

En lo referente al consumo nacional, el frijol ocupa el tercer lugar en importancia y se consume en todos los estratos sociales de ingreso. De la producción nacional, el 80% se emplea para consumo directo; un 10 % se utiliza para semilla y la industria elaboradora de frijol instantáneo y un 10 % representado por mermas físicas.

Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia dentro de la superficie de los diez cultivos principales del país. La producción de frijol (tabla 11) en el ámbito nacional es muy vulnerable a las condiciones climatológicas que prevalecen durante el ciclo productivo, debido a que aproximadamente el 87% de la superficie destinada a este cultivo se ubica en áreas de temporal (SAGAR, 2000).

Tabla 11. Producción nacional de frijol hasta agosto 2010

Producto	Producción (Toneladas)
Frijol	354,970

Fuente: SAGARPA. Servicio de Información y estadísticas agroalimentarias y pesqueras (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados.

El frijol además de ser una de las principales fuentes de proteína, también aporta cantidades valiosas de hierro, calcio, vitaminas como tiamina, niacina y riboflavina, potasio, fósforo, fibra y carbohidratos complejos, no contienen colesterol y tienen una proporción muy alta de sodio y grasas saturadas. La importancia del frijol es debida a su contenido de aminoácidos esenciales que constituyen el suplemento ideal para la proteína de cereales (Guzmán *et al.*, 2000).

2.2.7. Factores Antinutricionales

El frijol contiene alto valor nutritivo pero presenta la desventaja de que, en estado crudo, su aprovechamiento biológico se ve limitado por la presencia de factores antinutricionales, los cuáles pueden ser reducidos o eliminados por medio de la cocción húmeda mejorando así su digestibilidad y aprovechamiento de la proteína (González, 2005).



Además del alto valor nutrimental que poseen las leguminosas, también tienen ciertas sustancias que se consideran como tóxicas y otras que son antinutrimientales. Entre estos factores se encuentran los inhibidores de α -amilasa y tripsina, los tóxicos como hemaglutininas y saponinas. La mayoría de estos compuestos pueden ser destruidos por la cocción tradicional aunque los inhibidores de α -amilasa son los más termorresistentes cuando no existe una hidratación previa (Bonilla, 1991).

Inhibidores de Tripsina

Los inhibidores de proteasas son muy frecuentes en los alimentos de origen vegetal, los cuales inhiben los sistemas enzimáticos de sus depredadores (microorganismos o insectos) o tienen una función reguladora interviniendo en el proceso de autorregulación proteolítica o de almacenamiento en el organismo que los contiene. Gran parte de los alimentos de origen vegetal presentan inhibidores de proteasas; sin embargo es de destacar la amplia presencia de estos compuestos en este grupo de alimentos en donde la mayor proporción se manifiesta en la semilla. Los inhibidores de tripsina pueden coexistir en la misma planta con otros inhibidores proteolíticos (Kon, 1979).

Taninos

Los taninos tienen un efecto antinutricional cuando los alimentos contienen un 5% o más de estos compuestos (Bonilla, 1991). El remojo y la cocción, se consideran como un proceso en el cuál se extrae una porción importante de los taninos de la semilla y se reduce así su efecto.

Ácido Fítico

El ácido fítico es el éster hexafosfórico del ciclohexanol, tiene la capacidad de establecer fuertes uniones iónicas con minerales esenciales en la nutrición, formando quelatos insolubles con iones divalentes como son: calcio, magnesio, zinc, cobre y hierro, provocando que estos minerales no puedan ser absorbidos por el organismo. El humano presenta una limitada capacidad de hidrolizar el ácido fítico, produciéndose como consecuencia una importante disminución en la absorción de los minerales implicados (Ortega, 1996).

El ácido fítico se encuentra naturalmente en diferentes alimentos, como un complejo de fitato-mineral-proteína, incluso se ha sugerido que también pueden formar complejos con los carbohidratos (Badui, 2006). Este compuesto disminuye la unión de gastroferrina (Fe^{++} , Fe^{+++}) bajando así la absorción del calcio, magnesio, fósforo, zinc y molibdeno en el intestino, ya que un gramo de ácido fítico es capaz de secuestrar irreversiblemente un gramo de calcio, provocando una deficiencia de este mineral, esto ocurre a concentraciones de 2-5 g/kg .



2.3. Nixtamalización

Fue desarrollado por los antiguos pueblos indígenas de América, junto con el fitomejoramiento del cultivo del maíz y es utilizado para la producción de tortillas. (Figueroa *et al.*, 1996; Arámbula *et al.*, 2001).

La nixtamalización consiste en un tratamiento térmico alcalino al grano, donde se realiza una serie de cambios fisicoquímicos y biológicos; dando lugar a un producto cocido denominado nixtamal (del Nahuatl *nextli*, que significa cenizas de cal y *tamalli*, que quiere decir, masa de maíz cocida), y a otro de desecho llamado nejayote, en el cuál se encuentra como residuo, entre otras cosas; el pericarpio. El nixtamal se muele posteriormente, se obtiene la masa de nixtamal, la cual se moldea y se cuece para obtener la tortilla (Arámbula *et al.*, 2001).

El nixtamal es una de las formas básicas de procesar el maíz en todo el mundo, ya que si bien es un proceso de origen netamente americano se utiliza actualmente en todo el mundo para procesar este cultivo.

El objetivo general de la nixtamalización es gelatinizar el almidón, hidrolizar parcialmente a la hemicelulosa del pericarpio y liberar niacina (Bedolla, 1982).

El proceso de nixtamalización hace que la tortilla tenga mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo. La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz. Durante el proceso de cocimiento alcalino la zeína, una proteína nutricionalmente pobre reduce su solubilidad, mientras que la glutelina, de mayor valor nutricional, incrementa su solubilidad y con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Figueroa *et al.*, 1996).

Algunos análisis químicos muestran que durante el proceso de nixtamalización se pierde un cierto valor nutricional del maíz. Además, el proceso de nixtamalización provee beneficios como son la destrucción de aflatoxinas en el maíz contaminado por *Aspergillus flavus*. La alta disponibilidad de calcio en la tortilla es importante porque evita el desarrollo de pelagra y la osteoporosis que se manifiesta como fragilidad de los huesos por pérdida de masa del sistema óseo. (<http://www.maiztortilla.com>).

El grano de maíz con calidad proteínica (QPM), tiene un mayor contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, además de otras características que hacen que los humanos y los animales de granja aprovechen su proteína. (<http://www.cimmyt.cgiar.org>).



2.3.1. Factores críticos de Procesamiento

Se han identificado algunos factores fundamentales para controlar el proceso de nixtamalización en puntos críticos. Estos factores incluyen:

- a) El perfil de tiempo/temperatura empleado durante el cocimiento y reposo
- b) El tipo de lavado de nixtamal
- c) Las condiciones de molienda
- d) El tipo de mezclado, laminado y cortado de la masa
- e) El perfil de tiempo/temperatura del horneo

Las condiciones de proceso deben promover los cambios físicos y químicos necesarios en el maíz para obtener la funcionalidad de textura y humedad deseada para el manejo y procesamiento del nixtamal y masa, y la calidad de los productos (Helbert *et al.*, 1996).

2.3.2. Calidad del grano para nixtamalizar

Las características de calidad del grano incluyen rendimiento, propiedades físicas, químicas y tecnológicas. Dentro de las propiedades tecnológicas se encuentran: estabilidad durante el almacenamiento, eficiencia de conversión a productos y cómo estos son afectados por las condiciones de procesamiento así como las características de aceptabilidad al consumidor. Las características físicas y químicas del grano de maíz determinan el alto grado de los parámetros de procesamiento y la calidad de la masa y la tortilla.

La dureza del endospermo, que está determinada por la relación amilosa/amilopectina en el almidón, afecta significativamente la plasticidad de la masa preparada por el método de cocción del maíz con cal.

La dureza del grano de maíz es pues, de mucha importancia para la nixtamalización por lo cuál se han realizado varias investigaciones como las indicadas por (Salinas *et al.*, 1989) y (Salinas *et al.*, 1992) quienes informaron sobre la capacidad de varios métodos para evaluar la dureza del grano. Los métodos fueron: densidad, textura del endospermo, índice de flotación y peso hectolítrico. Sin embargo muchos métodos son complejos y no prácticos para fines de selección de variedades de maíz adecuadas para la nixtamalización (Salinas *et al.*, 1989).

2.3.3. Cambios físicos, químicos y estructurales en el grano de maíz durante la nixtamalización.

Los cambios en composición química son el resultado de pérdidas de ciertas estructuras físicas del grano así como también de compuestos químicos, inducidos por el agua, el pH alcalino de cocción, el tiempo de cocción y remojo y las temperaturas aplicadas en las diferentes fases del procesamiento.



El tratamiento térmico alcalino facilita la remoción del pericarpio, a la vez que permite el desarrollo de atributos sensoriales como: sabor, aroma y color. Por otra parte, se mejora la vida de anaquel por el control de la actividad microbiana (Serna Saldívar, 1990).

Los resultados de varios investigadores han ofrecido información sobre cuáles son las características de calidad de cocción alcalina del maíz (Rooney y Serna Saldívar 1987, Salinas *et al.*, 1989, Serna Saldívar *et al.*, 1993). Estas se indican en la tabla 12.

Tabla 12. Características de calidad del maíz para la producción de harina, tortilla y otros alimentos de maíz nixtamalizado

-
1. Maíz duro, poco dentado, alta proporción de endospermo duro
 2. Granos sanos, sin roturas, e impureza
 3. Alta densidad del grano, alto peso de prueba, bajo porcentaje de granos flotadores
 4. Grano limpio de color brillante
 5. Grano blanco de olote blanco
 6. Pericarpio de fácil eliminación
 7. Baja pérdida de sólidos durante la nixtamalización
 8. Grano de maduración completa y natural
 9. Grano sin daño por exceso de secado
 10. Grano sin hongos o dañado por insectos
-

Fuente: (Serna Saldívar *et al.*, 1993)

La cocción alcalina del maíz por periodos de tiempo de alrededor de 60 min asociada al remojo en medio alcalino de 8-14 h, causa un rompimiento parcial del pericarpio, que se remueve fácilmente con una simple frotación y lavado del grano.

La eliminación del pericarpio facilita la absorción de agua y de calcio, ya que representa la primera barrera a este proceso. Esta estructura de grosor variable entre maíces, esta formada por celulosa, hemicelulosa, lignina y proteína fijada en estos compuestos. El pH alcalino solubiliza y desintegra esta estructura, contribuyendo a darle a la masa características de suavidad y plasticidad (Serna Saldívar *et al.*, 1990).

Durante la nixtamalización del maíz ocurre una gelatinización parcial del almidón, sobre todo de los gránulos más exteriores, los que están junto a la capa aleurona; posteriormente durante la molienda se dañan físicamente algunos gránulos de almidón y es en ese momento cuando se forma la red estructural de la tortilla que es básicamente de almidón.



Durante la molienda del nixtamal, el grano es dañado físicamente debido a la fricción que se produce en su molienda, ocurren una serie de cambios en los componentes del grano de maíz que contribuyen a darle las características propias de textura a la masa y tortillas. Siendo el almidón el componente mayoritario en este cereal, las modificaciones que sufra el maíz repercutirán de manera importante en las propiedades de la tortilla, la cuál presenta una red estructural formada por los gránulos de almidón fundidos durante el cocimiento (Salinas *et al.*, 2005).

Con la hidrólisis o desnaturalización de las proteínas del maíz durante la nixtamalización, particularmente las gluteninas, aumenta la digestibilidad del maíz, ya que aminoácidos como lisina y triptófano se encuentran entre la fracción de glutenina, lo cuál permite una mayor disponibilidad de éstos por lo tanto, el medio alcalino redundará en la obtención de un producto de mayor valor nutritivo que el obtenido por cualquier otro método de cocción del maíz.

El proceso de cocción alcalina induce pérdidas importantes de varios nutrientes en particular en vitamina del complejo B, también ocurren cambios en el contenido de minerales, un compuesto químico que se ha asociado a reducir la biodisponibilidad del hierro y otros minerales es el ácido fítico. El ácido fítico tiene la capacidad para capturar y reducir la absorción del hierro, zinc, calcio y aún fósforo, lo que contribuye a crear deficiencias de estos nutrientes (Gómez *et al.*, 1991).

El maíz como todos los cereales, es deficiente en aminoácidos esenciales (lisina y triptófano), así como en niacina, vitamina del complejo B. Sin embargo, el proceso de nixtamalización hace que la tortilla tenga mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo (Figuerola *et al.*, 1996).

La nixtamalización eleva la disponibilidad de niacina, eliminando con ello el riesgo de desarrollar pelagra atribuido en otras partes del mundo, fuera de Mesoamérica, al consumo del maíz.

2.3.4. Función de la Cal en la Nixtamalización

La cal, en la nixtamalización facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el reposo, controla la actividad microbiana. En algunos casos se emplean altas concentraciones de cal para aumentar el pH de las tortillas a tal nivel que retarde o retrase la descomposición ocasionada por los microorganismos. La cal penetra en el grano principalmente a través del germen, la parte anatómica que tiene la mayor concentración de calcio después de la cocción y el remojo (Rooney *et al.*, 1996).

El hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, afecta el color de las tortillas, por lo que el producto adquiere un color amarillento, es decir, este compuesto afecta a los carotenoides, flavonoides y al pH (Serna-Saldívar *et al.*, 1990).



La masa como muchos otros alimentos, es un material viscoelástico. Durante su obtención, manejo y utilización para la elaboración de tortilla y otros productos, es sometida a diferentes tipos de fuerzas con muy diferentes niveles de compresión, incluyendo las operaciones por las cuáles el molinero juzga la textura de manera empírica. Una propiedad importante de la masa para su desempeño en la elaboración de tortillas es la adhesividad y es influenciada por las condiciones de proceso como temperaturas, tiempos de cocción y reposo, así como la adición de agua durante la molienda (Torres, 1996).

2.3.5. Absorción de Agua y de Calcio durante la Cocción y Remojo

Durante la cocción de maíz en una solución alcalina de hidróxido de calcio, se ha observado una absorción de agua más rápida que cuando la cocción se efectúa sólo con agua. De acuerdo a Trejo -González *et al.*, (1982) y Serna Saldívar *et al.*, (1988a), la absorción de agua es muy rápida al inicio de la cocción de 55-65 min más tarde. El contenido de agua generalmente aumenta del 12 al 14 % en el grano a valores de 42-46 % en el nixtamal. El contenido de agua llega a su máximo valor durante el periodo de remojo, entre 45 a 49 %.

Los iones de calcio son acarreados por el agua al penetrar al grano, sin embargo la absorción es más lenta que la del agua y esta ocurre a través de la capa terminal; germen y perispermo. La cantidad de calcio en el nixtamal (grano lavado) depende también de la dureza del grano de maíz, siendo los duros los que absorben menos que los granos suaves. Datos recientes han confirmado mayores niveles de calcio en el germen de maíz usando análisis químicos (Bressani *et al.*, 2004).

2.3.6. Cambios nutrimentales del maíz a la tortilla durante la nixtamalización

Aminoácidos

Ortega *et al.*, (1986) reportaron pequeñas pérdidas en triptófano en maíz normal (11%), como en maíz de alto valor nutritivo (QPM) (15%). Asimismo informaron de pérdidas menores en lisina en los dos tipos de maíz. Pérdidas equivalentes al 28.1, 32.5 y 26.3% fueron informadas por Bressani *et al.*, (1990) en triptófano de maíces de altiplano, de la costa y del maíz de alto valor nutritivo (QPM), respectivamente, pero no encontraron pérdidas en lisina.



Los cambios en el contenido de aminoácidos en la transformación de maíz a tortilla han sido descritos por varios investigadores. Bressani y Scrimshaw (1958) publicaron los siguientes datos descritos en la tabla 13.

Tabla 13. Cambios en el contenido de aminoácidos en el maíz y la tortilla (mg aa./g N)

Aminoácido	Maíz	Tortilla	Pérdida
Arginina	316	256	18.8
Histidina	165	153	7.2
Isoleucina	259	278	-
Leucina	755	604	200
Lisina	187	180	3.7
Metionina	122	118	3.2
Cistina	65	55	15.4
Fenilalanina	230	236	-
Tirosina	245	243	-
Treonina	187	194	-
Triptófano	31	33	-
Valina	2280	299	-
Ácido glutámico	1273	1194	6.2
Ácido aspártico	396	389	1.8
Glicina	309	299	3.2
Alanina	547	555	-
Serina	280	264	5.7
Prolina	691	634	8.5

Fuente: (Bressani y Scrimshaw , 1958)

Otros datos del contenido de aminoácidos en maíz, nixtamal y tortilla se presentan en la tabla 14. Son cifras promedio de por lo menos tres informes que indican poca diferencia entre la materia prima, el producto intermedio, el nixtamal y el producto final, la tortilla. En base a estos datos, la calidad nutritiva de la tortilla debe ser similar a la del maíz.



Tabla 14. Contenido de aminoácidos en maíz, nixtamal y la tortilla (mg/g N)

Aminoácido	Maíz	Nixtamal	Tortilla
Histidina	161	181	185
Isoleucina	211	210	214
Leucina	798	787	810
Lisina	150	150	154
Metionina	133	150	150
Fenilalanina	312	302	314
Treonina	203	202	212
Triptófano	36	34	31
Valina	298	289	302
Alanina	453	452	486
Arginina	247	277	271
Ácido aspártico	347	360	353
Ácido glutámico	1178	1127	1164
Glicina	205	202	221
Prolamina	516	523	537
Serina	275	283	244
Tirosina	234	252	239
Cisteína	87.00	106	94

Fuente (Serna-Saldívar *et al.*, 1990)

2.3.7. Proceso de nixtamalización

La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz, claramente incrementa la disponibilidad de aminoácidos esenciales y libera niacina, que de otra manera permanecerá sin ser aprovechada. Los cambios químicos en el contenido de nutrientes del maíz, al ser transformados en tortilla por el proceso alcalino de cocción, sugieren que la proteína de la tortilla es mejor en calidad que aquella del maíz sin procesar a pesar de sus deficiencias de lisina y triptófano (Bressani, 1972).

