

52



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION BIOLOGICA DE MASAS DE MAIZ TRATADOS POR DIFERENTES PROCESOS

T E S I S

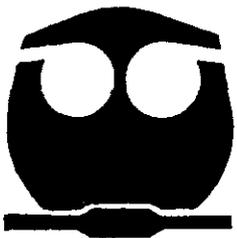
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A :

GABRIELA NIETO VELAZQUEZ

2047



MEXICO, D. F.

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Prof. Olga Velázquez Madrazo

Vocal: Prof. Zoila Nieto Villalobos

Secretario: Prof. Lucía Cornejo Barrera

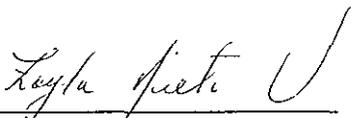
1er. Suplente: Prof. Leticia Gil Vieyra

2o. Suplente: Prof. Alfredo Salazar Zazueta

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

UNAM, Facultad de Química, Departamento de Alimentos y Biotecnología,  
Edif. A, Laboratorios 4-A, 4-B y Bioterio.

ASESOR DEL TEMA:

  
M. en C. Zoila Nieto Villalobos

SUSTENTANTE:

  
Gabriela Nieto Velázquez

## DEDICATORIAS

A mi mamá y mi papá por ser el ejemplo a seguir, por el cariño y la educación brindada en todos los sentidos. Por el apoyo y la confianza que siempre me han tenido, y porque gracias a ellos estoy aquí ahora.

A Jesús por ser el primer ejemplo y el primer mejor amigo, por su apoyo, consejos y enseñanzas, y por tantos momentos juntos.

A Flor por toda una vida compartida, por las experiencias tan buenas que pasamos juntas y las malas también.

A Paco y Pepe, esperando que este trabajo y lo que representa, sea un estímulo en sus vidas.

A Jorge, por estar siempre conmigo apoyándome en todo momento, por su confianza, paciencia y comprensión. Por todo lo aprendido juntos, por ser el amor y enseñarme lo mejor de la vida.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, hermanos, a Jorge y a toda mi familia, por todo el amor recibido y porque gracias a todos ustedes soy lo que soy.

A todos mis amigos, que hicieron de esta etapa algo inolvidable. Por su ayuda en los malos momentos y su compañía en los buenos; y porque de cada uno de ustedes he aprendido algo. En especial a Alicia, Gaby A., Oscar, Marcos y Omar por su cooperación en la realización de este trabajo.

A Agustín Reyó por todos sus consejos, las aportaciones a este trabajo, y por ser más que un maestro, un amigo.

A la M. en C. Zoila Nieto Villalobos por la oportunidad de trabajar en este tema y la confianza depositada en mí para llevarlo a cabo.

Al H. jurado por sus comentarios que enriquecieron enormemente este trabajo.

## INDICE

1. Introducción	2
Objetivo	4
Hipótesis	4
2. Antecedentes	5
2.1 Clasificación del maíz de acuerdo a estructura	5
2.2 Composición Físico-Química	7
2.3 Procesos a los que se somete el maíz	
2.3.1 Nixtamalización	19
2.3.2 Extrusión	25
2.3.3 Reventado del Maíz	28
2.3.4 Micronización	28
2.4 Calidad Proteínica	31
2.5 Pruebas Biológicas	33
3. Material y Métodos	35
3.1 Caracterización física de los granos de maíz	36
3.2 Caracterización química de los granos de maíz	37
3.3 Tratamientos	37
3.4 Preparación de las dietas	40
3.5 Evaluación Biológica	45
4. Resultados y Discusión	47
5. Conclusiones y Recomendaciones	56
6. Bibliografía	58

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura fue la base económica y social de los primeros pobladores del continente americano, cuando pasaron de nómadas a sedentarios. El maíz fue el principal cultivo de las culturas prehispánicas de América (Enciclopedia de México, 1978).

El maíz (*Zea mays*) es el cereal de mayor consumo en los países en vías de desarrollo. Es ampliamente cultivado y tiene un elevado contenido energético (449 Kcal/100 g) aportando así, un porcentaje considerable de calorías en la dieta del mexicano. En México, su consumo per cápita ( $\hat{k}$ ) se calcula en 300 g/día que aportan el 56% de las calorías y el 47% de las proteínas de la alimentación del mexicano. Se estima que el maíz cubre el 51% del área total cultivada (Floyd, C.D., 1995).

En el país se consume una gran variedad de productos a base del maíz como son: tamales, atole, gorditas, tlacoyos, frituras, pan de maíz, fermentados alcohólicos como el teshuino y no alcohólicos como el pozol. Sin embargo, la forma más generalizada de su consumo es la tortilla, la cual se elabora por el método tradicional de Nixtamalización (Enciclopedia de México, 1978).

Dentro de esta variedad de productos no se puede dejar de mencionar a las palomitas de maíz, la botana original, que se ha utilizado durante siglos. Además de ser la botana de cereal más antiguo, no admite competencia con muchos artículos posteriores que se desarrollaron para este fin (Hoseney, 1991).

El maíz es considerado únicamente como una fuente de calorías, debido a su elevado contenido de almidón. Por su alto consumo, se ha considerado al maíz como una fuente potencial de proteínas, no obstante que el contenido medio de éstas en el maíz sea del 10%, y que sean consideradas de baja calidad si se comparan con proteínas de otros alimentos como las del huevo y la leche. Lo anterior se debe al contenido de aminoácidos indispensables de sus proteínas, en especial la proteína principal, la zeína, que contiene bajas cantidades de los aminoácidos indispensables lisina y triptófano y alta cantidad de leucina (Alarcón, 1985). Por tal motivo, es común formular alimentos con las leguminosas, ya que al tener alto contenido de esos aminoácidos, al combinarse con el maíz se complementan y proporcionan una mezcla de aminoácidos adecuada para una buena nutrición (Abascal, 1997; Bressani, et al. 1963, 1968 y 1972; Mc Pherson y Ou, 1976).

Aunado a la marcada deficiencia de lisina y triptófano, el maíz contiene una alta cantidad de leucina; el problema de este exceso se acentúa debido a la desproporcionada relación de leucina/ isoleucina (Gopalan y Kamala, 1975).

Mertz y Bressani (1958) han estudiado ampliamente la composición de las proteínas en el maíz, las cuales difieren ampliamente de una variedad a otra. Estas diferencias tienden a ser mayores entre variedades que genéticamente se encuentran más alejadas.

Se ha reportado la composición química de distintas variedades de maíz como el maíz dentado, cristalino y harinoso encontrándose muy similares; pero otros tipos de maíz varían considerablemente; el maíz dulce es relativamente alto en aceite, mientras que el maíz palomero es rico en contenido de fibra cruda (Salunkhe, et al. 1985). En experimentos llevados a cabo por Bressani y col. (1958), se ha demostrado que el maíz tiene un valor nutritivo muy bajo, como consecuencia de su deficiencia en lisina y triptófano (Alarcón, 1985).

También se han realizado estudios sobre la calidad biológica del maíz nixtamalizado, pero hay pocos datos en la literatura que comparen la calidad biológica de una misma variedad sometida a los diversos procesos que existen como: *nixtamalización tradicional*, *nixtamalización industrial* (proceso MINSA), maíz cocido, maíz crudo, maíz reventado. Es por ello que en el presente trabajo se realizará una prueba biológica al maíz no solo nixtamalizado, sino que también cocido y sin tratamiento. De igual forma se desarrolló la prueba con maíz palomero crudo y reventado (palomitas), del cual no se encuentran datos recientes de estudios realizados.

## OBJETIVO

- \* Determinar por medio de pruebas biológicas, la calidad de las proteínas de maíces sometidos a diferentes procesos.

- \* Establecer si existe diferencia significativa entre la calidad biológica del maíz bajo diferentes procesos.

## HIPÓTESIS

Las proteínas del maíz y demás nutrimentos, sufrirán cambios después de ser expuestas a los tres diferentes tratamientos térmicos. De éste modo, la calidad biológica del maíz se modificará al ser sometido a dichos procesos.

## 2. ANTECEDENTES

El maíz es una de las pocas plantas de importancia económica originarias de América. La historia registrada del maíz se limita a los años posteriores al descubrimiento de América. Los maíces: dentado, harinoso, dulce, duro y palomero se cultivaban en América mucho antes de la llegada de los europeos, y ahora se han extendido a todas las partes del mundo (Jugenheimer, 1988).

El maíz es una planta que pertenece a la subfamilia *Maydeae*, de la familia *Gramineae*. Se considera que el maíz se originó a través de mutaciones por un ancestro ahora extinto, que también dió lugar al teozintle (*Euchlaena mexicana*) y al género *tripsacum*. Ambos pertenecen a la familia de las gramíneas (Jugenheimer, 1988).