El primer paso en la nixtamalización, es poner a cocer los granos de maíz en una solución alcalina a una temperatura cerca al punto de ebullición. Tras la cocción, el maíz se deja inmerso en el caldo durante unos momentos. La duración del tiempo de cocción y remojo del maíz varía según las tradiciones locales y el tipo de alimentos a preparar, se le puede dejar cociéndose desde unos minutos a horas, y remojando desde unos minutos hasta alrededor de un día. Durante la cocción y el remojo, una serie de cambios químicos tienen lugar en los granos de maíz, debido a que los componentes de la membrana celular de los granos del maíz, entre los que se



incluyen hemicelulosa y pectina, son altamente solubles en soluciones alcalinas, los granos se suavizan y sus pericarpios (cáscaras) se aflojan. El grano se hidrata y absorbe calcio y potasio (dependiendo de los compuestos utilizados) a lo largo de todo el proceso. Los almidones se disuelven y gelatinizan, algunos almidones se dispersan en el líquido. Ciertos productos químicos del germen son liberados y permiten que el grano cocido sea más fácil de triturar. La cocción produce cambios en la proteína principal del maíz, lo que hace que las proteínas y nutrientes del endospermo del núcleo sean más asimilables para el cuerpo humano. Tras la cocción, el caldo alcalino (conocido como nejayote), que contiene disueltas las cáscaras, el almidón del maíz, y otras sustancias, es decantado y desechado (González, 1995).

Los granos se lavan completamente para limpiarlos de los restos de nejayote, el cuál tiene un desagradable sabor. El pericarpio se deshecha, dejando sólo el germen del grano. Esta operación se realiza a mano, de modo tradicional o en preparaciones a pequeña escala, mecánicamente, en mayor escala o en la producción industrial.

El maíz nixtamalizado absorbe más agua que el maíz cocido exclusivamente en agua. Durante el cocimiento alcalino, el contenido de humedad del grano se incrementa de 10 – 12 % a 32-36 %. El grano absorbe agua lentamente durante los primeros 15 minutos de cocimiento. Durante el reposo el grano incrementa ampliamente el contenido de humedad y calcio hasta un 40-52% distribuyéndose el agua de una manera más uniforme a través de las estructuras del grano (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Se mezcla el grano con una relación de 1 parte de maíz por 2 veces su peso en agua y se agrega cal hidratada en 0.01-0.03 partes con respecto al peso del maíz (equivalente al 1.0-2.0 %) se calienta a más de 80°C de 30 min a 3 h. Después de darse un reposo de 12-14 horas en las que se separa más el pericarpio y el endospermo está hinchado, se separa por decantación y lavados (Figueroa, 1996). El nixtamal obtenido se muele para producir masa y obtener tortillas como se muestra en la figura 4.

El tiempo de cocimiento es distinto y depende de la variedad de maíz. Las de endospermo suave requieren menos tiempo que las de endospermo duro, efectuando la nixtamalización a la misma temperatura. Otro factor que también influye en la intensidad del tratamiento requerido es la composición y espesor del pericarpio, cuanto más grueso sea éste, más tiempo se necesitará de proceso (Bedolla y Rooney, 1982).

En relación con la temperatura del proceso se sugiere que no sea menor de 70 °C, ya que el grano no se hidrata lo suficiente, resultando duro y dando lugar a una masa granulosa sin la consistencia adecuada. Así mismo, la temperatura máxima sugerida ha sido de 90°C puesto que si es mayor el grano queda demasiado suave, obteniéndose una masa flácida y chiclosa. La humedad que tiene el grano de maíz después de la cocción es de 40-44% aproximadamente y es necesaria para obtener una molienda óptima.



PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACION

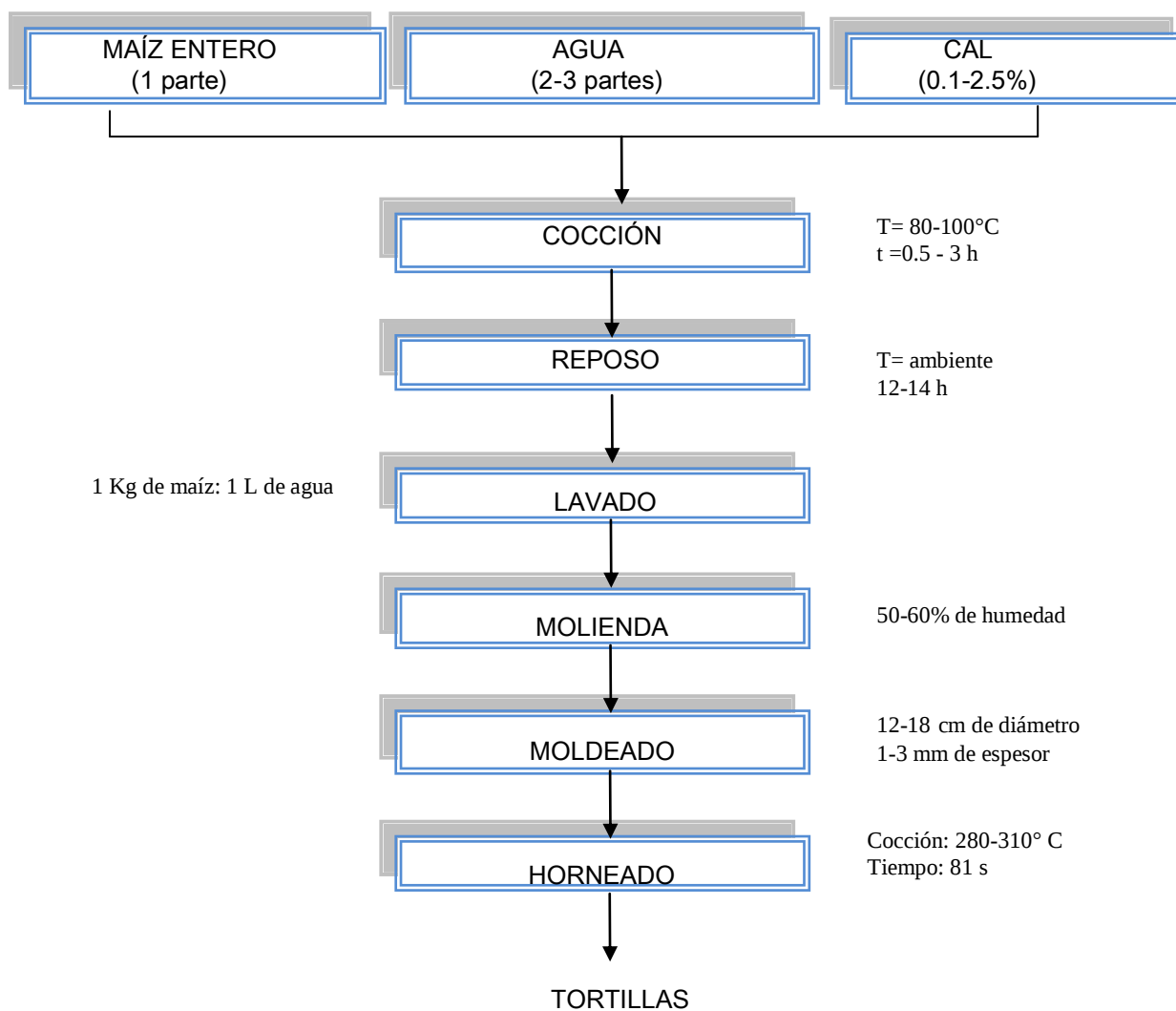


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso tradicional de nixtamalización

Fuente: Hosney, 1991; Torres y col, 1996; Figueroa, 1994



A continuación se describe cada una de las etapas del proceso de nixtamalización:

Limpieza: Durante esta etapa se hace pasar el grano por una criba, para eliminar basura y productos extraños.

Selección: Se realiza en una criba de 0.8mm para seleccionar granos de tamaño homogéneo, se eliminan granos picados de manera manual.

Cocimiento y reposo: El cocimiento de los granos de maíz ocurre durante el calentamiento y el enfriamiento de la mezcla de maíz, cal y agua. Existen varias alternativas de adición del grano al agua para su cocimiento que se emplean actualmente, el grano se adiciona al agua caliente o el agua se calienta con el grano adentro para después sostener la temperatura de la mezcla, eliminar la fuente de calor y entonces se deja reposar. En ocasiones principalmente para la elaboración de algunos productos (harinas para botanas y chips de tortilla) se adiciona agua fresca a la mezcla caliente para disminuir la temperatura y no gelatinizar en exceso los gránulos del almidón (62-72 °C). El cocimiento aplicado al maíz tiene la función de hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas y gelatinizar parcialmente el almidón.

Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida en que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o fracturados, la cal es más activa y soluble a temperatura ambiente, pero en la nixtamalización se aplica mayor temperatura aproximadamente de 70 a 92 °C por más tiempo. El periodo de reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando con trazas de pericarpio.

Drenado: En esta etapa se elimina el nejayote, que presenta un pH aproximado a 11, aquí se presenta una pérdida importante de materia, generalmente pericarpio, calcio, fracciones de endospermo y germen (Rooney *et al.*, 1996).

Lavado: Tiene las funciones de eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento, y de enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado. El lavado debe ser lo mas uniforme posible y llevar el nixtamal a una temperatura aproximada de 35 °C con el mínimo uso de agua. Durante el lavado el pH disminuye a 8.5, se pierde materia seca y puede mejorarse el color del producto. En ocasiones se disminuye o elimina el lavado con el propósito de conservar las gomas naturales del maíz (pectinas y almidones y fibras solubles) y no reducir los rendimientos. Las gomas de maíz ayudan a retener el agua e imparten flexibilidad y suavidad a la masa y tortillas. Por otro lado, cuando se retiene el exceso de cal existe un mayor riesgo de oscurecimiento del producto y mayor vida de anaquel (Rooney *et al.*, 1996).



Molienda: Produce un granulado que al hidratarse proporciona una masa de maíz compuesta de varios tipos de partículas que incluyen fragmentos del grano, pericarpio, germen, así como almidón, proteínas, fibras hidratadas y grasa en mezcla, con alrededor de 50-60 % de humedad. La condición del nixtamal, el tipo de piedra, la separación entre las piedras y el agua adicionada son factores a controlar durante la molienda. Un nixtamal blando con un contenido de humedad de 45-52% está indicado para moler y producir masa para tortillas, debido a que la masa resultante presenta adecuada plasticidad, cohesividad, maquinabilidad. Con la adición de agua durante la molienda la masa resultante puede tener hasta 6% de humedad.

El tamaño, el tipo y estado del labrado y separación entre las piedras, afectan el tamaño de las partículas de la masa (fina o gruesa), la eficiencia, la fricción y el calentamiento desarrollados durante la molienda. La adición de agua durante la molienda, disminuye la fricción, evita el sobrecalentamiento y produce una masa más suave (Rooney *et al.*, 1996).

Mezclado y formado de la masa

El mezclado se realizará dependiendo del tipo de equipo mezclador y formador que se emplee para la masa, es en esta etapa donde se determinan las dimensiones y el peso de la tortilla. El grado de mezclado aplicado y la consistencia inicial de la masa deben combinarse para producir masa que se pueda formar con las dimensiones deseadas, cortar y alimentar al horno con un mínimo de roturas y deformaciones. Es en esta etapa donde se reflejan gran parte de los efectos del cocimiento y molienda previos (Helbert *et al.*, 1996).

Horneado de Tortillas

El horneado tiene las funciones de cocer y secar parcialmente la masa, impartir una apariencia ligeramente tostada y desarrollar la textura final de la tortilla. La combinación de la humedad y el tamaño de partícula de la masa con la temperatura y tiempo de residencia en el horno deben optimizarse para productos específicos. En el primer paso del horno, se calienta la pieza de masa y se sella la cara inferior con un mínimo de deshidratación. En el segundo paso la pieza se voltea, continua el calentamiento y se sella la segunda cara. En el tercer paso se aplica suficiente calor para producir vapor de agua en la pieza e inflar las tortillas. El contenido de humedad de la masa debe ser suficiente para producir el vapor requerido para inflar la pieza y mantener suficiente humedad residual en la tortilla final. Si no se desea inflar la tortilla, el calor en el tercer paso puede disminuirse. El contenido de humedad de las tortillas varía en el rango de 38-55%. Las tortillas secas tienden a ser rígidas y quebradizas. Las tortillas elaboradas con masa demasiado cocida se hacen rígidas rápidamente al enfriarse.

El calentamiento del agua durante el horneado causa la gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas que interaccionan con fibra y grasa creando una estructura que al deshidratarse es responsable de la textura de la tortilla.



Las características físicas y químicas de la masa deben ser adecuadas para crear esta estructura durante el horneado (Helbert *et al.*, 1996).

2.4. Tortilla

Las tortillas de maíz se originaron en Mesoamérica, donde han sido y son consideradas como el sustento principal de la población.

La tortilla es un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado, cuyas dimensiones varían de 1.2 a 2 mm de espesor, y de 12 a 18 cm de diámetro. Esta se prepara a partir de masa nixtamalizada sometida a cocción sobre una superficie metálica.

La cultura náhuatl le llamaba **tlaxcalli**, que significa “cosa cocida”. Siendo el centro de nuestra alimentación desde la época del imperio azteca. Actualmente la tortilla constituye la principal fuente de energía y proteína en la dieta rural y hasta hace pocos años la situación no era diferente en las dietas urbanas, siendo la base de la alimentación del mexicano; su consumo aumenta o disminuye de acuerdo al ingreso de la familia, con un consumo per cápita de 120 kg anuales; en zonas rurales provee aproximadamente el 70 % del total de las calorías y el 50 % de las proteínas ingeridas diariamente (Figueroa *et al.*, 1996).

2.4.1. Importancia de la tortilla en México

La tortilla y productos alcalinos juegan un rol importante en la dieta de la gente de los países Latinoamericanos; las tortillas solas proveen 38.8 % de las proteínas, 45.2 % de las calorías y 49.1 % del calcio de las necesidades diarias de la dieta en México. Adicionalmente, el calcio imparte propiedades funcionales deseables (color, sabor, textura y vida de anaquel). El calcio que se aporta a la tortilla durante la nixtamalización se combina con proteínas y carbohidratos de ésta, lo que hace que el organismo absorba rápidamente este mineral (Bressani, 1990).

Una buena tortilla hecha al modo tradicional tiene bien definidas la cara y la ampolla, es suave, flexible y requiere poca fuerza al cortarla para utilizarla como cuchara. La suavidad y flexibilidad facilitan su enrollado para hacer tacos sin que se parta. Además tiene el olor clásico que corresponde a la nixtamalización correcta de un maíz sano. Si se usó demasiada cal, el olor es muy fuerte y la tortilla muy amarilla. Las tortillas representan en México la principal fuente de carbohidratos, proteínas y calcio.

La tortilla aporta el 65% y el frijol aporta el 15% de la dieta rural representado en la figura 5. Esto aunque muy crítico, es algo afortunado por la combinación del frijol con el maíz que permite la sobrevivencia en esas comunidades (Muñoz *et al.*, 1998).

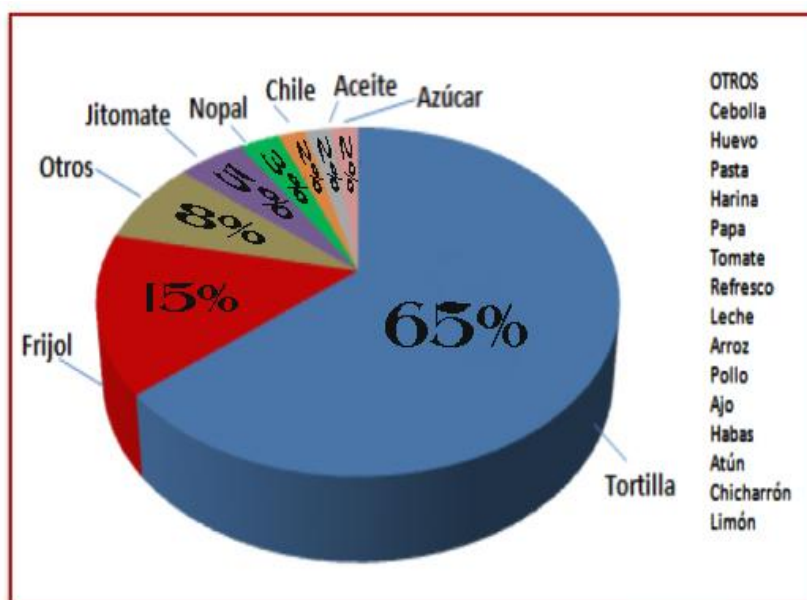


Figura 5. Consumo de alimentos en la dieta rural
Fuente: <http://faostat.fao.org>

Desde el punto de vista práctico el consumo de tortillas sin fuentes de alta calidad proteica, propician retraso en el desarrollo corporal de los niños en las zonas rurales, esto debido a que la proteína del maíz es deficiente en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano.

El maíz transformado a tortilla proporciona cantidades significativas de nutrientes a la dieta de grandes sectores de la población (tabla 15).

Tabla 15. Composición química de la tortilla

Componente	g componente / 100 g tortilla
Carbohidratos	47.2
Fibra	4.47
Proteínas	5.9
Grasas	1.5
Humedad	42.40

Fuente: Tablas Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán, 1996.



2.4.2. Mejoramiento de la Calidad de la Tortilla de Maíz

La composición química del grano de maíz se halla estrechamente ligada con sus propiedades físicas. Así, la dureza del grano guarda relación directa con el contenido de proteína y con la proporción de las fracciones de amilosa y amilopectina en el almidón.

El almidón, en la elaboración de tortillas, es de gran importancia, ya que se le considera el responsable de las propiedades reológicas y de textura, que definen la calidad del producto final. La proporción de amilosa y amilopectina del almidón tienen un gran efecto, pues aquellas elaboradas con una alta proporción de amilopectina presentan óptimas condiciones de elasticidad y suavidad (Torres *et al.*, 1996).

En climas templados, las tortillas obtenidas siguiendo el proceso tradicional tienen una vida de anaquel de tres días a temperatura ambiente, y se logra incrementar este periodo con el uso de refrigeración, conservadores y acidificantes hasta por 60 días (Torres *et al.*, 1996).