2.1 Desde el punto de vista estructural, el maíz se divide en variedades botánicas, como se menciona a continuación:

Maíz dentado: *Zea mayz indentata*

Tiene una cantidad variable de endospermo córneo que es duro y de endospermo harinoso que es suave. La parte córnea está a los lados y detrás del grano, mientras que la porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano. Se caracteriza por una depresión o "diente" en la corona del grano, que se origina por la contracción del endospermo harinoso a medida que el grano va secándose. Se usa principalmente como alimento animal, materia prima industrial y para la alimentación humana.

**Maíz cristalino: *Zea mayz indurata***

Contiene una gruesa capa de endospermo cristalino, que cubre un pequeño centro harinoso. Generalmente el grano es liso y redondo. Se siembra ampliamente en Argentina, en otras áreas de Latinoamérica y al sur de Europa, donde se usa como alimento animal y humano.

**Maíz harinoso: *Zea mayz amiláceo***

Se caracteriza por un endospermo harinoso, sin endospermo cristalino. Es muy común en la región andina del sur de América. En México este tipo de maíz se usa para hacer pozole.

**Maíz dulce: *Zea mayz saccharata***

En este tipo de maíz, la conversión del azúcar en almidón es retardada durante el desarrollo del endospermo. En Estados Unidos se consume en estado lechoso-masoso, como vegetal enlatado o para consumo fresco.

**Maíz palomero: *Zea mayz everta***

Es una de las razas más primitivas y es una forma extrema de maíz cristalino. Se caracteriza por un endospermo cristalino muy duro, que solamente tiene una pequeña porción de endospermo harinoso. Sus granos son redondos como perlas, o puntiagudos como el arroz. Se emplea principalmente para consumo humano en la forma de palomitas, dada su característica de expansión al someterse al calor.

La capacidad de reventar parece estar condicionada por la proporción relativa de endospermo córneo, en el que los gránulos de almidón están incrustados en un material coloidal tenaz y elástico que resiste la presión de vapor generada dentro del grano al calentarse, hasta que alcanza una fuerza explosiva que lo hace aumentar su volumen original unas 30 veces.

Maíz tunicado: *Zea mayz tunicata*

Se caracteriza porque cada grano está encerrado en una vaina o túnica. La mazorca está cubierta con "espatas" (hojas) como los otros tipos de maíz. Se usa como ornamento o en programas de fitomejoramiento.

## 2.2 Composición Físico-Química

El grano de maíz maduro tiene un peso promedio de 350 mg y su composición física y química se muestra en las tablas 1 y 2.

**Endospermo.** El endospermo constituye del 82 al 84% del grano en base seca y está compuesto en un 86-89% por almidón. Está formado por células elongadas empacadas por gránulos de almidón embebidos en una continua matriz proteínica (González, 1995). Está compuesto por dos regiones bien definidas:

- **Endospermo harinoso.** De consistencia suave y de apariencia opaca. Se caracteriza por células longitudinales, gránulos de almidón largos y redondos, arreglados holgadamente con una delgada matriz proteínica, que se rompe durante el secado y forma espacios vacíos; representa el 34% del peso del endospermo.

- Endospermo córneo. De consistencia dura y de apariencia translúcida. Se caracteriza porque sus granos de almidón están incrustados en forma compacta en una gruesa matriz proteínica, lo que origina que estos granos formen superficies angulares características de este arreglo. La matriz proteínica no sufre ruptura durante el secado, representa el 66% del peso del endospermo y su contenido de proteínas es de 1.5 a 2% más que el endospermo harinoso. La relación endospermo córneo-harinoso varía considerablemente (Inglett, 1970).

Tabla 1

Componentes del grano de maíz

Parámetro	Porcentaje en peso seco	
	Rango	Promedio
Endospermo	80.3-83.5	82.3
Germen	10.5-13.1	11.5
Pericarpio	4.4- 6.2	5.3
Pedicelo	0.8- 1.1	0.8

Fuente: Inglett, 1970.

Tabla 2

## Composición química del grano de maíz y de sus componentes

(g/100 g en base seca)

Componentes químicos	Grano entero	Componentes físicos del grano del maíz			
		Endospermo	Germen	Pericarpio	Pedicelo
Almidón	72.4	86.6	8.3	7.3	5.3
Grasa	4.7	0.86	84.4	0.98	3.8
Proteínas	9.6	12.6	18.5	4.5	9.7
Cenizas	1.43	0.31	83.5	0.67	1.7
Azúcar	1.94	0.61	65.3	0.34	1.5
Fibra	2.66	---	---	95	---
Carotenoides (mg/Kg)	30	97	2	1	---

Fuente: Watson 1987.

El almidón del maíz dentado está compuesto por dos tipos de moléculas: una lineal llamada amilosa que representa 27% del almidón, y otra ramificada denominada amilopectina que representa el restante 73%. Sin embargo, existen maíces con diferentes proporciones de amilosa y amilopectina.

La capa más externa del endospermo es la aleurona, formada por una sencilla capa de células de diferente forma. Esta capa cubre el endospermo y el germen. Las células de la aleurona son de apariencia granular, contienen gránulos de proteína y no tienen almidón, son ricas en minerales y proteína de alta calidad, pero probablemente no disponible nutricionalmente para las enzimas digestivas (Watson, 1987).

En la parte periférica del endospermo, debajo de la capa de aleurona, se encuentra una capa densa de células que contienen aproximadamente 28% de proteínas. Estas pequeñas células poseen granos de almidón muy pequeños y una gruesa matriz proteínica. Esta región se conoce como subaleurona.

**Germen.** Se origina por la fusión de un núcleo del grano de polen y un núcleo del saco embrionario. Representa en promedio el 11.5 % del peso seco del grano y está compuesto por las siguientes partes:

a) El *axis embrionario*. Es el 10% del germen y es una estructura que desarrollará la pequeña plantita durante la germinación.

b) El *escutelo*. Comprende el 90% restante y almacena los nutrientes que se movilizarán rápidamente durante la germinación. La superficie del escutelo en contacto con el endospermo está cubierta de un epitelio secretor, que es una capa profunda surcada por canales o glándulas lineales con células secretoras elongadas cuya función es secretar enzimas amilolíticas (alfa-amilasa), que se difunden dentro del endospermo donde digieren el almidón y otros constituyentes, para proveer de *nutrimentos al embrión*. El escutelo está formado por células parenquimales que contienen un núcleo, citoplasma denso y unos objetos claros que contienen aceite líquido. Estos objetos son organelos específicos conocidos como cuerpos oleosos o esferosomas y son encontrados en todas las oleaginosas. Contienen enzimas hidrolíticas, así como las enzimas necesarias para la síntesis de lípidos. Las paredes celulares del escutelo están compuestas básicamente por hemicelulosa (González, 1995).

El germen contiene 84.3% de las grasas (de éstas el 98% está en forma de triglicéridos), 83.5% de las cenizas, 65.3% de los hidratos de carbono simples y 22.2% de las proteínas contenidas en el grano de maíz.

**Pericarpio** Es la estructura más externa del grano de maíz. Es una cubierta compuesta por una capa externa de células muertas, huecas, elongadas y empaquetadas dentro de un tejido muy denso. Se adhiere fuertemente a la superficie exterior de la aleurona y se cree que imparte propiedades semipermeables al grano de maíz. Debajo de esta capa se encuentra un tejido esponjoso de células cruzadas y tubulares, unidas o conectadas con la punta y cuya función es absorber agua. Inmediatamente debajo se encuentra una delgada membrana conocida como testa, y debajo de ella se encuentra la aleurona que representa aproximadamente 3% del peso del grano y morfológicamente es parte del endospermo. El pericarpio está formado por aproximadamente 20% de celulosa y 75% de hemicelulosa (pentosanas) (González, 1995).

**Pedicelo.** Es lo que sobra del órgano de adhesión del grano de maíz con el olote (tusa). Está compuesto de células en forma de estrellas, arregladas en una estructura esponjosa bien adaptada para una rápida absorción de humedad. Entre el pedicelo y la base del germen hay un tejido negro conocido como capa hilar, que aparentemente funciona como un mecanismo de sellado cuando el grano llega a su madurez fisiológica (Inglett, 1970).

### **Proteínas.**

Las proteínas del maíz son una mezcla de varios tipos de proteínas solubles: albúminas solubles en agua, globulinas solubles en solución salina o ácida, zeína soluble en etanol y glutelina soluble en solución alcalina; e insolubles. Su distribución en los componentes del grano se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3

Distribución de las proteínas en el grano de maíz.

Parte del grano	% del grano (B.s.)*	% total de proteína (B.s.)*	Distribución de las proteínas			
			Globulinas	Zeína	Glutelinas	Insolubles
Germen	11	18.4	37	5	51	7
Endospermo	82	12.0	20	52	17	11
Pericarpio	7	4.2	---	---	---	---
Grano entero	100	11.4	25	48	25	2

\* (B.s) = Base seca. Fuente: Watson 1987.

Tabla 4

Cantidad relativa de proteínas en el endospermo

Proteínas	Porcentaje en el endospermo
Zeína	47.2
Glutelinas	35.1
Albúminas	3.2
Globulinas	1.5

Fuente Inglett 1970.

La proteína más abundante en los granos de maíz es la zeína (constituye el 50% de las proteínas), sin embargo la baja cantidad de aminoácidos esenciales limita su consumo como fuente de proteínas de elevada calidad (Watson, 1987). En la Tabla 5 se muestra el contenido de aminoácidos en diferentes fracciones del maíz.

Tabla 5

Contenido de aminoácidos indispensables (g/100 g de proteína)

Aminoácido	Patrón FAO*	Otras Proteínas <sup>a</sup>	Zeína	Proteínas del Germen
Lisina	4.3	4.7	0.1	4.6
Treonina	3.9	4.9	3.0	4.4
Valina	4.2	7.1	3.6	6.6
Cisteína+Metionina	3.0	4.5	1.9	3.2
Isoleucina	3.5	4.0	3.8	3.2
Leucina	6.2	9.0	18.7	7.7
Fenilalanina+Tirosina	4.0	6.2	8.7	5.6
Triptofano	0.5	0.6	0	1.0
Total	29.6	41.0	39.8	36.3

\* 1973. <sup>a</sup> albúminas, globulinas y glutelinas

Fuente: Watson, 1987

La separación clásica de las proteínas en sus diferentes fracciones, está basada en su solubilidad. La zeína y la globulina son proteínas simples. La zeína se obtiene industrialmente por extracción del endospermo con alcohol isopropílico al 70%, con un rendimiento del 2% en base seca del maíz. La globulina tiene varios componentes, muchos de los cuales son enzimas (González, 1995).

## Lípidos

Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias que tienen en común su solubilidad en disolventes orgánicos. Se dividen en dos grandes grupos: acilglicéridos y lípidos insaponificables. Los acilglicéridos contienen ésteres de ácidos grasos y son hidrolizados en álcali. Los lípidos insaponificables son aquellos extraídos con disolventes orgánicos después de la saponificación, e incluyen hidrocarburos, esteroides, carotenoides y tocoferoles. Los triglicéridos constituyen la mayor fracción (98.8%) del aceite de maíz refinado comercial y son los lípidos de reserva predominantes en el grano de maíz (85% del total de lípidos. Están presentes en el germen). El restante 15% son: fosfolípidos, glucolípidos, esteroides, ácidos grasos libres, carotenoides, tocoferoles y ceras (González, 1995, Watson, 1987).

El aceite de maíz contiene tanto ácidos grasos saturados como ácidos grasos insaturados. Son saturados los ácidos mirístico (14:0), palmítico (16:0) y esteárico (18:0), y como insaturados cuenta con los ácidos palmitoleico (16:1), oleico (18:1) y linoleico (18:2), siendo éste último el más importante por ser un ácido graso indispensable (Tablas 6 y 7). Aunque el aceite de maíz es altamente poliinsaturado, es estable porque contiene elevadas cantidades de antioxidantes naturales.

Tabla 6

Principales ácidos grasos presentes en el maíz.

	Acidos saturados (%)			Acidos insaturados (%)			
	C14	C16	C18	C16-	> C18	C18-	C18=
Maiz	0 a 2	8 a 10	1 a 4	1 a 2	0 a 2	30 a 50	34 a 56

Fuente. Morrison (1985).

Tabla 7

## Acidos grasos componentes del aceite de maíz refinado

Nombre	Ac. Grasos (No. átomos de carbono)	No. de dobles enlaces	g / 100 g
Linoleico	18	2	61.9
Oleico	18	1	24.1
Palmítico	16	0	11.1
Esteárico	18	0	2.0
Linolénico	18	3	0.7
Araquidónico	20	4	0.2
Mirístico	14	0	0.2
Láurico	12	0	0.1

Fuente: Watson, 1987.

Los lípidos del maíz se encuentran casi exclusivamente en las células de la porción del escutelo del germen. Específicamente, el aceite se deposita en unas gotas microscópicas conocidas como cuerpos oleosos. Estas estructuras se encuentran rodeadas por una capa delgada compuesta de una membrana "triple" de proteína-lípido-proteína, cuyo lado lipofílico se orienta hacia el interior.

### Hidratos de Carbono

Los hidratos de carbono del grano de maíz se encuentran distribuidos entre diversos tejidos del grano. El hidrato de carbono mayoritario es el almidón (72% del grano en base seca). En la tabla 8 se muestra la proporción de hidratos de carbono en los componentes del grano de maíz.

Tabla 8

Distribución de los Hidratos de carbono en los componentes del grano (g/100 g)

Fracción del Grano	Grano	Almidón	Hidratos de Carbono simples
Gano Entero	100	72	2
Endospermo	82	86	1
Germen	12	8	11
Pericarpio	5	7	1

Fuente Pomeranz, 1987.

Los hidratos de carbono juegan un papel esencial en el metabolismo intermediario de todos los tejidos. Los polímeros estructurales y de almacenamiento, y una amplia variedad de hidratos de carbono simples (azúcares) son sintetizados en el grano en desarrollo. Cuando el grano madura, y la biosíntesis se ha completado, los azúcares representan únicamente el 2% del grano (base seca) y, aunque están en niveles muy bajos, son muy importantes en síntesis y transferencia de energía (Pomeranz,1987).

El principal hidrato de carbono simple en el grano de maíz es la glucosa, cuya concentración fluctúa de 0.9 a 1.9%. De ella, 75% se encuentra en el germen y 25% en el endospermo. La sacarosa es el disacárido más abundante en los granos de maíz. Diferentes polisacáridos desempeñan un papel importante en la estructura del grano. Se clasifican en sustancias pécticas, hemicelulosa y celulosa, formando parte básicamente de la pared celular (Watson, 1987).

El almidón es la forma principal de almacenamiento de combustible en el grano de maíz. Está formado por unidades de glucosa. El gránulo de almidón está compuesto por dos polímeros: amilosa y amilopectina. La amilosa constituye del 25 al 30% del almidón; es una molécula lineal compuesta por unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4. La amilopectina constituye del 70 al 75% del almidón, es una molécula ramificada con enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 en su forma lineal, y  $\alpha$ -1,6 en los puntos de ramificación. En el endospermo, la amilosa y la amilopectina se encuentran estructuralmente acomodadas en un gránulo insoluble. El gránulo de almidón se forma dentro de un organelo celular llamado amiloplasto. Este gránulo tiene una estructura cristalina atribuida a la amilopectina (Watson, 1987).

### **Minerales.**

*Dentro de éstos se encuentran los siguientes:*

- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| * potasio (0.35%)  | * fósforo (0.32%) |
| * magnesio (0.17%) | * azufre (0.12%)  |
| * calcio (0.03%)   | * sodio (0.01%)   |
| * hierro (0.003%)  |                   |

El 80% de los mismos se encuentran en el germen (Inglett, 1970).

### **Vitaminas**

En el maíz, las vitaminas están localizadas esencialmente en el germen y la capa exterior del endospermo donde se encuentra la aleurona (Tabla 9).

Tabla 9

Contenido de Vitaminas (mg/100 g)

Vitaminas	Maíz
Tiamina (B1)	0.44
Riboflavina (B2)	0.13
Niacina	- 2.6
Acido Pantoténico	0.70
Piridoxina	1.57
Vitamina A*	2.5 mg/Kg
Vitamina E*	2.5 mg/Kg

Fuente. Hoseney, 1991.

\* Fuente: Watson, 1987. Valores en peso seco del grano

### Carotenos.

Representan un grupo de isoprenoides (sustancias químicas que tienen algunas de las propiedades de los lípidos). Son pigmentos de color amarillo, naranja y rojo. Es un grupo de pigmentos importantes económicamente, ya que el beta-caroteno es el más abundante y es el precursor de la vitamina A ; es responsable del color amarillo del grano de maíz, y está asociado a la proteína del endospermo. Son muy sensibles al oxígeno, la luz, el calor y a los ácidos debido a su estructura isoprenoide (sistema de dobles ligaduras alternantes). Los carotenos son hidrocarburos y se cree que son precursores biosintéticos de sus derivados oxigenados, las xantofilas. La distribución de los carotenos en el grano es de 74 a 86% en el endospermo harinoso, 9 a 23% en el endospermo vitreo, 2 a 4% en el germen y 1% en el pericarpio (González, 1995).