2.4.3. Atributos de calidad en la tortilla de maíz

Los atributos de la tortilla son:

- a) Su consistencia flexible y a la vez de una firmeza tal que permita que ésta pueda emplearse como sustituto de una cuchara para transportar alimentos del recipiente donde se encuentra a la boca.
- b) Que el material posea en su estructura uniformidad (no porosa) y que en la superficie cuya forma es un disco plano, puedan incluirse líquidos sin que atraviesen el producto.
- c) Su flexibilidad que facilita la envoltura de productos de variadas formas para cubrirlos y transportarlos comúnmente llamado taco.
- d) Su color blanco de preferencia.
- e) Su estabilidad y aspecto higiénico, libre de contaminación microbiana.
- f) La capacidad temporal del producto para sustituir parcialmente sus cualidades de textura originales cuando se desea consumir empleando únicamente calor, es decir recalentables.
- g) Sus características sensoriales además de las mencionadas son: sabor, aroma y ausencia de defectos a su aspecto característico.
- h) Dimensiones
 - Delgadas: 18-23 g/pieza
 - Diámetro: 13-14 cm/pieza
- i) Vida de anaquel
 - 2-4 días en el mercado local
 - 1-5 semanas en el supermercado



Una tortilla de calidad deberá cumplir con las características indicadas en la tabla 16.

Tabla 16. Características de calidad de tortillas

Dimensiones	Contenido de humedad	Textura	Color	Sabor y aroma	Vida de anaquel
Delgadas: 18-23g/pieza	45-55 %	Flexible	Blanco o amarillo	nixtamalizado	2-4 días mercado
Gruesas: 28- 34 g/pieza		Estable en el anaquel 1-4 semanas	claro y brillante		local, diario
Recalentables					

Fuente: Revista Mexicana Industria Alimentaria, 1996

2.4.4. Importancia de la textura en las tortillas

Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rolabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído (Gasca y Casas, 2007).

2.4.5. Propiedades de textura en la tortilla

La textura se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptible por medio de receptores mecánicos táctiles y si es apropiado, visuales y auditivos (Villagrana, 2000).

En el proceso de elaboración de tortillas ocurren muchos cambios que afectan sus propiedades de textura. Los más importantes son: la gelatinización y retrogradación del almidón durante y después de la cocción de la tortilla. Estos cambios, propician además, pérdida de flexibilidad y un aumento en la rigidez de las tortillas.

Durante su consumo, la tortilla se dobla, enrolla y rellena (debe soportar peso sin romperse), por lo que las pruebas de textura deben simular su respuesta a estas operaciones ya sea subjetivamente o utilizando métodos instrumentales.

Por ello es importante realizar determinaciones de las propiedades de textura, lo cual se logra mediante pruebas subjetivas y objetivas (Villagrana, 2000).



a) Pruebas subjetivas

Los métodos de análisis/ evaluación empleados en la industria de la tortilla son en su mayoría sencillos y subjetivos, en gran medida dependientes de la experiencia del operador. Estos métodos son prácticos y adecuados para plantas pequeñas que distribuyen productos de consumo diario en un mercado local limitado donde la demanda es mayor que la oferta (Villagrana, 2000).

Estos pueden ser efectuados por un panel de jueces entrenados que establecen valores netamente subjetivos para calificar la rolabilidad, suavidad, doblado y flexibilidad de la tortilla, sin embargo pese a que los jueces son entrenados, los resultados de estas pruebas no son tan sensibles como los obtenidos empleando un método instrumental.

- **Técnica de enrollado**

Consiste en enrollar una tortilla alrededor de un rodillo de madera de 1 cm de diámetro. El enrollado es analizado subjetivamente por dos evaluadores capacitados, utilizando una escala de 1= que no se enrolla (la peor) y 5 = que no se quiebra (la mejor) (Lloyd, 1999).

La rolabilidad o enrollado, es la capacidad que tiene la tortilla de enrollarse sin quebrarse. Si la tortilla es más suave, se enrolla con mayor facilidad, por lo tanto el resultado obtenido de la calificación de los jueces es mayor (según esta escala utilizada).

- **Técnica de flexibilidad**

Se aprieta con la mano una tortilla y se analiza subjetivamente su flexibilidad total (por ejemplo, firmeza y fragilidad). La calificación de flexibilidad es clasificada de 1 = extremadamente firme y frágil a 5 = extremadamente flexible y no se rompe en pedazos (Lloyd, 1999).

- **Técnica de doblado**

Se coloca en el extremo superior de un rodillo de madera de 1 cm y se permite que se doble por si misma. El grado de doblado es analizado y calificado de acuerdo a la escala de 1 = extremadamente recta, no se dobla (plana), a 5 = extremadamente doblada (a un ángulo de 90 grados) (Lloyd, 1999).

b) Pruebas objetivas

Para las tortillas se realizan pruebas de extensibilidad (en una y dos dimensiones), tensión, corte, etc.



Extensibilidad

Durante la prueba de aplicación de extensibilidad, se trata de simular la manipulación que sufre la tortilla durante su consumo; se determinan las propiedades de elasticidad y firmeza de las tortillas, las cuales se asocian con un producto recién elaborado (suave y flexible) o que ha sido sometido a un proceso de almacenamiento (duro y quebradizo).

Técnicas objetivas como la extensibilidad tratan de evaluar o monitorear los cambios de textura que sufren las tortillas durante el proceso de almacenamiento, ya que los consumidores prefieren tortillas que sean suaves, elásticas y fáciles de enrollar sin que se rompan.

El dispositivo de extensibilidad consta de una base de acero inoxidable que tiene en la parte superior un orificio circular y unos tornillos en las esquinas sobre las cuales se inserta la tortilla de manera que quede tensa. Se coloca sobre ella un marco que tiene un orificio y se fija a los tornillos por medio de una tuerca para mantener los tornillos sin movimiento (Gasca y Casas, 2007; Suhendro *et al.*, 1999).

Dureza

Es la fuerza que resiste la penetración de un agente externo.

Fuerza al corte

Es el esfuerzo necesario para provocar una división o separación en dos partes de la muestra analizada.

Tensión de la tortilla

En esta prueba se evalúan los módulos de deformación y de fuerza, al estirar una tira de tortilla sujeta de dos abrazaderas unidas al texturómetro hasta romperla.



3. METODOLOGÍA

3.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la nixtamalización conjunta del maíz y el frijol blanco sobre la calidad nutricional (lisina y triptófano), textural y otros atributos de calidad de las tortillas.

OBJETIVOS PARTICULARES

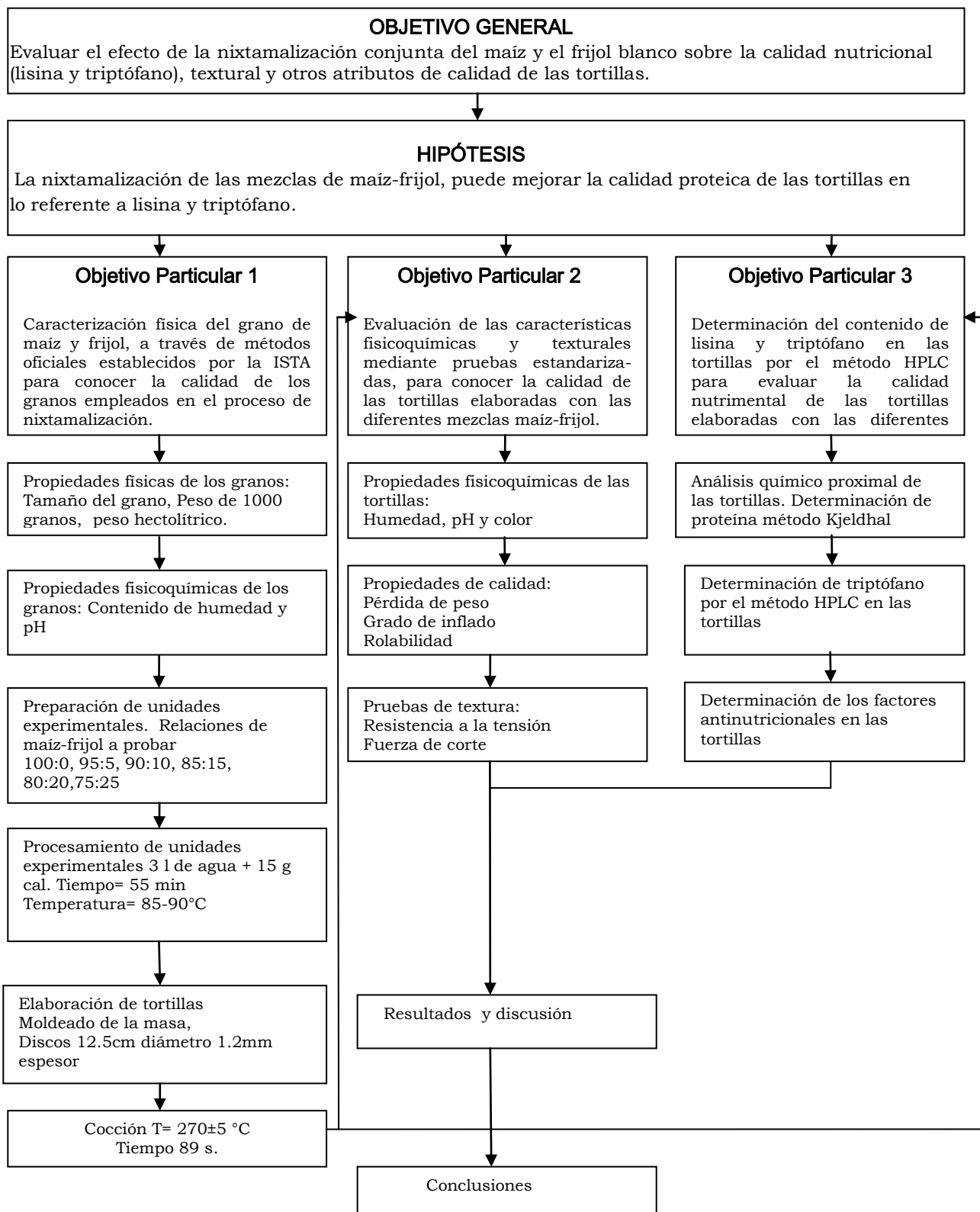
1. Caracterización física del grano de maíz y frijol a través de métodos oficiales establecidos por la ISTA para conocer la calidad de los granos empleados en el proceso de nixtamalización.
2. Evaluación de las características fisicoquímicas y texturales mediante pruebas estandarizadas, para conocer la calidad de las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas maíz-frijol.
3. Determinación del contenido de lisina y triptófano en las tortillas por el método HPLC para evaluar la calidad nutrimental elaboradas con las diferentes mezclas maíz-frijol.

HIPÓTESIS

La nixtamalización de las mezclas de maíz-frijol, puede mejorar la calidad proteica de las tortillas en lo referente a lisina y triptófano



3.2. CUADRO METODOLÓGICO





4. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la Unidad de Investigación de granos y Semillas perteneciente a FES Cuautitlán Campo 3 de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se empleó grano de maíz (*Zea mays* L.) híbrido comercial AS-900, y frijol blanco 157 (*Phaseolus vulgaris* L), proporcionados por Semillas Aspros de México S.A. de C.V. teniendo contenidos de humedad iniciales de 9.1 y 11.2%, respectivamente.

Con el fin de caracterizar los granos de maíz y frijol, se extrajo una muestra representativa, se homogeneizó para determinar las pruebas físicas como son: el tamaño del grano, peso del grano y peso hectolítrico.

4.1. Propiedades físicas de los granos

Para la determinación de las propiedades físicas de los granos se realizó en primer lugar para el maíz y posteriormente para el frijol.

4.1.1. Tamaño del grano

La determinación de las dimensiones de los granos de maíz y frijol empleados en éste estudio (fig. 6), se realizó para conocer el tamaño de los granos.

Para la medición de este parámetro se utilizó un calibrador Digimatic, marca Mitutoyo Corp., con rango de medida de 0.01-150 mm. Para determinar el tamaño del grano se midió el largo, ancho y espesor del centro o punto donde convergen los ejes longitudinal y transversal de 25 granos tomados al azar, obteniéndose así el valor promedio y la desviación estándar de las mediciones.



Maíz híbrido comercial
AS-900



Frijol blanco
157

Figura 6. Variedades de maíz y de frijol que se utilizaron en el presente trabajo



4.1.2. Peso de 1000 granos

Para la determinación de este parámetro se tomaron 1000 granos al azar y se pesaron en una balanza analítica Ohaus (fig. 7), con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de ± 0.0001 g. Se realizaron cinco repeticiones de cada medición, se obtuvo la media y la desviación estándar de los datos.



Figura 7. Balanza Analítica Ohaus

4.1.3. Peso hectolítrico

Para la obtención de esta medida se siguió la técnica 55-10 reportada en la AACC (2000). Se llenó con granos un recipiente de aluminio de volumen (1 L), pesándose en una balanza analítica Ohaus, con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de ± 0.0001 g. El peso hectolítrico se obtuvo al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionándolo a un volumen de 100 litros. Las mediciones se realizaron con cinco repeticiones, se reportó la media y la desviación estándar.

4.2. Propiedades fisicoquímicas de los granos

4.2.1. Contenido de Humedad

La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Se realizó de acuerdo al método 44-19 reportado en la AACC (2000). Se colocaron cuatro gramos de muestra de maíz / frijol (grano entero) en cajas de aluminio las cuáles se sometieron previamente a peso constante y se introdujeron a una estufa Stabil-Therm (fig. 8), con circulación de aire forzado a 103°C durante 72 h.



Para el caso de la masa se procedió de la misma forma, utilizando 4 g de muestra a 103 °C durante 24 h. La humedad se determinó por pérdida de peso al secarse. Las pruebas se realizaron por triplicado.



Figura 8. Estufa con circulación de aire forzado Stabil Therm

4.2.2. pH

Para la determinación del pH se siguió el método 02-52 reportado en la AACC (2000). Se utilizó un potenciómetro semiportátil marca Orion modelo 420A (fig. 9). Se preparó una suspensión con 10 g (base seca) de grano de maíz / frijol molido en 100 mL de agua destilada, (para el caso de la solución de cocimiento se tomaron directamente 100 g). La muestra se agitó a alta velocidad utilizando una barra magnética durante 20 minutos, en agitación se introdujo el electrodo y se tomó la lectura de pH. Las determinaciones se hicieron por triplicado.



Figura 9. Potenciómetro semiportátil marca Orion



4.3. Proceso de elaboración de la Tortilla

Cada unidad experimental consistió de 1 kg de la mezcla maíz-frijol. Se experimentaron con 6 niveles como lo indica la tabla 17.

Tabla 17. Mezclas de maíz y frijol para las tortillas

Tratamiento	Maíz	Frijol
Control	100	0
Nivel 1	95	5
Nivel 2	90	10
Nivel 3	85	15
Nivel 4	80	20
Nivel 5	75	25

Se empleó el proceso tradicional de nixtamalización. Se adicionaron 3 L de agua destilada y 15 g de cal (99% de hidróxido de calcio). Las mezclas se colocaron en un recipiente de aluminio cubierto y se sometieron a fuego directo por 55 min. (manteniendo una temperatura entre 85 y 90°C), se dejó reposar 16 h a temperatura ambiente ($22 \pm 1^\circ\text{C}$). Posteriormente se retiró la solución de cocimiento (nejayote), y el maíz fue lavado con 4 L de agua para quitar exceso de la cal y el tejido del pericarpio (fig. 10).

4.3.1. Porcentaje de material perdido durante la nixtamalización

Se colocaron porciones de aproximadamente 4 g de solución de cocimiento de maíz (nejayote) en cajas de aluminio a peso constante y se sometieron a secado en una estufa Stabil-therm de circulación de aire forzado a 103°C por 24 h. Los datos se reportaron como el porcentaje de material perdido durante el proceso de la nixtamalización. Las determinaciones se realizaron por triplicado.



ELABORACION DE TORTILLAS MAÍZ-FRIJOL

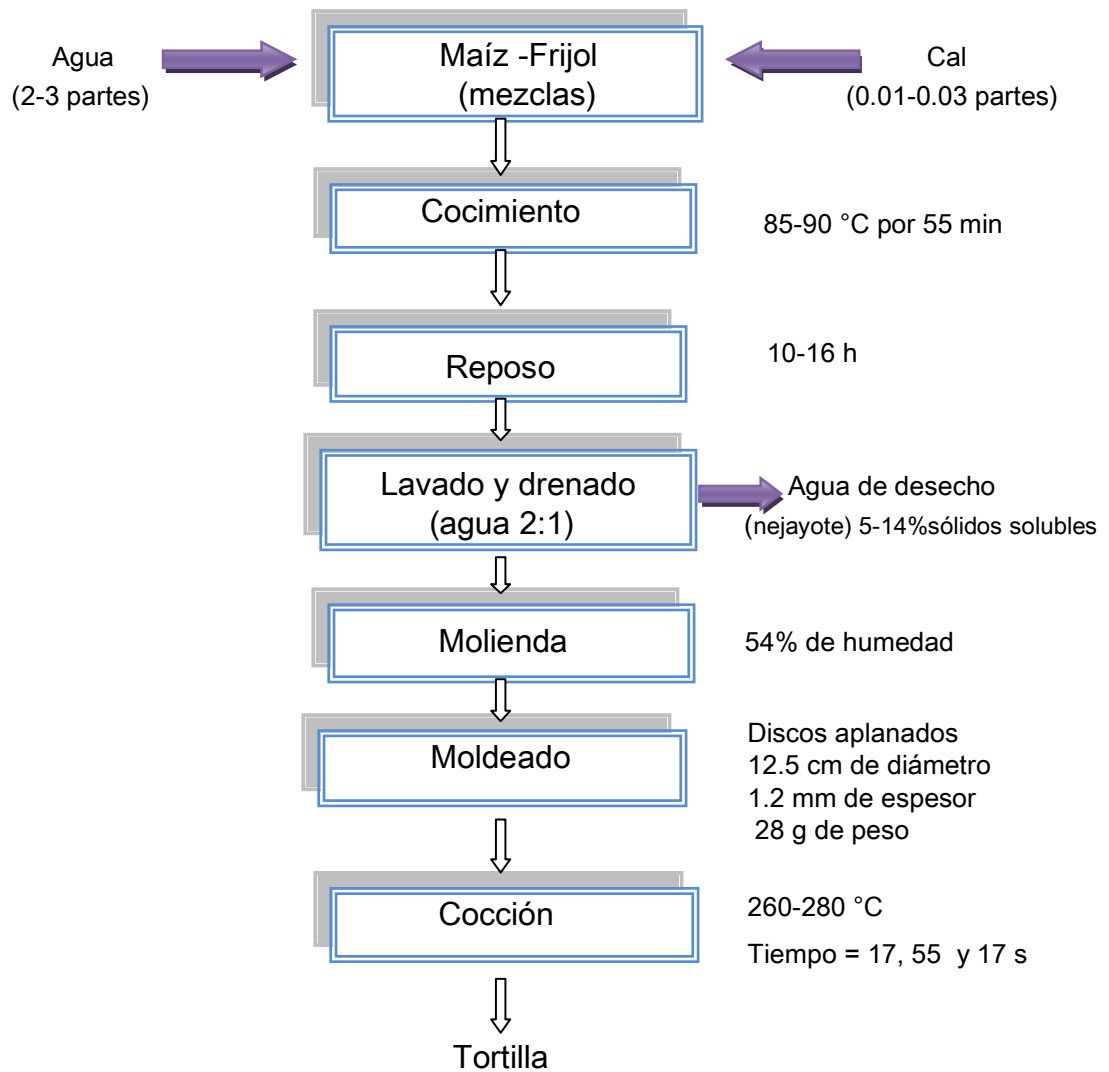


Figura 10. Diagrama de bloques para la obtención de tortillas de maíz-frijol



4.3.2. Preparación de la masa

El nixtamal (granos cocidos maíz-frijol) fue molido a través de un molino de piedras marca Fumasa S.A. (fig. 11), hasta obtener una masa de fineza adecuada para producir la elaboración de las tortillas con un contenido de humedad de 54%.