## 2.3 PROCESOS A LOS QUE SE SOMETE EL MAÍZ

### 2.3.1 NIXTAMALIZACIÓN

#### 2.3.1.1 Nixtamalización Tradicional

El nombre de este proceso viene de las raíces aztecas *nextli*, que significa cenizas de cal, y *tamalli*, masa de maíz cocido. Tradicionalmente consiste en cocer el maíz en agua con un porcentaje específico de hidróxido de calcio respecto al peso del grano y reposarlo de 10 a 20 horas, con el fin de proporcionar un tratamiento térmico alcalino que permita remover el pericarpio o cascarilla (figura 1), gelatinizando parcialmente los almidones y produciendo la hidrólisis alcalina sobre la zeína y otras proteínas de maíz (Wall y Paulis, 1985), mejorando la disponibilidad del triptofano al favorecer la reducción de la relación leucina-isoleucina, ya que la leucina se destruye por el tratamiento alcalino (Baduí, 1981), así como la liberación de niacina (Chávez, 1973).

#### **Cambios químicos producidos durante el proceso de nixtamalización**

El tratamiento térmico-alcalino causa una hidrólisis parcial de las paredes celulares y de los componentes fibrosos que facilitan la separación del pericarpio (Gómez, et al., 1990) por lo que hay una disminución en la cantidad de fibra cruda, de 32 a 46% aprox., al ser eliminado el pericarpio junto con el agua. La cal tiene el propósito de mantener un nivel de alcalinidad necesario para hidrolizar las hemicelulosas del pericarpio (Sánchez, 1999).

Al poner en contacto el maíz con la solución alcalina, el ion  $\text{Ca}^{++}$  así como el anión  $\text{OH}^-$  y el agua, se difunden al interior de los granos gracias al gradiente de concentración que se establece entre estos tres componentes, siendo el pericarpio una barrera física a ese fenómeno (Robles, 1986). Al contacto con los componentes del pericarpio, gran parte del anión se va a consumir con la hidrólisis de celulosas y hemicelulosas, abriendo huecos por donde se difundirán con rapidez el agua, el catión y el propio anión. De igual manera, los componentes del maíz tratarán de difundir al exterior; sin embargo, su salida es más difícil debido al propio arreglo celular de los granos y a la dirección del flujo del agua, la cual sería el vehículo para los componentes solubles (Rosas, 1995).

El principal cambio que ocurre en las proteínas por efecto del tratamiento térmico-alcalino es una disminución en la solubilidad de las proteínas solubles en solución salina y alcohol (Vivas et al., 1987). Las fracciones albúminas, globulinas, zeínas y glutelinas son insolubilizadas durante este tratamiento, ya que se inducen interacciones hidrofóbicas, enlaces cruzados y la desnaturalización de las fracciones proteínicas (Figuroa, 1996), particularmente las glutelinas.

El tratamiento alcalino aumenta la disponibilidad de lisina y triptofano, dado que la mayor parte de los aminoácidos indispensables para el hombre, se encuentran en la fracción de las glutelinas (Alarcón, et al., 1985).

Las pérdidas químicas de las vitaminas B1 (tiamina) y B2 (riboflavina) son 60 y 52% respectivamente. La niacina se pierde en un 32%, pero se vuelve biológicamente disponible, al romperse el enlace que la liga a la forma niacianogénica en la que se encontraba y que no es disponible biológicamente.

El maíz contiene niacina en forma ligada, como niacitina y niacinógeno. El maíz crudo contiene 2.6 mg niacina/Kg y sólo 0.4 mg/Kg está en forma libre. El cocimiento alcalino rompe el enlace que liga a la niacina, aumentando la biodisponibilidad de esta vitamina. Por esta razón la **pelagra** (enfermedad causada por deficiencia de niacina, que se caracteriza por la presencia de escoriaciones en la piel, inflamación de las mucosas y alteración del sistema nervioso) es poco conocida en México.

La gelatinización es el principal cambio que ocurre en el almidón durante la nixtamalización. Los gránulos de almidón son liberados de las células del endospermo, alterando la estructura cristalina del gránulo de almidón (Gómez, et al., 1992). Hay liberación de amilosa y amilopectina (Pérez, 1992).

El contenido de fósforo se incrementa en un 15%, el de hierro en un 37% (Gutiérrez, 1994) y el calcio aumenta aproximadamente 4.5 veces, siendo éste último la modificación más importante desde el punto de vista nutricional.

El grano durante la nixtamalización pierde del 33 al 44% de sus lípidos. El ácido linoleico que es un ácido graso esencial, se ve afectado durante el tratamiento alcalino, perdiéndose un 28% aproximadamente (Guerrero, 1980).

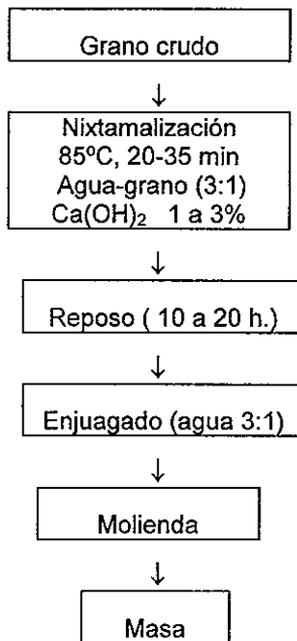
El agua residual o **nejayote** contiene del 6 al 8% de los sólidos secos iniciales del grano, que incluyen parte del pericarpio, endospermo y germen. Estas aguas normalmente se desechan a los ríos contaminándolos, creando problemas al medio ambiente (Durán de Bazúa, 1987). A este respecto, se han realizado estudios para utilizarlo como sustrato para la fermentación microbiana y deshidratarlo, como alimento para aves ponedoras, entre otros animales, ya que requieren de un alto suministro de calcio para la elaboración del cascarón del huevo.

Sin embargo, este proceso tradicional presenta desventajas tales como un alto consumo de energía, los tiempos de operación (10 a 20 horas), el elevado volumen de aguas residuales y el costo de los sistemas de tratamiento de esas aguas residuales (Durán de Bazúa, 1987).

Por esto, la industria molinera actual ha modificado el proceso tradicional con la finalidad de disminuir costos, y reducir agua al bajar los períodos de cocción y reposo, y la relación agua-grano, o aumentando la relación cal-grano.

Figura 1

Proceso tradicional de Nixtamalización



### 2.3 1.2 NIXTAMALIZACIÓN COMERCIAL

Actualmente se produce harina a partir de la masa obtenida del nixtamal, ya que ha demostrado tener ventajas para los productores de tortillas: es almacenable hasta por 6 meses, de fácil manejo y el producto obtenido tiene las características deseables de color, textura y sabor tradicionalmente conocido.

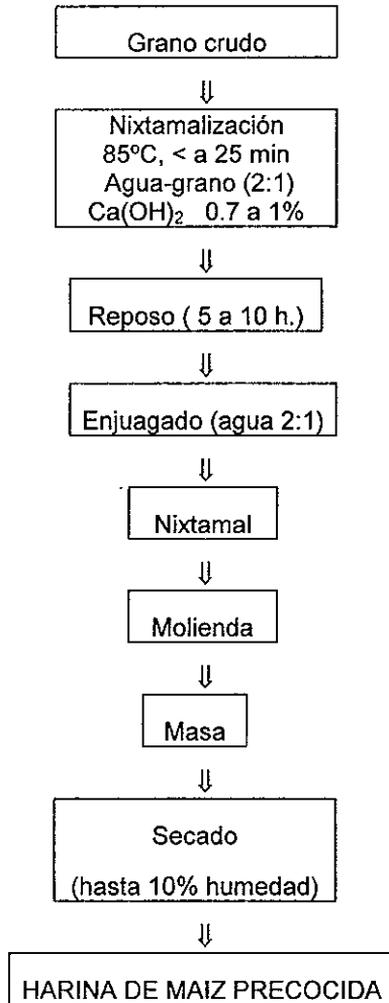
La producción de harina nixtamalizada en México está concentrada en cuatro empresas: MASECA, MINSA, HAMASA y AGROINSA, basándose a nivel industrial en el método tradicional de nixtamalización (Gómez et al., 1987).

La harina se ha extendido en el gusto del público consumidor. El industrial productor de masa y tortilla cada vez con más frecuencia prefiere su uso por las facilidades y los beneficios que le proporciona; ha impulsado el desarrollo de la industria harinera como consecuencia del manejo más sencillo, tener mayor higiene en la elaboración de las tortillas como producto final, y su proceso requiere 50% menos de agua y menor consumo de combustible, a diferencia de la elaboración directa de la masa (Expo tortilla 1999).

En la figura 2 se presenta el diagrama del proceso de obtención de la harina de maíz nixtamalizada (harina nixtamalizada comercialmente).

Figura 2

Obtención de la harina de maíz nixtamalizada (comercial).



### 2.3.2 EXTRUSIÓN

La extrusión alcalina es una alternativa a la nixtamalización ya que sigue los mismos principios que ésta, pero al disminuir el tamaño de partícula reduce los tiempos de reacción y el consumo de agua necesarios, así como el consumo energético requerido. En la figura 3 se muestra un diagrama esquemático de comparación de los procesos de extrusión y nixtamalización.

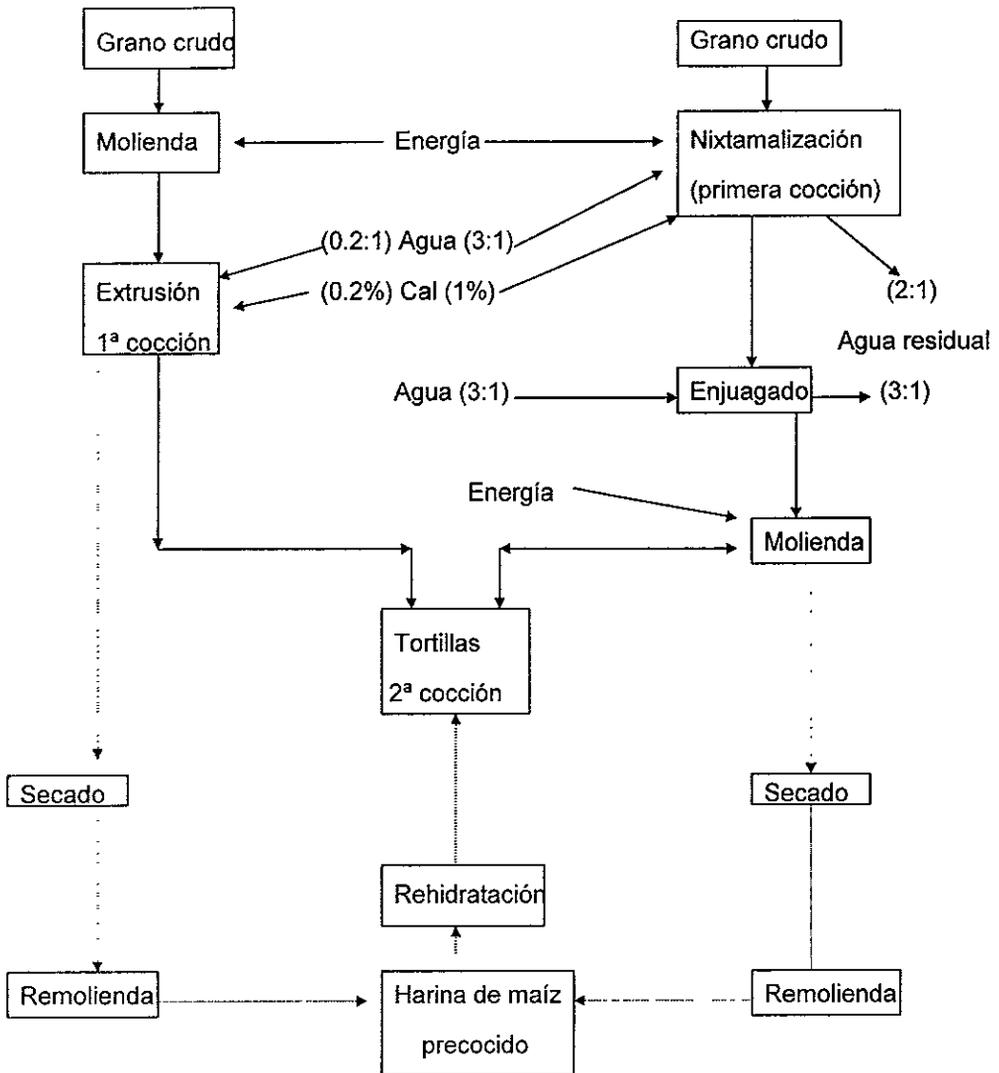
Consiste principalmente en moler el grano crudo y alimentar la harina producida con un % de humedad alto (20% aproximadamente) al extrusor por medio de un tornillo sin fin. En algún punto de este proceso, de preferencia en la zona de alimentación, se adicionan agua y cal a las harinas crudas. La presión generada y el calor de la fricción causan un aumento de la temperatura que expande los gránulos y los gelatiniza parcialmente, obteniéndose una masa o harina precocidas dependiendo de la cantidad de agua que contenga el producto.

Las variaciones de la humedad y la temperatura serán determinantes en el grado de gelatinización del almidón y en consecuencia en la textura y consistencia de los productos extrudidos o los elaborados con harinas extrudidas rehidratadas (Durán, et al., 1988).

Con este sistema se busca tener una eliminación de contaminación por efluentes, principalmente desechos del nejayote; así mismo, se busca la reducción de tiempos de procesamiento, mejoramiento de la calidad nutricional y sensorial de la tortilla, reducción del consumo de agua, gastos de energía menores y aumento en los rendimientos de producción, como se muestra en la figura 3.

La contribución de esta tecnología aplicada a la cocción del maíz, es lo que permite que el grano se muele en crudo y conserve su fibra, germen y demás componentes, y que se cueza en condiciones alcalinas mediante la adición de cal, dando a las masas resultantes las características de textura y sabor deseable, además de mantener la calidad nutricia de las masas de granos nixtamalizados e incluso superarla ligeramente (Durán de Bazúa, 1988). Sobre esto, Bressani et al. (1978) reportó una reducción en la actividad antitripsina como resultado de la extrusión de una mezcla maíz-soya; así también, Jansen et al. (1978) en Pomeranz (1981) reportó que la extrusión de harina de soya a una temperatura de 170°C incrementó el PER de 1.49 a 1.98 y redujo la actividad antitripsina, mejorando el valor biológico de la proteína. Sin embargo, se debe tomar muy en cuenta la temperatura de extrusión, ya que Jansen et al. (1978) en Pomeranz (1981) reportó que la relación de eficiencia proteínica (PER) de una mezcla de maíz-semilla de algodón extrudida a 170° C, fué significativamente menor al de una mezcla extrudida a 142°C (PER de 1.52 y 1.90 respectivamente). Esto se atribuyó a la reducción de lisina disponible causada por una reacción entre el gopipol y el grupo  $\epsilon$ -amino de la lisina, durante la extrusión a alta temperatura.

Figura 3. Comparación de los procesos de Extrusión y Nixtamalización (Durán, 1988)



### 2.3.3 REVENTADO DEL MAÍZ

De entre los granos de cereal, solamente el maíz palomero y algunas variedades de sorgo y mijo perlado pueden reventar, teniendo como resultado un gran incremento de volumen.

El pericarpio del maíz palomero actúa como un recipiente a presión que permite que el agua del grano se supercaliente. A una temperatura determinada, la presión se eleva tanto que el pericarpio se rompe dejando libre al endospermo para expandirse. Con el maíz palomero, el fallo del pericarpio se produce a unos 177°C. Además de servir como vasija de presión, el pericarpio es también un factor de calidad importante. Durante la explosión, no parece que el pericarpio sufra otra alteración que la fractura obvia. Con frecuencia es proyectado libre, o parcialmente libre, de endospermo. Las células de aleurona o subaleurona, también parecen sufrir mínimas alteraciones durante la explosión. En el borde externo del grano, la pérdida de humedad es excesiva. En el endospermo más profundo, se hace más evidente la estructura expandida. El almidón está fuertemente engrosado, pero todavía son visibles los cuerpos proteínicos (por micrografía electrónica de barrido) y aparentemente no se han alterado por el proceso de la explosión. El germen no parece ser afectado por la explosión (Hoseney, 1991).

### 2.3.4 MICRONIZACIÓN

El horno de microondas para uso doméstico comenzó a introducirse en los años 50's, aunque es en la última década cuando se ha extendido su uso. Se puede afirmar que la aplicación del horno microondas es una innovación reciente frente a métodos tradicionales como el asado, cocción o fritura, siendo el ahorro de energía y tiempo las principales causas de su aceptación.

Además, al exponer los alimentos menos tiempo a temperaturas elevadas, hace pensar que exista un menor riesgo de pérdidas de nutrimentos esenciales sensibles al calor, con lo que se mejoraría el valor nutritivo de los productos cocinados en horno de microondas. Este es un punto muy discutido y en la bibliografía se encuentran datos contradictorios (Fernández, 1994).

Las microondas son ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre 3 y 300,000 MHz y longitud de onda del orden de 0.1 a 100 cm. En el espectro electromagnético se sitúan entre la radiación infrarroja y las ondas de radio (Ewing, 1978).

Las ondas son emitidas por un dispositivo electrónico, denominado magnetrón, que convierte la energía eléctrica de baja frecuencia en un campo electromagnético, y se sitúa en la cavidad de un horno que sirve para reflejar las ondas. Los microondas de usos comerciales inducen cambios en el valor del campo electromagnético 915 millones de veces por segundo (frecuencia de 915 MHz) o 2,450 millones de veces por segundo (frecuencia de 2,450 MHz), originando rotaciones y fricciones moleculares de las sustancias polares de los alimentos que se traducen en una rápida elevación de la temperatura (Berteaud et al., 1993).