Figura 11. Molino de piedras marca Fumasa

4.3.3. Troquelado de la masa

Las tortillas se elaboraron utilizando una máquina tortilladora manual de rodillos (Casa González. Monterrey, NL, México). Se calibró la abertura entre los rodillos con un calibrador de lanas marca Kastar. Las características de las tortillas sin cocción fueron: espesor de 1.2 mm, diámetro de 12.5 cm, y peso promedio de aproximadamente 28 ± 0.5 g.

4.3.4. Cocimiento de las tortillas

Las tortillas fueron cocidas en un comal de aluminio con teflón marca T-fal a una temperatura de $270 \pm 5^\circ\text{C}$ los tiempos de cocimiento fueron de 17 s para la formación de la capa delgada de la tortilla, 55 s para la formación de la capa gruesa y otra vez 17 s en el primer lado para permitir el inflado. La temperatura fue medida con una pistola de medición marca Raytec, modelo Raynger ST-4, con rangos de temperatura de $0-400^\circ\text{C}$. Los tiempos de cocción se determinaron con un cronómetro (figura 12).



Figura 12. Cocimiento de las tortillas



4.4. Propiedades de calidad de las tortillas

4.4.1. Pérdida de peso en la cocción

Se elaboraron cinco tortillas de cada tratamiento, y se calculó el porcentaje en peso de material perdido (pp) durante el cocimiento, pesando la tortilla antes de someterla a la cocción y después de cocida en una balanza granataria.

Utilizando la siguiente ecuación:

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

donde:

p.t. cruda = peso de la tortilla cruda (g).

p.t. cocida = peso de la tortilla cocida (g).

4.4.2. Grado de inflado

Para evaluar el grado de inflado se hicieron cinco tortillas en las condiciones descritas anteriormente, y se observó el tamaño de la ampolla presente en cada tortilla al momento de su cocción (figura 13). El grado de inflado de la tortilla fue evaluado asignándole una calificación de 1-3, donde 1= poco o nada de inflado (0-25%), el medio 2= que infla (25-75%), y 3 = inflado completo (75-100%) (Méndez-Albores, 2002).



Figura 13. Inflado de las tortillas



4.4.3. Rolabilidad (Capacidad de enrollamiento de las tortillas)

La prueba se llevó a cabo a temperatura ambiente después de 30 minutos de elaboradas las tortillas. Se tomaron al azar cinco tortillas de cada tratamiento, y cada tortilla se enrolló manualmente empleando una varilla de vidrio de 2 cm de diámetro, y se observó el grado de rompimiento. Se asignaron calificaciones dependiendo del grado de rompimiento que se presentó. Las escalas fueron de 1 a la tortilla que no presento ruptura, de 2 cuando se rompió aproximadamente el 50% del ancho de la tortilla, y de 3 cuando la ruptura fue completa, se utilizó el método descrito por Bedolla (1983), con algunas modificaciones.

4.5. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas

4.5.1. Color

Para la medición se utilizó un colorímetro marca MiniScan XE, modelo 45/0-L (Hunter Lab Reston, Virginia USA). El colorímetro fue calibrado con una placa de porcelana blanca ($L = 97.02$, $a = 0.13$, $b = 1.77$). Este método se basa en la determinación, por reflexión de la luz, de tres parámetros. El parámetro " $\underline{L}$ ", que mide el grado de luminosidad y varía desde 100 para el blanco perfecto a 0 para el negro; los parámetros " $\underline{a}$ " y " $\underline{b}$ ", son indicativos de la cromaticidad; los valores positivos de " $\underline{a}$ ", están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro " $\underline{b}$ ", están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul (Méndez albores, 2002).

Las determinaciones se realizaron de la forma siguiente: se evaluaron 5 tortillas de cada tratamiento, la medición se realizó directamente en éstas. Las lecturas se llevaron a cabo por triplicado 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 con estos valores se obtuvo la diferencia total del color el ΔE utilizando la ecuación:

$$\Delta E = [(\Delta \underline{L})^2 + (\Delta \underline{a})^2 + (\Delta \underline{b})^2]^{1/2}$$
$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$
$$\text{Ángulo Hue} = \arctan (b/a)$$

donde:

ΔE = diferencia total de color, entre la referencia y la muestra.

$\Delta \underline{L}$, $\Delta \underline{a}$ y $\Delta \underline{b}$ = diferencias absolutas de los valores de $\underline{L}$, $\underline{a}$ y $\underline{b}$ de la referencia y de la muestra.



4.5.2. Humedad

Para la determinación de humedad en la tortilla se procedió de acuerdo al método 44-19 reportado en la AACC (2000). Se utilizaron 4 g de tortilla en cajas de aluminio en una estufa Stabil-Therm, con circulación de aire forzado a 103°C durante 24 h. La humedad se determinó por pérdida de peso al secarse. Las pruebas se realizaron por triplicado.

4.5.3. pH

Para la determinación del pH en la tortilla se siguió el método 02-52 reportado en la AACC (2000). Se preparó una suspensión con 10 g (base seca) de tortilla deshidratada molida en 100 mL de agua destilada, la muestra se agitó a alta velocidad utilizando una barra magnética durante 20 minutos, en agitación se introdujo el electrodo y se tomó la lectura de pH. Para esta prueba se utilizó un potenciómetro semiportátil marca Orion modelo 420A. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

4.6. Propiedades texturales de las tortillas

Se determinó la fuerza a la tensión en las tortillas de los diferentes tratamientos así como la propiedad de textura en ellas. Con el equipo Texture Analyzer modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp.), el dispositivo utilizado consta de dos pinzas de retención (TA-96) y la cuchilla de corte plana (TA-90) para determinar la fuerza a la tensión y al corte.

Para evitar la pérdida de agua y temperatura, las tortillas fueron guardadas en bolsas de polietileno a 40°C, para realizar esta determinación se tomaron al azar cinco tortillas de cada tratamiento a temperatura ambiente, cortando una tira obtenida de la parte central de la tortilla en forma de probeta de 8.7 cm de largo, 3.7 cm de ancho en los extremos y 1.5 cm de ancho en la parte más delgada (fig. 14), y se colocó en las pinzas de retención (TA-96) para evaluar la tensión a una velocidad de 2 mm/s, y una distancia de 15 mm; y la fuerza al corte a una velocidad de 2 mm/s una profundidad de 6 mm. Se determinó la fuerza máxima a la tensión hasta el rompimiento de la muestra. Las pruebas se llevaron a cabo con tres repeticiones (Arámbula, 2004).

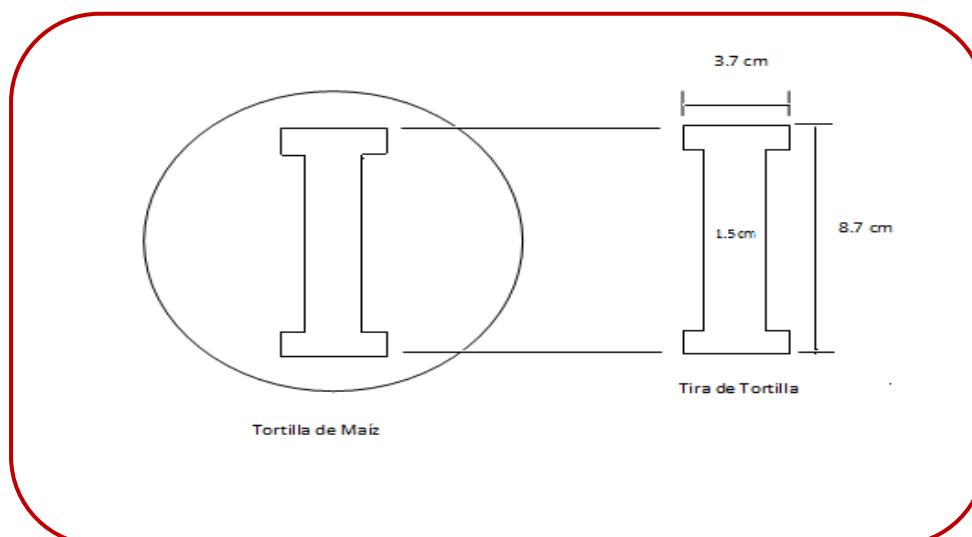


Figura 14. Obtención de la muestra para la textura

4.7. Cuantificación de proteínas en las tortillas

Para determinar el contenido proteínico de las tortillas se utilizó el método oficial micro-Kjeldhal 960.52 reportado en la AOAC (2000).

El método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico.

Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la materia orgánica combinada con la oxidación de carbono a dióxido de carbono. El nitrógeno orgánico es transformado en amoníaco que se retiene en la disolución como sulfato de amonio. La velocidad del proceso puede incrementarse adicionando sales que abaten la temperatura de descomposición (sulfato de potasio) o por la adición de oxidantes (peróxido de hidrógeno, tetracloruro, persulfatos o ácido crómico) o por la adición de un catalizador.

Digestión

1. Pesar 0.2 g de muestra e introducir en un tubo de Kjeldahl, agregar 0.15 g de sulfato de cobre pentahidratado, 2.5 g sulfato de sodio y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado.
2. Colocar los tubos con muestra y catalizador en el equipo de digestión por 4 h (fig.15).



Figura 15. Unidad de digestión kjeldhal Buchi

3. Poner la unidad de evacuación de gases con las juntas colocadas sobre los tubos de digestión.
4. Calentar hasta total destrucción de la materia orgánica, es decir hasta que el líquido quede transparente, con una coloración azul.
5. Enfriar y terminar la digestión con la tecla “stop”, desconectar la trampa.

Destilación

1. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL adicionar 50 mL de ácido bórico 4% con indicadores (rojo de metilo 6.6 %, verde de bromocresol 3.3 %).
2. Conectar el aparato de destilación (figura 16), y esperar unos instantes para que se genere vapor. Colocar en el tubo de digestión la muestra.
3. Colocar el matraz con ácido bórico e indicadores hasta alcanzar un volumen de destilado en el matraz Erlenmeyer de 100-150 mL.



Figura 16. Unidad de destilación Buchi



Titulación

1. Titular con una solución de HCl 0.1 N hasta llegar al vire de color canela. Calcular el % de proteína considerando las reacciones que se llevan a cabo.

$$\% N = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000}$$

$$\% \text{ Proteína} = \frac{14 \times N \times V \times 100 \times \text{factor}}{m \times 1000}$$

Donde:

V : 50 ml H₂SO₄ 0.1 N - gasto NaOH 0.1 N o gasto de HCl 0.1 N

m : masa de la muestra, en gramos

factor: 6.25: para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general

4.7.1. Cuantificación de lisina y triptófano en las tortillas

Para la cuantificación de aminoácidos en las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas maíz-frijol se utilizó cromatografía de líquidos de alta resolución de fase reversa (RP-HPLC, Modelo 510, Waters Associates, Milford, MA, USA). Las muestras fueron previamente hidrolizadas.

La hidrólisis ácida en fase de vapor (HCl 6N; 0.1% de fenol), es una adaptación que permite incrementar el rendimiento del proceso de hidrólisis, pues las pérdidas por oxidación de aminoácidos se reducen debido a la combinación de nitrógeno y vacío durante la preparación de las muestras a hidrolizar, el contacto de HCl gaseoso con la muestra y un control eficiente de la temperatura y tiempo de hidrólisis (145°C, 4 h) (Arrizon- López *et al*, 1987).

Preparación de la muestra (Hidrólisis)

1. Pesar 100 mg de muestra

2. Colocar la muestra en viales de 3.0 mL y proporcionarles una atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 110°C con 2 mL de ácido clorhídrico 6N por 24 h.



3. Se evapora el ácido clorhídrico remanente empleando un equipo de rotavapor (Folhman, 1980) marca BUCHI rotavapor R-124 con wáter batch B-481 (fig. 17).



Figura 17. Rotavapor R-124

Para el análisis del triptófano, las muestras fueron hidrolizadas a 140 °C con 3 mL de Ba (OH)₂ por 8 h neutralizado con el ácido clorhídrico 12N para llegar a un pH de 7. Después del filtrado se tomaron 25µl para someterlos a una derivatización con fenilisotiosianato y las muestras derivatizadas se analizaron en una columna Nova Pack C18 (5µm, 3.9x150 mm). El análisis de aminoácidos se trabajó por triplicado para cada muestra (Landry, 1992).

4.8. Factores Antinutricionales

4.8.1. Inhibidor de Tripsina, ácido fítico y taninos

Se determinó la actividad del inhibidor empleando el método de Kadake *et al.*, (1974), considerando la disminución de la velocidad de la tripsina hidrolizada BApNa (N-alfabenzoil-DL-arginina p-nitroanilida). Posteriormente las muestras fueron medidas y desengrasadas (malla 60), se mezclaron con NaOH 0.01N por 1 h, se utilizaron alícuotas para el análisis.

La actividad del inhibidor tripsina se expresa como unidades inhibitorias de tripsina, una unidad de tripsina es definida como el incremento de 0.01 unidades de absorbancia a 410 nm.mL⁻¹ de la mezcla de la reacción bajo las condiciones descritas.

El ácido fítico fue extraído con ácido nítrico a una concentración de 0.5M aplicando agitación, a temperatura ambiente por 3 h y se determinó espectrofotométricamente a una longitud de onda de 512 nm como lo describe Davies and Reid (1979).

El contenido de taninos fue determinado con un espectrofotómetro (Beckman Coulter, DU-530) a 760 nm, usando el reactivo de Folin-Denis después de la extracción con HCl al 1% en metanol (método 952.03; AOAC, 2000).



4.9. Análisis Estadístico

El experimento fue conducido como un diseño seleccionado al azar. Las condiciones experimentales se realizaron por triplicado.

Los datos fueron determinados por el análisis de varianza (ANOVA), y las comparaciones de las medias fueron realizadas de acuerdo a la prueba de Dunnet utilizando el paquete estadístico SAS (1998), empleando una diferencia significativa de $\alpha = 0.05$ para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a la metodología descrita anteriormente los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Caracterización de los granos

5.1. Propiedades físicas

5.1.1. Tamaño del grano

Las propiedades físicas de los granos de maíz y de frijol utilizado en esta investigación se muestran en la tabla 18. El maíz empleado (AS-900) presentó un tamaño de grano de (10.88x8.04x3.88 mm). Los granos de variedad AS-900, son granos de calidad nixtamalera, y se encontraron dentro de los rangos establecidos que van de 10-12 mm de largo, 8.0-9.0 mm de ancho y de 4.0-6.0 mm de espesor (Serna Saldivar *et al.*, 1996).

El frijol presento tamaño del grano de (8.72x7.00x5.81 mm) similares a los reportados por Ortega, 1996 correspondientes a la variedad de frijol blanco.

5.1.2. Peso de 1000 granos

El maíz presentó un peso de 1000 granos de 305.16 g, atribuible en forma directa a su tamaño. Esta medida junto con las dimensiones, son utilizadas como medida de calidad en el comercio de los granos y semillas (ISTA, 1996).

Cabe mencionar que el peso de los granos se encuentra dentro de los valores reportados en un rango de 240-370 g para granos convencionales con calidad nixtamalera (Serna Saldívar *et al.*, 1996).

Tabla 18. Caracterización física de los granos de maíz y frijol

Parámetro	Maíz AS-900	Frijol blanco 157
Tamaño (mm) *		
Largo	10.88 ± 0.03	8.72 ± 0.02
Ancho	8.04 ± 0.04	7.00 ± 0.03
Espesor	3.88 ± 0.04	5.81 ± 0.03
Peso de 1000 granos (g)**	305.16 ± 2.08	295.74 ± 1.76
Peso hectolítrico (kg/hL)**	76.52 ± 1.26	73.15 ± 1.12

*Media de 100 muestras ± error estándar

**Media de 3 muestras ± error estándar



5.1.3. Peso hectolítrico

Otra forma de calificar la calidad de un grano es midiendo su peso hectolítrico. De acuerdo a la NMX-FF-034/1-SCFI-2002, para el caso de maíz blanco empleado para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial, se considera que el grano tenga un peso hectolítrico mínimo de 74 kg/hL. El valor que presentó el maíz fue de 76.5 kg/hL, y se encuentra dentro de lo establecido para la industria del nixtamal.

Para el caso del frijol se obtuvo un peso hectolítrico de 73.15 kg/hL semejante al reportado por Bernabé (2004), quien obtuvo valores de peso hectolítrico de 73 a 75 kg/hL.

5.2. Propiedades fisicoquímicas

5.2.1. Contenido de humedad

La humedad del grano de maíz es un parámetro muy importante ya que las características de textura de las tortillas dependen, en un alto grado, de la humedad que logra el grano al nixtamalizarse similar al reportado por Arámbula (2001).