#### Efecto del Microondas sobre los Nutrimentos

- **VITAMINAS:** Según Mudgett (1989), la retención de vitaminas en los alimentos tratados por microondas es superior que en otros métodos convencionales de calentamiento debido principalmente a que el tiempo de cocinado es menor, sin embargo, esta retención varía según el tipo de producto y las características del horno empleado (tamaño, potencia y marca). Existen otros estudios que sugieren que la retención de micronutrientes procesados en microondas no es mucho mayor que por cocinado tradicional.

- **SALES MINERALES:** Procesos tales como la fritura, cocción, asado y horneado no tienen efectos importantes sobre el contenido mineral de un alimento. En general, los métodos tradicionales de cocinado conllevan una mayor retención de minerales.
- **PROTEÍNAS:** De la revisión bibliográfica realizada por Cross y col. (1982) se deduce que el calentamiento por microondas puede ayudar a conservar la proteína total en los alimentos. Con sistemas modelo se ha comprobado la racemización de aminoácidos por calentamiento en microondas en condiciones drásticas. Sin embargo, estudios realizados en leche y fórmulas infantiles calentados de forma habitual en microondas, han puesto de manifiesto la no aparición de formas racémicas (Fernández, 1994).
- **HIDRATOS DE CARBONO:** La cocción convencional de galletas y productos de panadería en general, supone pérdidas significativas de nutrimentos a través de la degradación térmica y la reacción de Maillard. Según González et al. (1991) en Fernández et al. (1994), galletas cocidas en microondas conservan un adecuado valor nutritivo, así como buenas propiedades organolépticas.
- **LÍPIDOS:** La oxidación lipídica en muestras de pollo es menor cuando se utiliza el microondas. Este hecho puede deberse a una inhibición de los procesos oxidativos por los productos originados en la reacción de Maillard, que tienen lugar durante el calentamiento en microondas. En cuanto a la acción del calentamiento en microondas sobre los aceites, existen pocos estudios; en todos ellos se observa que al igual que con técnicas convencionales de calentamiento, la alteración del aceite está íntimamente relacionada con la composición en ácidos grasos insaturados, la presencia de antioxidantes y las temperaturas alcanzadas en el proceso (Fernández, 1994).

Cabe mencionar que la mayoría de los estudios realizados son de los años 70's y en la actualidad los hornos de microondas son bastante diferentes a los empleados hace 25 ó 30 años.

## 2.4 CALIDAD DE PROTEÍNAS

La principal función de las proteínas en la dieta es suministrar al organismo una mezcla de aminoácidos en cantidades adecuadas para la síntesis y mantenimiento de los tejidos corporales.

El organismo debe transformar las proteínas que contienen los alimentos en formas utilizables en las diferentes rutas bioquímicas. El metabolismo de las proteínas presentes en los alimentos engloba tres procesos: digestión, absorción y utilización de los productos resultantes. El primer factor que limita la utilización de las proteínas de la dieta es el grado en que se hidrolizan en el tracto digestivo. En la digestión de las proteínas influye su configuración y, por tanto, su solubilidad y el hecho de que en los alimentos estén combinadas con lípidos, minerales, ácidos nucleicos o hidratos de carbono. En condiciones normales, la digestión química de las proteínas se realiza en primer lugar en el estómago, donde se segrega la pepsina en medio ácido.

Una vez en el intestino las proteínas están expuestas a una gran cantidad de enzimas: tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas y aminopeptidasas. Esta digestión enzimática intestinal tiene lugar en la superficie del borde de cepillo de las células intestinales de forma que una alteración de dichas células o de los niveles de enzimas digestivas provoca una disminución de la digestibilidad.

Los aminoácidos libres y péptidos de cadena corta producidos en la digestión, se absorben en el intestino delgado; sin embargo, una pequeña parte pasa al intestino grueso, donde la acción bacteriana hace que finalmente se absorban.

La absorción de los aminoácidos se realiza por transporte activo, interviniendo varios sistemas definidos de transportadores con especificidad para aminoácidos, básicos o neutros. Se ha comprobado que dentro de cada grupo de aminoácidos con el mismo mecanismo de transporte activo, se absorbe primero el que antes se encuentre disponible y que el exceso de un aminoácido que tenga alta afinidad por el transportador puede inhibir la absorción de los otros aminoácidos del grupo (Hernández,1996).

Existen diferentes fuentes de proteínas alimentarias con distinta calidad nutritiva o biodisponibilidad, es decir, difieren en su capacidad para cubrir los requerimientos proteínicos humanos. Los estudios de biodisponibilidad permiten clasificar las proteínas según su potencial valor nutricional y detectar cambios que pueden ocurrir durante el procesado y almacenado de los alimentos.

La presencia de un nutrimento en un alimento no indica necesariamente su digestibilidad. La digestión adecuada de un nutrimento no asegura, por lo tanto, su absorción y ésta no asegura que sea posible su utilización fisiológicamente. Por ello, la biodisponibilidad es el único concepto que refleja de forma global los diferentes procesos metabólicos implicados en la utilización de un nutrimento por el organismo. De manera que una medida global de la calidad de las proteínas alimentarias debe abarcar su composición, digestibilidad y la utilización de los productos resultantes (Hernández, 1996).

La medida más exacta de la calidad de las proteínas es la que se realiza en el organismo vivo e inalterado. Por razones éticas y prácticas no es posible experimentar con humanos, por lo que los ensayos se realizan con animales de experimentación, sobre todo con ratas, por digerir la mayoría de las proteínas de forma similar a la del hombre (Sarwar, 1987; Bodwell et al. , 1980), o bien utilizando diversos métodos *in vitro* que se correlacionan con los valores encontrados en animales de experimentación o en el humano.

## 2.5 PRUEBAS BIOLÓGICAS

La calidad de las proteínas de un alimento depende del patrón de aminoácidos presentes en el alimento y la biodisponibilidad de éstos. Los aminoácidos indispensables tienen que ser ingeridos en la dieta o por otras fuentes. Estos son necesarios desde el crecimiento hasta la edad adulta. Considerando todos los métodos biológicos que pueden ser usados para la evaluación de la calidad de las proteínas, que se basan en mediciones directas o indirectas de la retención de nitrógeno en el organismo, estos se pueden agrupar en dos categorías:

- Métodos de crecimiento o indirectos: Relación de eficiencia proteínica (REP), Relación neta de proteína (RNP) y Valor proteínico relativo (VPR).
- Métodos de balance de nitrógeno o directos: Digestibilidad aparente (DA), Digestibilidad verdadera (DV), Utilización neta proteínica (UNP) y Valor biológico (VB).

Los ensayos más ampliamente usados han sido el valor biológico, utilización neta de proteína y la relación de eficiencia proteínica. En general, todos los métodos biológicos miden la calidad de las proteínas, controlando la cantidad de éstas, ya que son un factor limitante.

El método PER es un método numérico que expresa el aumento de peso en animales de experimentación; consiste en estimar el crecimiento de las ratas en relación con la cantidad de proteínas consumidas o en términos más precisos, ganancia en peso por gramo de proteína ingerida. Esto es el cociente de eficacia proteínica (PER por sus siglas en inglés "Protein Efficiency Ratio"). Los resultados varían de cero, para las proteínas que no permiten el crecimiento, a 4.4 como máximo (Bender, A., 1973). Fue desarrollado en 1919 por Osborne et al. y es el método más antiguo y conocido de evaluación nutritiva de proteínas. En 1975 fue adoptado por la AOAC como método oficial para determinar la calidad de proteínas (Hernández, et al., 1996).

Este método ha sido severamente criticado como medidor de la calidad de la proteína, debido a que la estimación del valor nutritivo obtenido depende de la calidad del alimento consumido y no toma en consideración otros nutrimentos o las necesidades proteínicas para el mantenimiento de las células. Los factores que afectan el método son: el peso, raza, sexo y la edad inicial del animal, así como el nivel de proteína de la dieta y el tiempo de experimentación. Sin embargo, debido a su simplicidad y reproducibilidad en condiciones controladas, se sigue usando.

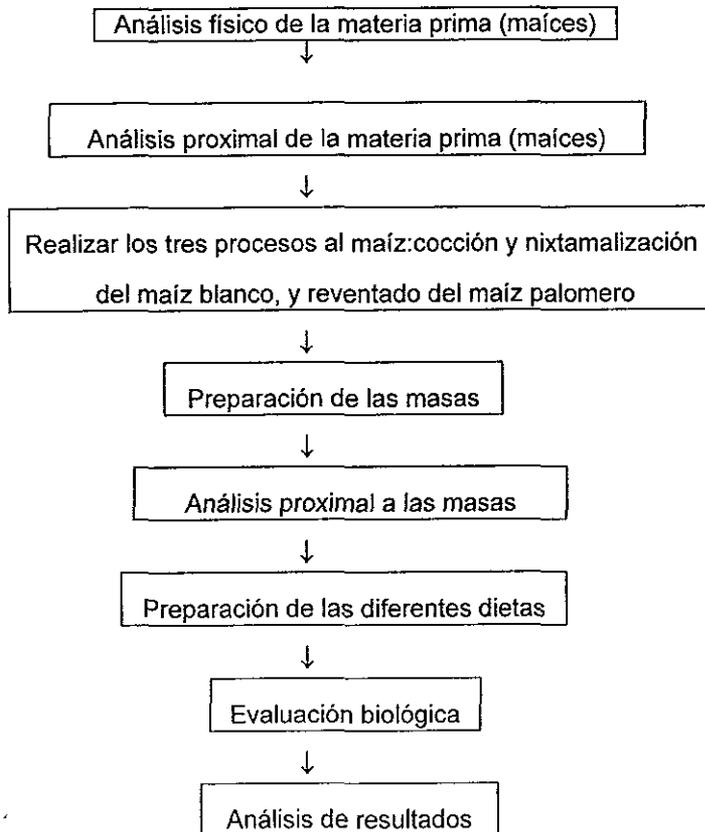
### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### MUESTRAS:

Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron muestras de maíz blanco cristalino y de maíz palomero comercial, adquiridas en mercado de la colonia Escuadrón 201, así como harina de maíz de la marca comercial MINSA.

A continuación se muestra un diagrama general de la investigación realizada en este trabajo.

**Figura 4**  
Diagrama general de la investigación



### 3 1 Caracterización física

Se realizaron pruebas físicas para conocer la calidad del maíz del que se estaba partiendo, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana para grano de maíz (NMX-FF-034-1995-SCFI).

#### Muestreo:

Para llevar a cabo el muestreo de manera representativa, se extrajeron porciones del grano del total del lote homogeneizado (ya fuera del maíz blanco o del palomero), de las cuatro esquinas de un rectángulo imaginario y en el punto central del mismo para tener un total de 2 kg. Estas muestras se homogeneizaron y se extendieron en una superficie plana para realizar el método del cuarteo. Este consiste en trazar una línea y dividirla en 4/4, de los cuales se eliminan los 2/4 opuestos. Se repite la operación con los dos cuartos restantes hasta obtener una muestra de 1Kg del grano. Esta muestra representativa se utiliza para la caracterización física y química de los granos.

A los granos estudiados se les determinaron las siguientes características físicas:

- peso de mil granos S.A.R.H./I.N.I.A., Td-17, 1985
- peso hectolítrico S.A.R.H./I.N.I.A., Td-17, 1985
- densidad relativa S.A.R.H./I.N.I.A., Td-17, 1985
- porcentaje de impurezas NOM-FF-38-1982
- porcentaje de granos dañados. NOM-FF-38-1982

El resto del maíz se limpió sometiéndolo a una selección visual, que consistió en eliminar granos rotos, dañados, granos extraños y toda clase de basura o sustancias extrañas al maíz como piedras, tierra, etc. Ya limpio, se mezcló perfectamente para

lograr homogeneidad en las muestras de cada variedad de maíz y, por consiguiente, en los experimentos.

### 3.2 Caracterización química

Se realizó un análisis proximal (o bromatológico) a los granos y a la harina MINSA (como control), siguiendo los métodos del AOAC (1990). Cada determinación se realizó por triplicado. Las determinaciones fueron:

- a) Humedad AOAC No. 930.15
- b) Cenizas AOAC No. 942.05
- c) Extracto etéreo AOAC No. 920.39c
- d) Proteína cruda AOAC No. 954.01
- e) Fibra cruda AOAC No. 962.09
- f) Carbohidratos asimilables (por diferencia).

Los análisis proximales se determinaron con el fin de conocer la composición de los materiales de trabajo, cuyos resultados servirán de base para los experimentos posteriores.

### 3.3 Tratamientos

Después de la limpieza y homogenización, se prepararon tres lotes del maíz blanco, cada uno de aproximadamente 3.5 Kg, sometiéndose uno de ellos a la cocción, otro al proceso tradicional de nixtamalización (Fig. 5) y el tercer lote sólo se molió, para obtener harina y tener el lote control.

Del maíz palomero se prepararon 3 lotes, uno como referencia (grano crudo), otro se sometió al proceso de reventado en horno de microondas, y el tercero se sometió a reventado por el método tradicional (en olla de aluminio), hasta obtener aproximadamente 3 Kg de cada maíz procesado.

### 3.3.1 COCCIÓN

Se tomaron 3.40 Kg de maíz blanco. Se procedió a la cocción del maíz con una proporción agua-maíz de 3:1, en un recipiente de peltre, llevando a temperatura de ebullición del agua por aproximadamente 3 horas (hasta que el maíz se cociera). Se secó el maíz ya cocido en un horno con ventilación, para su posterior molienda.

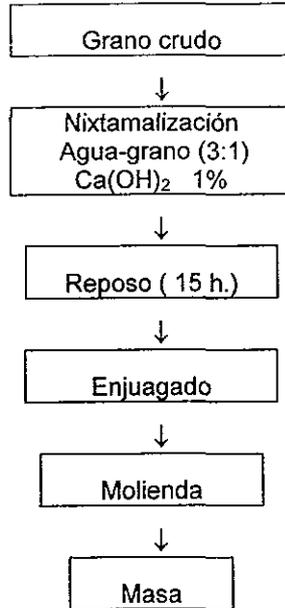
### 3.3.2 NIXTAMALIZACIÓN

Se llevó a cabo este proceso a 4 Kg de maíz según la metodología descrita por Durán (1988) utilizando las condiciones siguientes: proporción agua-grano 3:1; tiempo de cocción 30 minutos a una temperatura de 85° C; cantidad de  $\text{Ca(OH)}_2$  de 1 % y tiempo de reposo de 15 h aproximadamente (Figura 5).

El maíz nixtamalizado se lavó 3 veces, y se enjuagó con frotación para eliminar el pericarpio, eliminando también el nejayote y agua de lavado. Se procedió a secar el maíz en un horno con ventilación, para ser molido posteriormente.

Figura 5

Proceso de Nixtamalización tradicional



### 3.3.3 REVENTADO DEL MAÍZ PALOMERO

Se realizó el reventado del maíz palomero en microondas y en olla con agitación, agregando mantequilla y sal de mesa en un 11.43% y 8.57%, respectivamente, independientemente del método a utilizar. El maíz a reventar en microondas se colocó en un recipiente de plástico, junto con la sal y mantequilla, y se sometió al proceso térmico por un minuto, con movimiento constante en un horno de microondas SHARP a potencia moderada. El maíz a reventar en olla (de aluminio) se colocó en ésta con sal y mantequilla, se tapó y se expuso al calor por aproximadamente 4 minutos a flama baja y con agitación constante.

Después de aplicar cada proceso, se llevó a cabo una molienda a cada lote (de ambas variedades de maíz) en un molino CeCoCo para laboratorio, hasta obtener harinas que pasaran por una malla No. 40. Posteriormente se les practicó un análisis proximal a cada lote, siguiendo los procedimientos del AOAC (1990), como se realizó anteriormente. Este análisis se llevó a cabo con el fin de tener la composición de cada lote, datos que se utilizaron en la elaboración de las dietas, posteriormente. Cada determinación se realizó por triplicado.

Las harinas fueron etiquetadas y almacenadas en el refrigerador, a 4° C para la posterior elaboración de las dietas.

### 3.4 PREPARACIÓN DE LAS DIETAS

Se procedió a preparar las dietas correspondientes a cada harina de los maíces, con base en los requerimientos para proporcionar los nutrimentos necesarios para el buen funcionamiento del organismo animal (NAS/NRC, 1995). Las dietas elaboradas fueron isocalóricas e isoproteínicas, tomando en consideración los resultados obtenidos en el análisis proximal de cada harina, teniendo como única variable la fuente de proteína proveniente del maíz sometido a los diferentes tratamientos, realizándose también una dieta con la harina comercial MINSA, y dos dietas utilizando 7 y 10% de caseína como referencia.

Las dietas fueron preparadas con las muestras de maíz cocido, nixtamalizado y reventado por el método tradicional y reventado en microondas, así como con las muestras de maíz crudo de ambas variedades.

El porcentaje de proteína que se recomienda utilizar para el PER es de 10%; sin embargo debido al contenido de proteína del maíz, en este trabajo las dietas tenían un promedio de 7.5% de proteína; con excepción de la dieta control de caseína, que se elaboró con un nivel de 10% de proteína, también se comparó con un patrón de caseína de 7% de proteína para evaluar si había algún efecto por el hecho de que las dietas tuviesen menor porcentaje de proteína.

En la Tabla 10 se presenta la formulación base utilizada para la elaboración de las dietas.