En la tabla 19 se reportan los datos correspondientes a la humedad de cada uno de los granos.

Tabla 19. Propiedades fisicoquímicas de los granos de maíz y frijol

Grano	Contenido de humedad (%)	pH
Maíz	9.1	6.25
Frijol	11.2	5.86

La norma NMX-FF-038-SCFI-2002 considera que el grano de frijol tenga una humedad de 9.0-13.0%, el valor obtenido del grano fue de 11.2% y se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

5.2.2. pH

El valor promedio del pH del maíz fue de 6.25 similar al reportado por Méndez-Albores *et al.*, (2004 a), quienes registraron valores de pH de 6.42 para un maíz del tipo AS-900.



5.3. Propiedades fisicoquímicas del nixtamal

5.3.1. Sólidos totales

En la tabla 20 se muestra el porcentaje perdido de nejayote, en la nixtamalización del maíz con valores similares a los reportados por Serna-Saldívar *et al.*, (1988), de 5.0 %, como se observa a medida que incrementa el frijol hay mayor pérdida de sólidos debido a el lavado a que es expuesto el nixtamal.

Tabla 20. Porcentaje perdido de nejayote en la nixtamalización

Tratamiento	Sólidos totales (%)
100-0	5.005±0.058 a
95-5	5.717±0.056 b
90-10	6.156±0.049 b
85-15	6.425±0.107 c
80-20	7.214±0.081 d
75-25	7.679±0.018 d

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

Se obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, obteniendo un menor rendimiento para la mezcla 75-25% maíz-frijol.

5.3.2. pH

En la tabla 21 se muestran los valores de pH obtenidos de la solución de cocimiento de las tortillas, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, en relación a la cantidad de frijol añadida en cada una de las mezclas, obteniendo valores promedio de 10.902.

Tabla 21. pH de la solución de cocimiento de las tortillas de mezclas de maíz con frijol.

Tratamiento	pH solución de cocimiento
100-0	11.346 ± 0.025 a
95-5	11.240 ± 0.079 a
90-10	10.996 ± 0.064 b
85-15	10.926 ± 0.015 b
80-20	10.473 ± 0.021 c
75-25	10.433 ± 0.083 c

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).



5.4. Contenido de humedad de la masa

En la tabla 22, se muestran los valores de humedad de las masas de las diferentes mezclas de maíz-frijol, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. El valor promedio de humedad para las masas estuvo en 54.42%. Estos valores de humedad, son similares a las masas de maíz, y le confieren ciertas características de textura deseables para un buen troquelado de las tortillas (Flores-Farías *et al.*, 2000).

Tabla 22. Contenido de humedad de las masas de las diferentes mezclas maíz-frijol

Tratamiento	Contenido de humedad (%)
100-0	54.86 ± 0.02 a
95-5	54.43 ± 0.07 a
90-10	54.39 ± 0.04 a
85-15	54.15 ± 0.32 a
80-20	54.26 ± 0.13 a
75-25	54.46 ± 0.08 a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

La humedad de la masa es un aspecto crítico a considerar, masas con humedades por debajo del 50%, son difíciles de troquelar debido a que son poco cohesivas y quebradizas. Por el contrario, si hay un exceso en la humedad (arriba del 60%), las masas son muy “pegajosas” lo cual dificulta también el proceso de troquelado de la tortilla, a mayor humedad mejores características de textura (Arámbula, 2001).

5.5. Propiedades de calidad de la tortilla

5.5.1. Pérdida de peso

Un parámetro importante, desde el punto de vista comercial en la industria de la masa y la tortilla, es la pérdida de peso que éstas sufren durante la cocción. Los valores se pueden observar en la tabla 23. El rango de pérdida de peso estuvo entre 21.325 -22.624 %. Al respecto Méndez- Albores *et al.*, (2002) reportó valores de pérdida de peso cercanos al 30 %, para el caso de las tortillas producidas con proceso de nixtamalización ecológico, y valores cercanos al 28 % para tortillas producidas con el proceso de nixtamalización tradicional. Estas diferencias en los valores pueden deberse en gran manera a los tipos de proceso empleados, las condiciones utilizadas, y sobre todo a los tiempos y temperaturas de cocción de las tortillas.



Tabla 23. Pérdida de peso de las tortillas durante la cocción

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
100-0	21.566±0.630 a
95-5	22.514±0.237 a
90-10	21.325±0.476 a
85-15	22.624±0.292 a
80-20	22.062±0.324 a
75-25	21.904±0.789 a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

5.5.2. Grado de Inflado

En la tabla 24 se muestran algunas propiedades de calidad de las tortillas. La tortilla inflada no se vió significativamente afectada. Todas las tortillas evaluadas presentaron un valor de 3, lo cual indica inflado completo (75-100%), un buen inflado es obtenido cuando se forman 2 capas (perfectas) en las tortillas; estas capas se producen durante el proceso de cocción, son impermeables, retienen el vapor que da lugar al inflado durante el calentamiento.

5.5.3. Rolabilidad

Otra de las características subjetivas que se evaluaron en las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas de maíz-frijol, fue la rolabilidad. Los valores se muestran en la tabla 24. Todas las tortillas evaluadas presentan una buena rolabilidad, con un valor de 1, definido por no romperse; esta determinación subjetiva no arrojó diferencias entre los tratamientos evaluados por lo tanto las tortillas fueron consideradas dentro de los márgenes aceptables de calidad, presentando una textura suave, lo cual permitió que fuesen enrolladas sin presentar ruptura.

Tabla 24. Propiedades de calidad de las tortillas elaboradas con las mezclas maíz-frijol

Tratamiento	Inflado	Rolabilidad
100-0	3 a	1 a
95-5	3 a	1 a
90-10	3 a	1 a
85-15	3 a	1 a
80-20	3 a	1 a
75-25	3 a	1 a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

Tortilla inflada: 1 Poco o nada de inflado (0-25%) 2 que infla (25-75%) y 3 inflado completo (75-100%).

Rolabilidad de tortilla 1 sin ruptura 2 ruptura parcial 3 ruptura completa



5.6. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas

5.6.1. Contenido de humedad

En la tabla 25 se muestran el contenido de humedad de las tortillas obtenidas a través del proceso de nixtamalización. No se observaron diferencias estadísticas en las propiedades de las tortillas preparadas con las mezclas de maíz-frijol. El contenido de humedad varió de 47.11 a 48.16 %. Estos valores son similares a los reportados por otros investigadores (Saldaña and Brown, 1984, Serna-Saldívar *et al.*, 1988b, Méndez-Albores *et al.*, 2004a, b).

Tabla 25. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas de las mezclas de maíz con frijol

Tratamiento	Humedad (%)	pH
100-0	47.56 ± 0.14 a	8.95 ± 0.006 a
95-5	48.16 ± 0.76 a	8.97 ± 0.005 a
90-10	47.56 ± 0.40 a	8.91 ± 0.003 a
85-15	47.49 ± 0.24 a	8.92 ± 0.003 a
80-20	47.11 ± 0.25 a	8.91 ± 0.005 a
75-25	47.50 ± 0.25 a	8.90 ± 0.005 a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

5.6.2. pH

En la tabla 25 se muestran los valores de pH de las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas de maíz-frijol que van desde 8.90 a 8.97 similares a los reportados por (Saldaña and Brown, 1984, Serna-Saldívar *et al.*, 1988b, Méndez-Albores *et al.*, 2004a, b), no se observó diferencia significativa entre los procesos.

En productos nixtamalizados la concentración de cal representa un factor importante en el color, olor, sabor y características de textura; cuando el contenido de cal no es suficiente para darle el sabor alcalino característico de la tortilla, esta es rechazada por los consumidores.

Del mismo modo si este componente se encuentra en exceso, las tortillas son astringentes y también rechazadas. Sin embargo, con algunos genotipos de maíz, puede ser utilizada una alta concentración de cal (3% p/p), la cual da un producto final amarillento y también prolonga la vida útil de las tortillas de acuerdo a lo reportado por Méndez Albores *et al.*, (2003).



5.6.3. Color

El color de la tortilla no se vió afectada por la adición de frijol a el maíz (tabla 26). Todos los tratamientos tuvieron la misma concentración de cal de 1.5 % (p/p), y en consecuencia las tortillas presentan un color amarillento, como lo muestra el valor ΔE cerca de 35. Por otra parte, la adición de diferentes proporciones de frijol blanco no afectó significativamente la L, Croma y Hue en las tortillas como se muestra en la tabla 26. Los cambios en el color de la tortilla se atribuyeron directamente a la cantidad de cal retenida durante la cocción y el lavado del nixtamal. El contenido de cal afecto el color de la tortilla aun cuando las tortillas se producen a partir de granos de maíz blancos, y la intensidad de color esta ligada con pigmentos de carotenoides, flavonoides y pH. Sin embargo el desarrollo del color durante la cocción alcalina es más complejo, considerando que el hidróxido de calcio reacciona con diferentes pigmentos que se encuentran en el grano de maíz e interfiere con las reacciones de obscurecimiento como caramelización y reacciones de Maillard (Gómez *et al.*, 1987).

El color en las tortillas elaboradas en la mezcla 75-25 fue similar al de la muestra testigo 100% maíz reportando valores de 34.63 y 34.88 respectivamente.

Tabla 26. Análisis de color de las tortillas elaboradas con las mezclas maíz-frijol

Tratamiento	Color			
	(ΔE)	L	Croma	Hue
100-0	34.88±0.93 a	71.19±1.53 a	25.22±0.76 a	87.33±0.27 a
95-5	34.72±0.77 a	71.71±1.23 a	25.54±0.87 a	87.04±0.12 a
90-10	36.33±0.25 a	70.93±0.97 a	25.41±0.46 a	87.62±0.69 a
85-15	34.55±0.12 a	71.21±0.41 a	25.19±0.16 a	87.17±0.47 a
80-20	34.38±0.27 a	70.34±0.85 a	25.16±0.43 a	87.21±0.97 a
75-25	34.63±0.38 a	71.04±1.43 a	24.91±1.62 a	87.18±0.19 a

Media de 3 repeticiones $\pm$ error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

5.7. Propiedades texturales de la tortilla

En cuanto a la textura, las tortillas elaboradas con maíz presentaron valores de resistencia a la tensión (medida en Newtons) de 1.11 N; no se observaron diferencias significativas entre las tortillas control y las tortillas preparadas con las mezclas de maíz-frijol. También en relación a la fuerza de corte no se observaron diferencias significativas, los valores promedio fueron 7.9N (tabla 27), para tortillas elaboradas con las mezclas, así como para las tortillas con maíz únicamente. Estos valores de textura son similares a los reportados en las tortillas producidas con alto contenido de humedad en el grano de maíz almacenado (Méndez –Albores *et al.*, 2003).



Tabla 27. Propiedades texturales de las tortillas elaboradas con las mezclas maíz-frijol

Tratamiento	Tensión	Fuerza al corte
100-0	1.11±0.05 a	7.90±0.12 a
95-5	1.11±0.07 a	7.89±0.10 a
90-10	1.13±0.04 a	7.92±0.11 a
85-15	1.13±0.08 a	7.91±0.13 a
80-20	1.10±0.03 a	7.86±0.09 a
75-25	1.16±0.05 a	7.92±0.11 a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

Tensión y fuerza al corte en Newtons (N).

En general, las tortillas preparadas a partir de maíz solo o con mezclas fueron estirables, elásticas y resistentes al rompimiento. Sin embargo, se necesita un estudio de vida útil para determinar si el tiempo de almacenamiento provoca cambios de textura en la tortilla (tensión, fuerza de corte).

El contenido de proteína fue reducido después del proceso de nixtamalización. El contenido de proteína del maíz crudo fue 94.80g.kg⁻¹ (base seca), y cuando se nixtamalizó la proteína fue reducida a 91.53 g.kg⁻¹ (tabla 28). Esta reducción del 3.5% es consistente con los informes anteriores que indican que la proteína se pierde durante la elaboración de tortilla (Bressani, 1990; Milan-Carrillo *et al.*, 2004).

5.8. Cuantificación de aminoácidos

En cuanto al contenido de aminoácidos lisina y triptófano también se redujeron en las tortillas de maíz de 52.61 y 9.62 respectivamente (tabla 28) Mora-Aviles *et al.* (2007) reportaron que lisina y triptófano contenido en maíz de calidad proteica (QPM) fue reducido en 8% después del tratamiento con cal, cuando regularmente el maíz fue reducido de 25 a 15% respectivamente. Rojas-Molina *et al.* (2008) reportaron reducciones de 36 a 32% en el total de lisina y lisina reactiva, así como el 38.7% para el contenido de triptófano contenido durante la nixtamalización tradicional de QPM (H-368C). Estas diferencias en la reducción de aminoácidos son atribuibles a las condiciones usadas durante el proceso de nixtamalización, la concentración de cal, temperatura, cocción, y tiempo de reposo (Bressani, 1990; Serna-Saldívar *et al.*, 1990). Así mismo la distribución y ubicación de la proteína soluble y los aminoácidos esenciales podrían explicar los cambios observados en la calidad de la proteína durante la nixtamalización (Rojas-Molina *et al.*, 2008). Por lo contrario, la cantidad y calidad de la proteína en las tortillas preparadas con mezclas de maíz-frijol incrementaron evidentemente (tabla 28).



Tabla 28. Cuantificación de aminoácidos en las tortillas elaboradas con las mezclas maíz-frijol

Componente	Requerimiento FAO	Granos crudos		Relaciones maíz-frijol					
		Maíz	Frijol	100-0	95-5	90-10	85-15	80-20	75-25
Proteína		94.80 ± 1.17	210.40 ± 6.64	91.53 ± 0.29a	97.13 ± 1.33b	100.53± 0.46c	105.60± 2.08d	110.2± 0.92e	114.8± 1.38f
Lisina	54.4	33.89 ± 0.57	67.91 ± 1.16	30.63 ± 1.62a	36.98 ± 0.25b	39.93± 1.21c	43.33± 0.65d	46.87± 1.01e	51.84± 0.46f
Triptófano	9.6	7.28 ± 0.11	32.90 ± 1.89	3.45 ± 0.27a	4.26 ± 0.09b	4.3± 10.18b	5.67± 0.07c	6.90± 0.06d	8.04± 0.01e

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

Contenido de proteína en g.kg (base seca) Los aminoácidos son expresados en g/kg de proteína.

El triptófano, un aminoácido muy sensible a el tratamiento alcalino, puede ser considerado como el primer aminoácido limitante de la tortilla de maíz nixtamalizado (3.45g.kg⁻¹ proteína), el segundo aminoácido limitante es la lisina (30.63 g.kg⁻¹) que cubre el 36 y 56 % de la FAO/WHO con requerimientos (FAO/WHO/ONU 1985). Sin embargo, como resultado de la adición de frijol, estos incrementos fueron significativos en triptófano y lisina contenido en tortillas de maíz-frijol. El contenido de frijol incrementó los aminoácidos sin afectar las propiedades fisicoquímicas y texturales de las tortillas. Las tortillas producidas con la mezcla 75:25 presentaron 51.84 y 8.04 g.kg de lisina y triptófano, respectivamente; que representa 95 y 84% del perfil de la FAO.

5.9. Factores antinutricionales

5.9.1. Inhibidor de Tripsina

En la tabla 29 se resumen los factores antinutricionales encontrados en el maíz, frijol crudo, y tortillas elaboradas con la mezcla de maíz- frijol. El frijol tiene alta actividad del inhibidor tripsina presentada en valores de 13.6 unidades/mg de muestra, así como ácido fítico (2.4%) y contenido de taninos (0.25%) las reducciones de los factores antinutricionales fueron observados en diversos grados dependiendo de la proporción de maíz-frijol procesado.

En la nixtamalización conjunta del maíz con frijol se redujeron cerca del 90 al 96% del inhibidor tripsina, 46-54% ácido fítico, y 16-20% contenido de taninos.



Tabla 29. Factores Antinutricionales en tortillas elaboradas con mezclas maíz-frijol

Tratamiento	Inhibidor Tripsina*	Ácido Fítico (%)	Taninos (%)
Maíz	1.0±0.39	2.1± 0.08	0.20±0.02
Frijol	13.6±1.14	2.4±0.02	0.25±0.01
100-0	N.D.	0.8±0.02a	0.07±0.01a
95-5	N.D.	0.9±0.04a	0.07±0.01a
90-10	N.D.	0.9±0.06a	0.08±0.02a
85-15	N.D.	1.0±0.05a	0.08±0.01a
80-20	0.6±0.13a	1.1±0.07a	0.08±0.01a
75-25	1.4±0.19b	1.1±0.07a	0.09±0.01a

Media de 3 repeticiones ± error estándar.

Los valores medios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

*Unidad de Inhibidor Tripsina/muestra mg. N.D: No detectable (debajo del límite de detección).

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de otros estudios que reportaron una reducción en taninos y otros antinutrientes en la cocción de leguminosas (Sharma and Shengal, 1992; Singh, 1993; Rehman and Shah, 2005; Siddhuraju and Becker, 2005). En general, la disminución en los niveles de estos antinutrientes, particularmente del inhibidor de tripsina, podría ser debido a la degradación y desnaturalización, así como la formación de complejos insolubles (Kataria *et al.*, 1986; Siddhuraju and Becker, 2001).

Como ha sido sugerido por Bonilla (1991), y otros autores (Desphande, 2002., Urbano *et al.*, 2003), estos factores antinutrientes son los que por su termolabilidad están más expuestos a ser inactivados por los tratamientos térmicos.

Brenes (1993), indica que el ácido fítico es inactivado por el tratamiento térmico, y su inactivación dependerá de la temperatura alcanzada en el tratamiento.

Taninos

El porcentaje de ácido tánico disminuye en el frijol sometido a tratamiento térmico, porque aumenta su solubilización en el agua de cocción, estos resultados coinciden con lo reportado por González (2001).

Es importante señalar que el porcentaje de taninos determinado en las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas maíz-frijol no serán un problema para la salud de quien las consuma, pues se ha reportado que sólo valores mayores a 5% pueden tener efectos antinutrientes (Flores, 2003). Un mejor cambio para muchos países latinoamericanos es asegurar que los sectores de la sociedad que consumen tortillas como fuente principal de energía y proteínas mejora la calidad de su dieta. En consecuencia, en países donde el frijol blanco está disponible, su uso se recomienda para el proceso de nixtamalización hasta un 25% para el enriquecimiento de la tortilla.



6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el desarrollo experimental permiten concluir lo siguiente:

1. No hubo diferencias en las propiedades fisicoquímicas de las tortillas control y las elaboradas con las mezclas maíz-frijol obteniendo valores de humedad que van de 47.11 a 48.16 %, a mayor humedad mejores características de textura.
2. El color no fue afectado al realizar las mezclas de maíz-frijol en comparación de las tortillas control, el contenido de cal agregado fue de 1.5% (p/p) en todos los tratamientos obteniendo valores similares.
3. Al analizar la rolabilidad se observó que todas las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas maíz-frijol presentaron una calificación de 1 (buena rolabilidad), por lo que esta determinación subjetiva no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.
4. En relación a la textura se obtuvieron en todos los tratamientos de las mezclas tortillas estirables, elásticas y resistentes.
5. El contenido de proteína en frijol crudo es mayor en comparación con el grano de maíz y las tortillas de maíz lo cuál al agregarlo en la nixtamalización con el maíz aumenta la cantidad de aminoácidos en las tortillas.
6. Durante el proceso de nixtamalización el maíz pierde el 3.5 % de la proteína, por tanto el contenido de lisina y triptófano también se reducen al elaborar las tortillas de maíz, después del proceso tradicional de nixtamalización la adición de frijol mejoró la cantidad y calidad de proteína, lisina y triptófano. Hasta el 25% de adición de frijol no afectó las propiedades fisicoquímicas y de textura de las tortillas.
7. Al nixtamalizar las diferentes mezclas se observó una disminución considerable de los factores antinutricionales como el inhibidor de tripsina que tuvo una reducción del 96%, ácido fítico 54% y taninos 20%.
8. Al disminuir el contenido de taninos se mejora la digestibilidad del grano como resultado de una mejor disponibilidad de las proteínas.



9. De acuerdo a las diferentes mezclas realizadas de maíz-frijol para la obtención de tortillas la mezcla adecuada es 75:25 ya que tiene mayor calidad nutritiva aumentando los niveles de aminoácidos (Lisina y triptófano) de los cuales es deficiente el proceso convencional de nixtamalización.
10. Con la adición de 25% de frijol, los contenidos de lisina y triptófano aumentaron en 56 y 36% el valor del perfil FAO, hasta 95 y 84%, respectivamente.
11. Las pruebas sensoriales de las tortillas elaboradas con las diferentes mezclas fueron realizadas por los autores, los cuáles indicaron que a partir de la mezcla 80-20 se percibe ligeramente el sabor a frijol.
12. En consecuencia, como alternativa para resolver el problema de baja cantidad y calidad de proteína de los alimentos a base de cereales, se sugiere la fortificación con frijol blanco modificando el proceso, condiciones y equipo durante la elaboración de tortillas.
13. Se concluye que las tortillas hechas con las mezclas indicadas no sólo mejoran su calidad proteica, sino que presentan propiedades fisicoquímicas y texturales similares a las tortillas preparadas con maíz.
14. El presente trabajo ha aseverado la bondad nutricia del proceso tradicional de nixtamalización de la mezcla de los granos maíz-frijol es importante realizar trabajos posteriores donde se estudie la factibilidad de esta operación contemplando el aspecto económico, el cual permitirá su uso tanto en el medio rural como urbano sin que eleve el costo de las tortillas.
15. El uso del frijol en la nixtamalización conjunta con el maíz contribuye significativamente a la nutrición humana, principalmente en aquellos países donde el maíz y el frijol son la base de la dieta.



7. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Arrizon-López V., Slocum R., Lee, P. (1987). Expanded protein hydrolyzate analysis, sistem 6300/7300. Application Notes No. A630-AN-007., Palo Alto, California: Spinco División of Beckman Instruments Inc.
- ❖ Association of Official analytical Chemist. AOAC. (2000). Gaithersburg, MD,USA.
- ❖ American Association of Cereal Chemists. AACC. (2000). Approved Methods of the AACC. 10th ed. AACC International. St. Paul, MN.
- ❖ Arámbula, V.G., Barrón, A.L., González, H.J., Moreno, M.E. y Luna, B.G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays*) sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. 187-194 pp.
- ❖ Arámbula, V.G., Méndez, A.J.A., González, H.J. Gutiérrez, A.E. y Moreno M.E. (2004). Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz. 1-7 pp.
- ❖ Allen and Allen, E. (1981). The Leguminosae or source book of characteristics, uses and nodulation. University of Wisconsin Press. USA. 812 pp.
- ❖ Allen, M.D.R. (1993). Nutrition and health, ingredient analysis table feedstuffs reference issue. Eds. Sheid J. and Muirhead 65 (1): 24-35.
- ❖ Badui, D.S. (2006). Química de los alimentos. Pearson education, 5ta edición, México. 81-85 pp.
- ❖ Bedolla, S. and Rooney, L.W. (1982). Cooking maize for masa production. Cereal Foods World. Vol 27, 219-221 pp.
- ❖ Bedolla, S. (1983). Development and characterization of instant tortillas flours from sorghum and corn by infra-red cooking (micronizing) and extrusion cooking. PhD Thesis. TX, EUA Texas: A & M University, Collage Station. 207 pp.
- ❖ Bernabé A., A. (2004). Respuesta del frijol a la fertilización foliar y densidad de población en rendimiento y calidad de semillas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Programa de Semillas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 154 pp.
- ❖ Blancas, M.VH. (2001). Estudio de las modificaciones en la pectina que ocurren durante el remojo de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) Tesis Facultad de Química. UNAM. 52 pp.
- ❖ Bravo, L., Siddhuraju, P., and Saura-Calixto F. (1998). Effect of various processing methods on the *in vitro* starch digestibility and resistant starch content of indian pulses. *J. Agric. Food Chem.* 46:4667-4674.
- ❖ Brenes, A., y Brenes, J. (1993). Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: influencia sobre su valor nutritivo. FEDNA, Barcelona, 32 pp.
- ❖ Bressani, R. and Scrimshaw, N.S. (1958). Effect of lime treatment on *in vitro* availability of essential amino acid and solubility of protein fractions in corn. *J. Agr. Food Chem.* 6:774-778.
- ❖ Bressani, R. (1972). La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países. Mejoramiento industrial del maíz INCAP. Guatemala.



- ❖ Bressani, R., Braham, J.E., Elias, L.G., Rubio, M. (1979). Further studies on the enrichment of lime treated corn with whole soybean. *J. Food Sci.* 44:1707-1710.
- ❖ Bressani, R. Chemistry. (1990). Technology and nutritive value of corn tortilla. *Food Rev. Ind.* 6: 225-263.
- ❖ Bressani, R., Turcios, J.C., de Ruiz, A.S.C. and Palomo, P. (2004). Effect of processing conditions on phytic acid, calcium, iron and zinc contents of lime- cooked Maize. *J. Agr. Food Chem.* 52:1157-1162.
- ❖ Bonilla, A.R., Calzada, C., y Cooke, R. (1991). Efecto de la cocción tradicional sobre los factores antinutricionales de los frijoles negros (*Phaseolus vulgaris* L.) de Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, V.Y.
- ❖ Cámara Nacional del maíz Industrializado. (1994). La modernización de la industria del maíz para consumo humano. México, D.F. 342 pp.
- ❖ Carpita, N. and Gibeaut, D. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant Journal*. 3 (1):1-30.
- ❖ Castellanos, J.Z., Guzmán, M. H., Jiménez, A., Mejía, C., Muñoz, R. JJ., Acosta, G. JA., Hoyos, G., López, S.E., González, E.D., Salinas, P.R., González, A.J., Muñoz, V.JA., P. Fernández, H. y Cáceres. (1997). Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Rev. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 47 (2): 163–167.
- ❖ Davies, NT, and Reid, H. (1979). An evaluation of the phytate, zinc, copper, iron and manganese content of, and Zn availability from, soya based textured vegetable protein meat-substitute or meat extenders. *Br. J. Nutr.* 41: 579-589.
- ❖ Desphande, S.S. (2002). Handbook of Toxicology. Ed, Board, U.S.A. 120 pp.
- ❖ Desroisier, N.W. (1994). Elementos de Tecnología de Alimentos. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 10ª edición. Capítulo 2 124-144 pp.
- ❖ FAO/WHO/UNU (1985). Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series N° 724. Geneva, Switzerland. 206 pp.
- ❖ Fernández-Muñoz, J.L., Rodríguez, M.E., Pless, R.C., Martínez, L.I. and Baños, L. (2002). Changes in nixtamalized corn flour development on post cooking steeping time. *Cereal Chem.* 79: 162-166.
- ❖ Figueroa-Cárdenas, J.D. Martínez B., Jesús González H., y Feliciano Sánchez S. (1996). Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. *Avance y Perspectiva*, vol 13, Nov-Dic 323-329 pp.
- ❖ Figueroa-Cárdenas, J.D., Acero-Godínez, M.G., Vasco-Méndez, N.L., Lozano-Guzmán, A., Flores-Acosta, L.M and González-Hernández, J. (2001). Fortification and evaluation of the nixtamal tortillas. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51:293–302.



-
- ❖ Figueroa-Cárdenas, JD., Godínez, MG., Méndez, NL., Gúzman, AL., and Acosta, L.M. (2003). Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54:189–200.
 - ❖ Flores-Farías R, Martínez-Bustos F, Salinas-Moreno Y, Kil- Chang Y, González-Hernández J, Ríos E. (2000). Physicochemical and rheological characteristics of comercial nixtamalized Mexican maize flours for tortillas. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 80:657-664.
 - ❖ Flores del V.N.I. (2003). Evaluación nutricional y toxicología del ejote de colorín (*Erythrina Americana*) después de ser sometido a un proceso de cocción. Tesis de Facultad de Química, UNAM, 111 pp.
 - ❖ Fohlman, J., Rask, L., and Peterson, PA. (1980). High-pressure liquid chromatography identification of phenylthiohydantoin derivatives of all twenty common aminoacids. *Anal. Biochem.* 106(1):22-26.
 - ❖ Franze, K. (1975). Tortillas fortified with whole soybeans prepared by different methods. *J. Food Sci.* 40:1275-1277.
 - ❖ Gasca, M.J.C., Casas, A.N.B. (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortillas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, (6), 3,317-328.
 - ❖ Gómez, MH., Rooney, LW., Waniska, RD., and Pflugfelder, R.L. (1987). Dry maize masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World* 32: 372.
 - ❖ Gómez, MH., Rooney, LW., Waniska, RD., and Rooney L.W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68 (6): 578-582.
 - ❖ González, A.U. (1995). El maíz y su conservación. Editorial Trillas. México. 399 pp.
 - ❖ González, A.P. (2001). Efecto del procesamiento con calor sobre la cuantificación de lecitinas de frijol y su toxicidad remanente. Tesis Facultad de Química, UNAM, 122 pp.
 - ❖ González, I. J.L., Pérez Ibarra, F.J., Guzmán, R. N.E., Infante, G. J.A., y Laredo, G. R.F. (2005). Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia* ISSN.
 - ❖ Gutierrez, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J.L. Guzmán, H., Aguas-Ángel, B., Arenas, J., Fernandez, P., Palacios Fonseca, A., Herrera, y G. and Rodríguez, M.E. (2007). Study of calcium ion difusión in nixtamalized quality protein maite as a function of cooking temperatura. *Cereal chem.* 84 (2):186-194.
 - ❖ Guzmán-Maldonado, S.H., Acosta-Gallegos, J and Paredes-Lopez, O. (2000). Protein characteristics and mineral contents of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Sci. Food Agric.* 80:1874-1881.
 - ❖ Helbert, D., Almeida, J. y Lloyd W. Rooney. (1996). Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. Seminario Asociación Americana de la Soya. México D.F.
 - ❖ Herrera, F.T.S., Cárdenas, S.E., Ortiz, C.J., Acosta, G.J. A. y Mendoza, C.M. (2005). Anatomía de la vaina de tres especies del género *Phaseolus*. *Rev. Agrociencia.* 39 (6): 595–602 pp.
-



- ❖ Hosney, R.C. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Department of Grain Science and Industry. Kansas State University, ed. Acribia, S.A, España.83-91pp.
- ❖ International Seed Testing Association. (ISTA) (1996). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 24: 1-335.
- ❖ Jacinto, H.C., Hernández, S.H., Azpiroz, R.S., Acosta, G.J.A. y Bernal, L.I. (2002). Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales, *Rev. Agrociencia*. 36 (4): 451–459 pp.
- ❖ James, Aduke. (1981). Hand book of legumes of world economic importanc. Plendum Press; N.Y.115-119 pp.
- ❖ Kadake, ML., Rackis, JJ., McGhee, JE., and Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51: 376-381.
- ❖ Klaus, J.L and Karel, K.W. (1991). Handbook of Cereal Science y Tech. 148-162 pp.
- ❖ Kon, S. (1979). Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. *Journal of Food Science* Sept/Oct 44: 1329-1334.
- ❖ Kohashi, S.J. (1996). Aspectos de la morfología y fisiología *Phaseolus vulgaris* L , y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 42 pp.
- ❖ Landry, J., Delhaye, S., Jones, D.G. (1992). Determination of tryptophan in feedstuffs: comparison of two methods of hydrolysis prior to HPLC analysis. *J. Sci. Food Agric.* 58(3):439-441.
- ❖ Liu, Keshun. (1995). Cellular, Biological, and Physico chemical Basis for the Hard- To Cook Defect in Legume Seeds. *Critical Reviews of Food Science and Nutrition*. 35 : 263-298.
- ❖ Lloyd, R. (1999). Excelencia en calidad para tortillas de maíz, efecto de la adición de proteínas de soya en la calidad de las tortillas. Cereal Quality Laboratory Soil abd Corp Sciences Departament. Reporte de investigación 15-24 pp.
- ❖ Malovany, D., Pacyniak, B., Hanacek, A., and Clark M.O. (2004).Tortillas: a new American staple. *Cereal Foods World* 49:186–187.
- ❖ Mc Pherson, C.M. (1976). Evaluation of corn tortillas supplemented with cottonseed flour. *J. Food Sc.* 41: 1301-1303.
- ❖ Méndez-Albores, J.A. (2002). Evaluación de la degradación de aflatoxinas en los procesos de nixtamalización. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Querétaro, México.
- ❖ Méndez-Albores, J.A., Arámbula, VG., Vázquez, BME., Mendoza, EM., Preciado, ORE., and Moreno-Martínez, E. (2003). Effect of high moisture maize storage on tortilla quality. *J. Food Sci.* 68:1878-1881.
- ❖ Méndez-Albores, J.A., Villa, GA., Del Río-García, JC., and Martínez, E.M. (2004a). Aflatoxin-detoxification achieved with Mexican Traditional Nixtamalization Process (MTNP) is reversible. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1611-1614.



- ❖ Méndez-Albores, J.A., Arámbula-Villa, G., Loarca-Piña, MG., González-Hernández, J., Castaño-Tostado, E., and Moreno-Martínez, E. (2004b). Aflatoxin's fate during the nixtamalization of contaminated maize by two tortilla-making processes. *J. Stor. Prod. Res.* 40:87-94.
- ❖ Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, EO., Garzón-Tiznado, JA., and Reyes-Moreno, C. (2004). Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays L.*) optimization of alkaline processing. *Plant Foods Hum. Nutr.* 59: 35-44.
- ❖ Mora-Avilés, A., Lemus-Flores, B., Miranda-López, R., Hernández-López, D., Pons-Hernández, JL., Acosta-Gallegos, JA., and Guzmán-Maldonado, SH. (2007). Effects of common bean enrichment on nutritional quality of tortillas produced from nixtamalized regular and quality protein maize flours. *J. Sci. Food Agric.* 87: 880-886.
- ❖ Moreno, C. P. (2003). Vida y obra de granos y semillas. Ciencia. Vol. 3.
- ❖ Muñoz, M., y Chávez, A. (1998). El impacto del maíz fortificado con proteínas y micronutrientes en una comunidad rural. Informe técnico de la evaluación anual sobre el efecto nutricional de la harina de maíz nixtamalizada fortificada.- Yosphi-El Rincón, San Idefonso, Querétaro. México. Instituto Nacional de Nutrición «S.Z.»
- ❖ NMX-FF-038-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fabáceas-Frijol (*Phaseolus vulgaris* L). Especificaciones y métodos de prueba.
- ❖ NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales parte 1: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado –Especificaciones y métodos de prueba.
- ❖ Ortega, E.I., Villegas, E., and Vasal, S.K. (1986). A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63:446-451.
- ❖ Ortega, M.L. (1991). Bioquímica; Contribuciones al conocimiento de frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados, E. Mark Engleman (Editor), Chapingo, México. 101-112 pp.
- ❖ Ortega, D.M.L. (1996). Composición Química del frijol. Centro de botánica Colegio de Postgraduados, 56230 Chapingo, México.
- ❖ Pérez, H.P., Esquivel, E.G., Rosales, S.R., y Acosta, G.J.A. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano sub-húmedo de México, *Rev. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52 (2): 172–180 pp.
- ❖ Rehman, Z., and Shah, W.H. (2005). Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chem.* 91: 327-331.
- ❖ Revista Mexicana Industria Alimentaria, (1996). Vol 18, No. 6, Noviembre-Diciembre.
- ❖ Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Cortés-Acevedo, ME., Falcón, A., Bressani, R., Rojas, A., Ibarra, C., Pons-Hernández, JL., Guzmán-Maldonado, SH., Cornejo-Villegas, A., and Rodríguez, ME. (2008). Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chem.* 85:409-416.
- ❖ Rooney, L.W., and Serna Saldivar, S.O. (1987). Food uses of whole corn and dry-milled fractions, In: *Corn Chemistry and Technology*. S.A. Watson and P.E. Ramstad, eds. Amer. Assoc. *Cereal Chem.* St. Paul, MN.399-429 pp.



-
- ❖ Rooney, L.W. (1996). Tortilla y alimentos tipo botana de maíz nixtamalizado. Soya noticias.1-7 pp.
 - ❖ Rosado, J.L., López, P., Morales, M., Muñoz, E., and Allen, L.H. (1992). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. *B.r J. Nutr.* 68:45–58 pp.
 - ❖ Saldaña, G., and Brown E.H. (1984). Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J. Food Sci.* 9:1202-1224.
 - ❖ SAGAR (2000). Situación actual, y perspectiva de la producción de frijol en México 1990-2000.
 - ❖ Salinas, M.Y., Arcelano, J.L. y Martínez, F. (1989). Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo *Rev. Fit. Mex.* 12:129-135.
 - ❖ Salinas, M.Y., Arcelano, J.L. y Martínez, F. (1992). Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíz híbrido procesado para valles altos. *Arch Lat. Amer. Nutr.* 42:161-167.
 - ❖ Salinas, M.Y., L. Rojas, H.L., E. Sosa, M. y P. Pérez, H. (2005). Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México, *Rev.Agrociencia*.
 - ❖ SAS (1998). Statistical Analysis System. Introductory Guide for Personal Computers. Ver. 6.12 Ed. SAS Institute. Cary, NC, USA.
 - ❖ Scrimshaw, N.S and Young, V.R. (1993). Amino acid fortification of protein foods. *J. Am. Coll. Nutr.* 12:481–483.
 - ❖ Serna-Saldivar, S.O., Tellez Giron, A., and Rooney, L.W. (1988a). Production of tortilla chips form sorghum and maize. *J. Cereal Sci.* 8:275-284.
 - ❖ Serna-Saldivar, S.O., Knabe D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D., and Sproule, A. (1988b). Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J. Cereal Sci.* 7: 83-94.
 - ❖ Serna-Saldivar, S.O., Gomez, M.H., and Rooney, L.W. (1990). Technology, chemistry and nutritive value of alkaline-cooked corn products. Ch. 4 In: *Advances in Cereal Sci Technol.* Vol. 10. AACC, St. Paul, MN.
 - ❖ Serna-Saldivar, S.O., Gómez, M.H., Almeida-Dominguez H.D. Islas Rubio A., and Rooney, L.W. (1993). A method to evaluate the lime –cooking properties of corn *Cereal Sci. Technol.* Vol. 10.AACC, St Paul, M.N.
 - ❖ Serrano, J. y Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Rev. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (1): 36–46.
 - ❖ Sharma, A. and Sehgal, S. (1992). Effect of domestic processing, cooking and germination on the trypsin inhibitor and tannin content of faba bean (*Vicia faba*). *Plant Foods Hum. Nutr.* 42: 127-133.
 - ❖ Siddhuraju, P. and Becker, K. (2005). Nutritional and antinutritional composition, in vitro amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed *mucuna* beans (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): an under utilised legume. *Food Chem.*91: 275-286.
 - ❖ Singh, U. (1993). Protein quality of pigeon pea as influenced by seed polyphenols and cooking process. *Plant Foods Hum. Nutr.* 43: 171-179.
 - ❖ Solano, R.R. (2001). Propiedades texturales de la masa y la tortilla de maíz nixtamalizado, efecto de la humedad de la masa. Tesis de Ingeniería en Alimentos FES-Cuautitlán UNAM.
-



- ❖ Solorzano-Vega, E. (1994). El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Ed. Universidad de Chapingo, México.
- ❖ Soriano-Bello, E.L. (2006). El uso del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) como planta medicinal.
- ❖ Suhendro, E.L., Almeida-Dominguez, H.D. Rooney, L.W., Waniska, R.D. and Moreira, R.G. (1999). Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *Cereal Chemistry* (76), 3-4.
- ❖ Trejo- González, A., Feria morales, A.A., and Wild Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. In: Modification of Protein Food, Nutritional and Pharmacological Aspects. (R.I. Feeney and J.R. Whitaker), eds. Edu. Chem. Series No. 198:245-302. Amer. Chem.Soc., Washington DC.
- ❖ Torres, F., Moreno, E., Chong, I. y Quintanilla, J. (1996). La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y Tecnología, Universidad Autónoma de México, 11-13 pp.
- ❖ Urbano, G., Aranda, P., Gómez-Villalva, E., Frejnagel, S., Porres, J.M., Frías, J., Vidal-Valverde, C., y López, M. (2003). Nutritional evaluation of pea (*Pisum sativum* L). Protein diets after mild hydrothermal treatment and with and without added phytase. *Journal Agric Food Chem.*, V. 51: 2415-2420.
- ❖ Villagrana, L.L.B. y Villareal, C.J. (2000). Estudio bibliográfico de las propiedades reológicas y texturales del maíz, masa y tortilla. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. UNAM. México.30-46 pp.
- ❖ Waliszewski, K.N., Estrada, Y., Pardio, V.T. (2000). Lysine and triptophan fortification of nixtamalized corn flour. *Int. J. Food Sci. Tech.* 35:523-527.
- ❖ Waliszewski, K.N., Pardio, V.T., Carreón E. (2002). Physicochemical and sensory properties of corn tortillas made from nixtamalized corn flour fortified with spent soymilk residue. *J. Food Sci.* 67:3194-3197.
- ❖ Wang, Y.Y.D. and Field, M.L. (1978). Enrichment of home prepared tortillas made from germinated corn. *J. Food Sci.* 43: 1630-1631.
- ❖ Watson, S.A. and Ramstad, P.T. (1987). Corn Chemistry and Technology. *Cereal Chem.* Inc. St Paul, Minnesota, U.S.A. 76 PP.
- ❖ White, J.P. and Johnson, L.A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel Chapter 3. In corn chem.. and Techn, 2ed. American Association of *Cereal chem.* 29: 321-382.



Sitios electrónicos

- ❖ www.agronet.com.mx. Situación y Perspectivas del Frijol. Autor: Jorge A. Rojo Leyva.
- ❖ <http://faostat.fao.org> Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de frijol.
- ❖ <http://www.cimmyt.cgiar.org>
- ❖ <http://www.fao.org>
- ❖ www.inta.gob.ni.
- ❖ <http://www.infoaserca.gob.mx>
- ❖ <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/Publicaciones/Archivos/Frijol90-00.pdf> Investigación sobre el frijol.
- ❖ <http://www.maiztortilla.com/es/introduccion/importancia-proceso.htm>
- ❖ CEPAL, <http://www.rlc.fao.org>
- ❖ Tablas Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán, 1996.
- ❖ <http://www.sdnhm.org>
- ❖ <http://es.wikipedia.org>
- ❖ <http://www.maiztortilla.com/es/introduccion/importancia-proceso.htm>
- ❖ <http://www.cimmyt.cgiar.org/spanish/wps/news/2006/aug/qpm-embu.htm>



ANEXO

Redalyc
Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal



Cuevas-Martínez, Dolores; Moreno-Ramos, Carolina; Martínez-Manrique, Enrique;
Moreno-Martínez, Ernesto; Méndez-Albores, Abraham

**NUTRITION AND TEXTURE EVALUATION OF MAIZE-WHITE COMMON BEAN
NIXTAMALIZED TORTILLAS**

Interciencia, vol. 35, núm. 11, noviembre, 2010, pp. 828-832

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33915598007>



Interciencia

ISSN (Versión impresa): 0378-1844

interciencia@ivic.ve

Asociación Interciencia

Venezuela

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

www.redalyc.org

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



NUTRITION AND TEXTURE EVALUATION OF MAIZE-WHITE COMMON BEAN NIXTAMALIZED TORTILLAS

Dolores Cuevas-Martínez, Carolina Moreno-Ramos, Enrique Martínez-Manrique,
Ernesto Moreno-Martínez and Abraham Méndez-Albores

SUMMARY

The effect of white common bean addition on certain nutritional, physicochemical and textural properties of tortillas was determined. The maize-bean blends used were 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, and 75:25. The blends were processed using the traditional nixtamalization process. As the bean quantity increased in tortillas, higher protein, lysine, and tryptophan con-

tents were registered. At 25% of bean addition, lysine and tryptophan content in tortillas increased from 56 and 36% of FAO profile to 95 and 84%, respectively. It was concluded that tortillas produced with these blends not only improve protein quality but also had similar physicochemical and textural properties of tortillas prepared with maize.

EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y TEXTURAL DE TORTILLAS DE MAÍZ-FRIJOL BLANCO NIXTAMALIZADAS

Dolores Cuevas-Martínez, Carolina Moreno-Ramos, Enrique Martínez-Manrique, Ernesto Moreno-Martínez
y Abraham Méndez-Albores

RESUMEN

Se determinó el efecto de la adición de frijol blanco sobre ciertas propiedades nutricionales, fisicoquímicas y texturales de tortillas. Las mezclas de maíz-frijol blanco utilizadas fueron 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, y 75:25. Las mezclas fueron procesadas utilizando el proceso tradicional de nixtamalización. Al aumentar la cantidad de frijol en las tortillas se registraron contenidos mayores de proteína, lisina y triptófano. Con la

adición de 25% de frijol, los contenidos de lisina y triptófano aumentaron en 56 y 36% el valor del perfil FAO, hasta 95 y 84%, respectivamente. Se concluye que las tortillas hechas con las mezclas indicadas no solo mejoran su calidad proteica, sino que presentan propiedades fisicoquímicas y texturales similares a las de las tortillas preparadas con maíz.

Introduction

Tortillas and beans are the most important protein sources for the Mexican population, providing 70% of the calories and 90% of total protein intake (Pérez *et al.*, 2002; Rosado *et al.*, 2005). Tortillas are traditionally made using the alkaline process called nixtamalization, which consists of cooking grain in abundant water and lime (2-3 l of water per kg of maize processed, with 1-3% Ca(OH)₂) at tempera-

tures near boiling, for 35-70 min, with a steeping period of 8-16 h. After steeping, the lime cooking solution is decanted, and the grain is thoroughly washed to leave it ready for milling in order to obtain the *masa* (maize dough) for making the tortillas (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

The nixtamalization process enhances the nutritional value of maize by improving protein quality, increasing the calcium and niacin availability and re-

ducing phytic acid levels. Unfortunately, nixtamalization also leads to losses of protein, carbohydrates and vitamins (Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2001). Due to this fact, the tortilla industry suffers from a compromise in quality with low protein levels, as well as deficiencies of lysine and tryptophan in the product. Therefore, several studies have been conducted regarding nutrient improvement in tortillas. The amount of protein has been increased by

adding soybean (Franze, 1975; Bressani *et al.*, 1979), defatted soybean flour (González-Agramón and Serna-Saldivar, 1988), sorghum (Serna-Saldivar *et al.*, 1988a), cottonseed flour (McPherson and Ou, 1976), germinated corn (Wang and Fields, 1978), spent soymilk residue, and direct lysine and tryptophan (Waliszewski *et al.*, 2000, 2002), among others. However, such strategies have proven to be expensive or impractical, due to the change in physico-

KEYWORDS / Maize / Nixtamalization / Tortilla Quality / White Bean /

Received: 03/10/2010. Modified: 10/05/2010. Accepted: 10/18/2010.

Dolores Cuevas-Martínez. B.Sc. in Food Engineering and Graduate Student, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
Carolina Moreno-Ramos. Doctor in Animal Production and

Health Sciences, FESC-UNAM, México. Professor, FESC-UNAM, México.
Enrique Martínez-Manrique. M.Sc. in Food Science and Technology, UNAM, México. Professor, FESC-UNAM, México.

Ernesto Moreno-Martínez. Ph.D. in Phytopathology, University of Minnesota, USA. Professor, FESC-UNAM, México.
Abraham Méndez-Albores. Doctor in Materials Sciences, CINVESTAV-IPN, México. Professor, FESC-UNAM,

México. Address: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Km 2.5 Carretera Cuautitlán-Teoloyucan. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. e-mail: albores@unam.mx



AVALIAÇÃO NUTRITIVA E DE TEXTURA DE PANQUECAS DE MILHO E FEIJÃO BRANCO NIXTAMALIZADAS

Dolores Cuevas-Martínez, Carolina Moreno-Ramos, Enrique Martínez-Manrique, Ernesto Moreno-Martínez e Abraham Méndez-Albores

RESUMO

Determinou-se o efeito de la adición de feijão branco sobre algunas propiedades nutricionales, fisicoquímicas e de textura das panquecas. As misturas milho-feijão utilizadas foram 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, e 75:25. As misturas foram processadas utilizando o método tradicional de nixtamalização. Ao aumentar a quantidade de feijão nas panquecas se registraram incrementos nos conteúdos de proteínas, lisina e triptofano. Com a adição de 25% de feijão os conteúdos de lisina e triptofano

nas panquecas aumentaram desde 56 e 36% no perfil FAO até 95 e 84%, respectivamente. Conclui-se que as panquecas produzidas com essas misturas não somente melhoram sua qualidade proteica mas que também têm propriedades fisicoquímicas e de textura semelhantes a aquelas preparadas com milho. Em países onde o feijão branco está disponível, sua utilização até em 25% no processo de nixtamalização é recomendado para o enriquecimento das panquecas.

chemical, textural and sensorial properties in the enriched tortilla.

In Mexico, the daily consumption of tortilla per person is >250g and tortillas are commonly consumed accompanied with other foods, including common bean, another important food legume which is consumed in large quantities of up to 60g per person per day (López-Mejía *et al.*, 1997). Considering that the consumption of proteins with insufficient essential amino acids is a serious problem in some poverty areas of Mexico, principally where maize is the basic staple food, it is of interest to evaluate the effect of the nixtamalization of maize-white bean blends on the physicochemical and textural characteristics of tortillas, in an attempt to develop practical and economical processes for tortilla production with improved nutritional characteristics.

Materials and Methods

Raw materials

Maize grain (*Zea mays* L.) of the commercial hybrid AS-900, and white 157 common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) were used, with initial moisture contents of 9.1 and 11.2%, respectively. Moisture content (MC) was determined by drying replicate portions of 5-10g each of whole grain at 103°C for 72h, and percentages calculated on a wet-weight basis.

Tortilla-making process

The traditional nixtamalization process was used. Each experimental unit consisted of 1000g of maize-bean blend (100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25) mixed with 3 l distilled water and 15g of lime (99% calcium hydroxide). The blends were cooked in a covered aluminum pan for 55min and steeped 16h at room temperature (22 ±1°C). The steep liquor was removed, and the cooked maize was washed with 4 l of tap water to remove excess lime and pericarp tissue. The nixtamal (cooked grain) was stone-ground to provide a *masa* with a MC of ~59%. The *masa* was flattened into thin disks of 12.5cm diameter and 1.2mm thickness using a commercial tortilla roll machine (Casa González, Monterrey, NL, Mexico). Tortillas were baked on a griddle at 270 ±5°C for 17s on one side, 55s on the other side, and again 17s on the first side. The temperature was measured with a non-contact portable infrared thermometer Fluke-572 (Fluke, Melrose, MA, USA). Tortilla puffing was evaluated subjectively by using scores of 1-3, where 1= little or no puffing (0-25%), 2= medium puffing (25-75%), and 3= complete puffing (75-100%). Rollability was evaluated by rolling a tortilla over a 1cm

diameter tube, quantifying the extent of breaking using a scale of 1 to 3, where 1= tortillas with no breaking; 2= a partial breaking at the center and edges of the tortilla; and 3= completely flattened tortillas.

Physicochemical analysis

The pH was determined according to the 02-52 AACC method (AACC, 2000). Tortillas were subjected to surface-color analysis with a MiniScan XE model 45/0-L colorimeter (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, USA). The colorimeter was calibrated with a white porcelain plaque ($L^* = 97.02$, $a^* = 0.13$, $b^* = 1.77$). Readings were made in triplicate at four positions at 90° with respect to each other. Three derived functions (ΔE , chroma, and hue value) were computed from the L^* , a^* , and b^* readings, as:

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

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Hue angle} = \arctan(b/a)$$

Tortilla texture

The texture of the tortilla (tensile strength and cutting force) was evaluated using the Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA). Texture was evaluated immediately after preparation. To avoid loss of water and temperature, tor-

tillas were kept at 40°C inside polyethylene bags. For tensile strength evaluation, a piece of tortilla in the form of a test strip (8.7×3.75cm at each end, and 1.5cm wide at the thinnest part) of the central part of the tortilla was cut and placed in retention clamps TA-96. The test was carried out at 2mm·s⁻¹, and pincers were opened 15mm until the tortilla piece was broken. To measure the cutting force, a piece of tortilla with the same form was cut using the blade TA-90 at 2mm·s⁻¹ and a cutting depth of 10mm.

Protein, lysine and tryptophan content

The 960.52 micro-Kjeldhal official method of the AOAC (2000) was used to determine the protein content in tortilla flours (N×6.25). Amino acid analysis was performed by reversed phase-high performance liquid chromatography (RP-HPLC, Model 510, Waters Associates, Milford, MA, USA). Samples (100mg) were hydrolyzed under nitrogen at 110°C with 2ml of 6N HCl for 24h. The acid was removed by rotary evaporation. For tryptophan analysis, samples were hydrolyzed at 140°C with 3ml of 4N Ba(OH)₂ for 8h, then neutralized with 12N HCl to a pH of 7. After filtration, 25µl were used for derivatization with phenylisothiocyanate and derivatized samples were analyzed in a Waters Nova-pak C18 column



TABLE I
PHYSICOCHEMICAL, QUALITY AND TEXTURAL PROPERTIES OF TORTILLAS
MADE WITH MAIZE-BEAN BLENDS

Treatments	Moisture (%)	pH	Color (ΔE)	L	Chroma	Hue	Puffing	Rollability	Tensile strength	Cutting force
100- 0	47.56 $\pm$ 0.14a	8.95 $\pm$ 0.006a	34.88 $\pm$ 0.93a	71.19 $\pm$ 1.53a	25.22 $\pm$ 0.76a	87.33 $\pm$ 0.27a	3	1	1.11 $\pm$ 0.05a	7.90 $\pm$ 0.12a
95- 5	48.16 $\pm$ 0.76a	8.97 $\pm$ 0.005a	34.72 $\pm$ 0.77a	71.71 $\pm$ 1.23a	25.54 $\pm$ 0.87a	87.04 $\pm$ 0.12a	3	1	1.11 $\pm$ 0.07a	7.89 $\pm$ 0.10a
90-10	47.56 $\pm$ 0.40a	8.91 $\pm$ 0.003a	36.33 $\pm$ 0.25a	70.93 $\pm$ 0.97a	25.41 $\pm$ 0.46a	87.62 $\pm$ 0.69a	3	1	1.13 $\pm$ 0.04a	7.92 $\pm$ 0.11a
85-15	47.49 $\pm$ 0.24a	8.92 $\pm$ 0.003a	34.55 $\pm$ 0.12a	71.21 $\pm$ 0.41a	25.19 $\pm$ 0.16a	87.17 $\pm$ 0.47a	3	1	1.13 $\pm$ 0.08a	7.91 $\pm$ 0.13a
80-20	47.11 $\pm$ 0.34a	8.91 $\pm$ 0.005a	34.38 $\pm$ 0.27a	70.34 $\pm$ 0.85a	25.16 $\pm$ 0.43a	87.21 $\pm$ 0.97a	3	1	1.10 $\pm$ 0.03a	7.86 $\pm$ 0.09a
75-25	47.50 $\pm$ 0.25a	8.90 $\pm$ 0.005a	34.63 $\pm$ 0.38a	71.04 $\pm$ 1.43a	24.91 $\pm$ 1.62a	87.18 $\pm$ 0.19a	3	1	1.16 $\pm$ 0.05a	7.92 $\pm$ 0.11a

Mean of three replicates $\pm$ standard error. Mean values with same letter in the same column are not significantly different (Dunnett > 0.05).

Tortilla puffing: 1= little or no puffing (0-25%), 2= medium puffing (25-75%), and 3= complete puffing (75-100%).

Tortilla rollability: 1= tortillas with no breaking; 2= a partial breaking at the center and edges of the tortilla, and 3= completely flattened tortillas.

Tensile strength and cutting force in Newtons (N).

(5 μ m, 3.9 $\times$ 150mm). Amino acid analysis was conducted in triplicate for each sample.

Trypsin inhibitor, phytic acid and tannins

Trypsin inhibitor activity was determined using the method of Kadake *et al.* (1974), from the decrease in the rate in which trypsin hydrolyzes BAPNA (N-alpha-benzoyl-DL-arginine p-nitroanilide). Briefly, the ground (60 mesh) and defatted samples were stirred in 0.01N NaOH for 1h, and aliquots were used for the analysis. Trypsin inhibitor activity was expressed as trypsin units inhibited, one trypsin unit being arbitrarily defined as an increase of 0.01 absorbance unit at 410nm $\cdot$ ml $^{-1}$ of the reaction mixture under the described conditions. Phytic acid was extracted in 0.5M nitric acid by shaking at room temperature for 3h and determined spectrophotometrically at 512nm, as described by Davies and Reid (1979). Tannin content was also estimated with a spectrophotometer (Beckman Coulter, DU-530) at 760nm, using the Folin-Denis reagent after extraction with 1% hydrochloric acid in methanol (method 952.03; AOAC, 2000).

Statistical analysis

The experiment was conducted as a completely randomized design. The experimental conditions were carried out with three repli-

cates. Data was assessed by analysis of variance (ANOVA), and comparisons of means were performed according to the Dunnett test using SAS (1998). A significance of $\alpha = 0.05$ was used to distinguish significant differences between treatments.

Results and Discussion

Table I shows some physicochemical and textural properties of tortillas obtained through the traditional nixtamalization process. No statistical differences were observed in those properties in tortillas prepared with the maize-bean blends. Moisture content (MC) ranged from 47.11 to 48.16%, and the pH values from 8.90 to 8.97. These values are similar to those reported by other researchers (Saldana and Brown, 1984; Serna-Saldívar *et al.*, 1988b; Méndez-Albores *et al.*, 2004a, b). In nixtamalized products, the lime concentration represents an important factor in color, odor, flavor, shelf life and texture characteristics; when the lime content is not sufficient to give the characteristic alkaline flavor, the tortillas are rejected by consumers. Likewise, if this compound is in excess, tortillas become astringent and are also rejected. However, with some maize genotypes, a high concentration of lime could be used (3% wt/wt), which leads to a yellowish end-product and also extends the shelf-life of the tortillas.

The tortilla color was not affected by the addition of bean to the maize (Table I). All treatments had the same lime concentration of 1.5% (wt/wt), and consequently the tortillas presented a yellowish color, as shown by the ΔE values near 35. Moreover, the inclusion of different ratios of white bean did not significantly affect the L, chroma and hue in tortillas as shown in Table I. Changes in the color of tortillas were directly attributed to the amount of lime retained during the cooking and washing of the nixtamal. Lime content affects the tortilla color even when tortillas are produced from white maize grains, and the color intensity is closely related to carotenoid pigments, flavonoids, and pH. However, the development of color during the alkaline cooking is more complex, considering that the calcium hydroxide reacts with the different pigments found in the maize grain and interferes with browning reactions such as caramelization and Maillard reactions (Gómez *et al.*, 1987).

Table I also shows some quality and textural properties of tortillas. Tortilla puffing was not significantly affected. All tortillas evaluated presented a value of 3, which indicates complete puffing (75-100%). A good puffing is obtained when two layers are formed in the tortilla; these layers, produced during the cooking process, are impermeable, retaining the steam

that gives rise to the puffing during heating. Moreover, all tortillas evaluated presented a good rollability, with a value close to 1, defined as no breaking; therefore, tortillas were also considered within the acceptable margins of quality, presenting a soft texture and rolled without breaking.

As to the texture, tortillas made with maize presented tensile strength values (measured in Newtons) of 1.11N; and no significant differences were observed between control tortillas and tortillas prepared with the maize-bean blends. Also, regarding the cutting force, no significant differences were observed, the average values were 7.9N for tortillas made with the blends as well as for tortillas made with maize alone. These texture values are similar to those reported in tortillas produced with high moisture content in stored maize grain (Méndez-Albores *et al.*, 2003). In general, tortillas prepared from maize alone or from blends were stretchable, elastic, and resistant to tearing and cracking. However, a shelf-life study is needed to determine if storage time causes changes in tortilla texture (tensile strength or cutting force).

Protein content was reduced after the nixtamalization process. Protein content in raw maize was 94.80g $\cdot$ kg $^{-1}$ db (dry basis), and when nixtamalized, protein was reduced to 91.53g $\cdot$ kg $^{-1}$ db (Table II). This reduction of 3.5% is consistent



TABLE II
PROTEIN CONTENT AND QUALITY OF RAW GRAINS AND TORTILLAS MADE WITH MAIZE-BEAN BLENDS

Component	FAO requirement	Raw grains		Maize-bean ratios					
		Maize	Bean	100-0	95-5	90-10	85-15	80-20	75-25
Protein		94.80 ±1.17	210.40 ±6.64	91.53 ±0.29a	97.13 ±1.33b	100.53 ±0.46c	105.60 ±2.08d	110.27 ±0.92e	114.8 ±1.38f
Lysine	54.4	33.89 ±0.57	67.91 ±1.16	30.63 ±1.62a	36.98 ±0.25b	39.93 ±1.21c	43.33 ±0.65d	46.87 ±1.01e	51.84 ±0.46f
Tryptophan	9.6	7.28 ±0.11	32.90 ±1.89	3.45 ±0.27a	4.26 ±0.09b	4.3 ±10.18b	5.67 ±0.07c	6.90 ±0.06d	8.04 ±0.01e

Mean of three replicates + standard error. Mean values with same letter in the same row are not significantly different (Dunnett>0.05). Protein content in g/kg⁻¹ (dry basis). Amino acids are expressed in g/kg of protein.

with previous reports, which indicate that protein is lost during tortilla elaboration (Bressani, 1990; Milan-Carrillo *et al.*, 2004). Regarding the amino acid content, lysine and tryptophan were also reduced in maize tortillas in 9.62 and 52.61%, respectively (Table II). Mora-Avilés *et al.* (2007) reported that lysine and tryptophan content in

quality protein maize (QPM) were reduced in 8% after lime treatment, while in regular maize they were reduced 25 and 15%, respectively. Rojas-Molina *et al.* (2008) reported reductions of 36 and 32% in the total lysine and reactive lysine, as well as 38.7% for tryptophan content during traditional nixtamalization of QPM (H-368C). These differences in amino acid reductions are attributable to the conditions used during the nixtamalization process, such as lime concentration, temperature, cooking and steeping time (Bressani, 1990; Serna-Saldivar *et al.*, 1990). Also, the protein solubility distribution and the essential amino acids location could partially explain the protein quality changes observed during nixtamalization (Rojas-Molina *et al.*, 2008). On the contrary, the quantity and quality of the protein in tortillas prepared with maize-bean blends evidently increase (Table II).

Tryptophan, an amino acid highly sensitive to the thermal-alkaline treatment, can be considered the first limiting amino acid of maize nixtamalized

TABLE III
ANTI-NUTRITIONAL FACTORS IN TORTILLAS MADE WITH MAIZE-BEAN BLENDS

Treatments	Trypsin inhibitor ^a	Phytic acid (%)	Tannins (%)
Maize	1.0 ±0.39	2.1 ±0.08	0.20 ±0.02
Bean	13.6 ±1.14	2.4 ±0.02	0.25 ±0.01
100-0	N.D.	0.8 ±0.02a	0.07 ±0.01a
95-5	N.D.	0.9 ±0.04a	0.07 ±0.01a
90-10	N.D.	0.9 ±0.06a	0.08 ±0.02a
85-15	N.D.	1.0 ±0.05a	0.08 ±0.01a
80-20	0.6 ±0.13a	1.1 ±0.07a	0.08 ±0.01a
75-25	1.4 ±0.19b	1.1 ±0.07a	0.09 ±0.01a

Mean of three replicates ±standard error. Mean values with same letter in the same column are not significantly different (Dunnett>0.05).

^aTrypsin inhibitor unit/mg sample.

N.D.: Not detectable (below detection limit).

tortillas (3.45g/kg⁻¹ protein), the second limiting amino acid being lysine (30.63g/kg⁻¹ protein), covering 36 and 56% of the FAO/WHO requirements (FAO/WHO/UNU, 1985). However, as a result of the inclusion of the bean, there were significant increases in tryptophan and lysine content in maize-bean tortillas. As expected, as the bean content increased, higher levels of those amino acids were registered, without affecting the physicochemical or textural properties of tortillas (Table II). Tortillas produced with the blend 75:25 presented 51.84 and 8.04g/kg⁻¹ protein of lysine and tryptophan, respectively, which represents 95 and 84% of FAO profile.

Table III summarizes the anti-nutritional factors found in raw maize, raw bean, and tortillas elaborated with the maize-bean blends. As expected, raw bean had the highest trypsin inhibitor activity, presenting a value of 13.6 units/mg sample, as well as phytic acid (2.4%) and tannin content (0.25%). Reductions on these anti-nutritional factors were observed, to various extents,

depending on the maize-bean ratio processed. About 90-96% trypsin inhibitor, 46-54% phytic acid, and 16-20% tannin content were reduced upon nixtamalization. These results are consistent with the findings of other studies that reported a reduction in tannins and other antinutrients upon cooking legumes (Sharma and Sehgal, 1992; Singh, 1993; Rehman and Shah, 2005; Siddhuraju and Becker, 2005). In general, the decrease in the levels of these antinutrients, particularly of trypsin inhibitor, might also be due to thermal degradation and denaturation, as well as to the formation of insoluble complexes (Kataria *et al.*, 1989; Siddhuraju and Becker, 2001).

A major challenge for many Latin American countries is to ensure that sectors of society that consume tortillas as a principal energy and protein source improve their diet quality. Consequently, in countries where white common bean is available, its use is recommended during the nixtamalization process for up to 25% for tortilla enrichment.

Conclusion

After processing maize-bean blends with the traditional nixtamalization process, an important improvement in protein, lysine and tryptophan contents in tortillas were observed. Up to 25% bean incorporation did not affect the physicochemical and textural properties of the tortillas. Consequently, as an alternative to solving the problem of low protein quantity/quality of cereal-based foods caused by the high starch content of cereals, white bean fortification is suggested, without modifications in the processing condition or equipment during tortilla elaboration.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank V. Jiménez-Vera for her technical assistance, and UNAM for the financial support for this research through the PACIVE Grant no. GC-12.

REFERENCES

- AACC (2000) *Approved Methods*. 10th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- AOAC (2000) *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- Bressani R (1990) Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Rev. Int.* 6: 225-264.
- Bressani R, Braham JE, Elías LG, Rubio M (1979) Further studies on the enrichment of lime treated corn with whole soybean. *J. Food Sci.* 44: 1707-1710.
- Davies NT, Reid H (1979) An evaluation of the phytate, zinc, cop-



- per, iron and manganese content of, and Zn availability from, soya-based textured-vegetable-protein meat-substitute or meat-extenders. *Br. J. Nutr.* 41: 579-589.
- FAO/WHO/UNU (1985) *Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*. WHO Technical Report Series N° 724. Geneva, Switzerland. 206 pp.
- Figueroa-Cárdenas JD, Acero-Godínez MG, Vasco-Méndez NL, Lozano-Guzmán A, Flores-Acosta LM, González-Hernández J (2001) Fortification and evaluation of the nixtamal tortillas. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51: 293-302.
- Franze K (1975) Tortillas fortified with whole soybeans prepared by different methods. *J. Food Sci.* 40: 1275-1277.
- Gómez MH, Rooney LW, Waniska RD, Pflugfelder RL (1987) Dry maize masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World* 32: 372.
- González-Agramón MM, Serna-Saldívar SO (1988) Effect of defatted soybean meal and soybean isolate on the nutritional, physical, chemical and organoleptic properties of wheat flour tortillas. *J. Food Sci.* 53: 793-797.
- Kadake ML, Rackis JJ, McGhee JE, Puski G (1974) Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51: 376-381.
- Kataria A, Chauhan BM, Punia D (1989) Antinutrients and protein digestibility (*in vitro*) of mung bean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chem* 32: 9-17.
- López-Mejía OA, Hernández-Becerra JA, Cárdenas-Cagal A, Beristain-Guevara CI, García-Galindo HS (1997) Sensory evaluation of maize tortillas supplemented with lysine and tryptophan. *Food Sci. Tech. Int* 3: 175-179.
- Mc Pherson CM, Ou SL (1976) Evaluation of corn tortillas supplemented with cottonseed flour. *J. Food Sci.* 41: 1301-1303.
- Méndez-Albore JA, Arámbula VG, Vázquez BME, Mendoza EM, Preciado ORE, Moreno-Martínez E (2003) Effect of high moisture maize storage on tortilla quality. *J. Food Sci.* 68: 1878-1881.
- Méndez-Albore JA, Villa GA, Del Río-García JC, Martínez EM (2004a) Aflatoxin-detoxification achieved with Mexican Traditional Nixtamalization Process (MTNP) is reversible. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1611-1614.
- Méndez-Albore JA, Arámbula-Villa G, Loarca-Piña MG, González-Hernández J, Castaño-Tostado E, Moreno-Martínez E (2004b) Aflatoxin's fate during the nixtamalization of contaminated maize by two tortilla-making processes. *J. Stor. Prod. Res.* 40: 87-94.
- Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C (2004) Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L.) optimization of alkaline processing. *Plant Foods Hum. Nutr.* 59: 35-44.
- Mora-Avilés A, Lemus-Flores B, Miranda-López R, Hernández-López D, Pons-Hernández JL, Acosta-Gallegos JA, Guzmán-Maldonado SH (2007) Effects of common bean enrichment on nutritional quality of tortillas produced from nixtamalized regular and quality protein maize flours. *J. Sci. Food Agric.* 87: 880-886.
- Pérez P, Esquivel G, Rosales R, Acosta-Gallegos J (2002) Caracterización física, culinaria y nutricional del frijol del altiplano subhúmedo de México. *Arch. Latinoam. Nutr.* 52: 172-180.
- Rehman Z, Shah WH (2005) Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chem.* 91: 327-331.
- Rojas-Molina I, Gutiérrez E, Cortés-Acevedo ME, Falcón A, Bresnani R, Rojas A, Ibarra C, Pons-Hernández JL, Guzmán-Maldonado SH, Cornejo-Villagas A, Rodríguez ME (2008) Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chem.* 85:409-416.
- Rosado JL, Díaz M, Rosas A, Griffith I, García O (2005) Calcium absorption from corn tortilla is relatively high and is dependent upon calcium content and liming in Mexican women. *J. Nutr.* 135: 2578-2581.
- Saldana G, Brown EH (1984) Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J. Food Sci.* 9: 1202-1224.
- SAS (1998) *Statistical Analysis System. Introductory Guide for Personal Computers*. Ver 6.12 ed. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Serna-Saldívar S, Téllez-Girón A, Rooney LW (1988a) Production of tortilla chips from sorghum and maize. *J. Cereal Sci.* 8: 275-284.
- Serna-Saldívar SO, Knabe DA, Rooney LW, Tanksley TD, Sproule A (1988b) Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J. Cereal Sci.* 7: 83-94.
- Serna-Saldívar SO, Gómez MH, Rooney LW (1990) Technology, chemistry and nutritional value of alkaline cooked corn products. In Pomeranz Y (Ed.) *Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. X. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA. pp. 243-307.
- Sharma A, Sehgal S (1992) Effect of domestic processing, cooking and germination on the trypsin inhibitor and tannin content of faba bean (*Vicia faba*). *Plant Foods Hum. Nutr.* 42: 127-133.
- Siddhuraju P, Becker K (2001) Preliminary nutritional evaluation of Mucuna seed meal (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) in common carp (*Cyprinus carpio* L.): an assessment by growth performance and feed utilization. *Aquaculture* 196: 105-123.
- Siddhuraju P, Becker K (2005) Nutritional and antinutritional composition, *in vitro* amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): an underutilised legume. *Food Chem.* 91: 275-286.
- Singh U (1993) Protein quality of pigeon pea as influenced by seed polyphenols and cooking process. *Plant Foods Hum. Nutr.* 43: 171-179.
- Waliszewski KN, Estrada Y, Pardio VT (2000) Lysine and tryptophan fortification of nixtamalized corn flour. *Int. J. Food Sci. Tech.* 35: 523-527.
- Waliszewski KN, Pardio VT, Carrreón E (2002) Physicochemical and sensory properties of corn tortillas made from nixtamalized corn flour fortified with spent soymilk residue (okara). *J. Food Sci.* 67: 3194-3197.
- Wang YYD, Fields ML (1978) Enrichment of home-prepared tortillas made from germinated corn. *J. Food Sci.* 43: 1630-1631.