Tabla 10

Formulación base usada para la elaboración de las dietas de prueba (NAS/NRC, 1995)

MATERIALES	PORCENTAJE (p/p)
Mezcla de Vitaminas <sup>1</sup>	1
Mezcla de Minerales <sup>2</sup>	4
Aceite de Maíz <sup>3</sup>	5
Celulosa (Fibra Cruda) <sup>4</sup>	2
Caseína (87% Proteína)	11.5
Carbohidratos (Almidón) <sup>5</sup>	76.5

<sup>1</sup> Ver composición en la tabla 11. <sup>2</sup> Ver composición en la tabla 12. <sup>3</sup> Se adicionó aceite de maíz para proporcionar las calorías requeridas (4 a 4.5 Kcal/g) y obtener dietas isocalóricas de acuerdo a los requerimientos de las ratas (NAS/NRC, 1995). <sup>4</sup> La adición de celulosa se hizo para obtener una dieta equilibrada ya que debe contener un porcentaje adecuado (2%) de esta (NAS/NRC, 1995) <sup>5</sup> A pesar de que el maíz contiene una elevada cantidad de carbohidratos, se adicionó almidón para que las ratas la empleen en cubrir sus necesidades calóricas.

Tabla 11

Composición de la Mezcla de Vitaminas "Harlan Teklad Test Diet", NAS/NRC, 1995.

Vitaminas	Cantidad (mg/Kg dieta)
Acido p-aminobenzoico	110.1
Acido ascórbico	1016.6
Biotina	0.44
Vitamina B <sub>12</sub> (0.1% trituración en manitol)	29.7
Pantotenato de calcio	66.1
Citrato de colina dihidrogenada	3496.9 (1434 mg de colina)
Acido Fólico	1.98
Inositol	110.1
Menadiona	49.5
Niacina	99.1
Clorhidrato de piridoxina	22.0
Riboflavina	22.0
Clorhidrato de tiamina	22.0
Palmitado de Vitamina A seca (500,000 U/g)	39.65 (19,825 UI Vit. A)
Vitamina D <sub>3</sub> seca ( 500,000 U/g)	4.4 (2200 UI Vit. D <sub>3</sub> )
Acetato de Vitamina E (500 U/g)	242.3 (121UI Vit. E)

La mezcla de vitaminas "Harlan Teklad" proporciona las vitaminas activas necesarias cuando se añade en una proporción del 1% a las dietas.

La mezcla de minerales "Rogers-Harper" proporciona las sales minerales presentadas en la Tabla 12.

Tabla 12

Composición de la Mezcla de Minerales Roger-Harper.

Mineral	Cantidad (g/Kg )
Molibdato de amonio	0.025
Carbonato de calcio	292.9161
Fosfato de calcio dibásico	4.3002
Sulfato cúprico	1.5601
Citrato férrico USP	6.2303
Sulfato de magnesio	99.8055
Sulfato de manganeso	1.2101
Yoduro de potasio	0.005
Fosfato de potasio monobásico	343.1189
Cloruro de sodio	250.6138
Selenato de sodio	0.015
Cloruro de zinc	0.20

Las dietas utilizadas en el estudio se prepararon de acuerdo a la formulación presentada en la tabla 13, con base en la formulación de la tabla 10 y el análisis proximal de cada harina. Se usó como proteína de referencia la caseína, con un 87% de proteína. A las dietas preparadas se les determinó su contenido de proteína con el fin de verificar que cumplieran con el nivel correcto ( $7.5 \pm 0.3\%$ ).

Se utilizó celulosa, grado alimenticio para el aporte de fibra en las dietas.

Tabla 13.

Formulación final de las dietas elaboradas (g/100 g de dieta).

Material	Caseína		Harina de Maíz	Harina de Maíz Palomero		Harina de Maíz			
	7%	10%	Palomero	en Olla	en Microondas	Blanco	Cocido	Nixtamal.	MINSA
Fte. Proteína	8.05	11.5	78.13	82.96	78.37	75.37	85.13	82.05	91.13
M. Vitaminas	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M. Minerales	4	4	1.43	2.8	2.77	2.67	3.09	2.9	2.71
Lípidos	5	5	0.25	---	---	0.27	0.5	0.77	1.25
Celulosa	2	2	1.14	1.08	1.14	1.12	1.03	1.13	0.42
Almidón	79.95	76.5	18.05	12.16	16.72	19.57	9.25	12.15	3.49

### 3.5 EVALUACIÓN BIOLÓGICA

Se llevó a cabo la evaluación biológica utilizando ratas blancas Wistar, machos, recién destetadas, de 21 a 23 días de nacidas, con un peso entre 35 y 50 g, obtenidas de la colonia del Bioterio de la Facultad de Química de la UNAM.

Cada lote se formó por grupos de 8 ratas, las cuales se agruparon por el método de la "culebra japonesa" procurando que la diferencia de peso entre lotes no excediera de 5 g. Se colocaron los animales en jaulas individuales, en un cuarto con temperatura y humedad controlada: 17°-28°C y 46%-70% humedad relativa, así como periodos de iluminación de 12 horas y 12 horas de oscuridad. El experimento duró 4 semanas (28 días), durante los cuales se registró el aumento de peso tres veces por semana, así como el alimento consumido, teniendo al final del estudio la ganancia total de peso y el consumo total de proteína de forma individual. Cada lote de ratas fue alimentado con una dieta diferente y agua *ad libitum*.

Una vez registrados los datos, se calculó la Relación de la Eficiencia de la Proteína (REP=PER por sus siglas en inglés).

El PER experimental fue calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{PER} = \text{Peso ganado en g} / \text{Proteína ingerida en g}$$

También se obtuvo el valor de PER ajustado al 2.5 para caseína (NAS/NRC, 1995), con el fin de poder comparar los resultados experimentales con los reportados en la literatura. Este valor se calculó de la siguiente manera:

$$\text{PER ajustado} = \text{PER exp.} \times \text{PER caseína (referencia)} / \text{PER caseína (experimental)}$$

Los resultados fueron analizados estadísticamente por el método de análisis de varianza. Esta es una técnica estadística que, con base en el principio de *t* de Student, permite estudiar si existe diferencia significativa entre la media de las calificaciones asignadas a más de dos muestras. En este caso se realizó para el nivel de una sola vía, donde se explica la diferencia entre una variable del estudio, por ejemplo: similitud entre muestras, es decir, se investiga una sola fuente de variación. También es conocido como análisis unilateral de varianza. Además se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), la cual calcula un factor equivalente a la distancia mínima permisible que una muestra puede alejarse de otra (Daniel, 1995; Pedrero y Pangborn, 1989).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las pruebas físicas de las muestras estudiadas.

Tabla 14

##### Análisis físico de la materia prima

Determinación	Maíz Blanco	Maíz Palomero
Peso de mil granos (g)	296.9	145.8
Peso Hectolítrico (Kg/100 L)	75.79	84.25
Densidad relativa (g/ml)	1.25	1.36
% Impurezas y granos dañados	5.91	2.42
- granos dañados por insectos	1.127	0.594
- granos quebrados	0.373	1.027
- granos dañados por clima	1.86	0.75
- granos de otra variedad	0.03 (maíz negro) 1.08 (maíz palomero)	0.05 (maíz blanco)
- granos dañados por calor	1.257	-----
- impurezas	0.186	-----

La tabla 14 muestra que el porcentaje de granos dañados e impurezas encontrados en ambas variedades de maíz fue relativamente bajo, lo que da una idea de la calidad del maíz del que se está partiendo; es decir, que el maíz no sufrió graves daños durante su cultivo por factores climatológicos como lluvia, heladas, calor excesivo, etc. que permitieron un buen desarrollo del cultivo. El bajo porcentaje de granos quebrados habla de un buen manejo del maíz en la post-cosecha.

En el maíz palomero se obtuvo valores menores, por lo que indica que fue mejor manejado y de mayor calidad.

Según estos resultados, y con base en la Norma Mexicana NMX-FF-034-1995-SCFI se puede clasificar el maíz blanco como "Maíz Blanco Extra", y su grado de calidad como México 2. Reafirmando lo mencionado anteriormente, el maíz palomero fue de mejor calidad, ya que su grado de calidad fue México 1.

El peso hectolítrico y la densidad relativa están definidas por una relación peso/volumen, y están sujetas a variaciones, según el modo en que el grano se asiente dentro del envase. Sin embargo, un valor menor en el peso hectolítrico indica que el grano tuvo un tiempo mayor de almacenamiento, que en este caso es el maíz blanco con respecto al maíz palomero.

**Tabla 15**

**Análisis proximal de las materias primas (g/100 g)**

Determinación	Harina de Maíz Blanco Crudo		Harina de Maíz Palomero Crudo		Harina MINSA (nixtamalización industrial)	
	B.H.	B.S.	B.H.	B.S.	B.H.	B.S.
Humedad	9.23	---	8.19	---	8.43	---
Proteína *	9.95	10.96	9.6	10.46	8.23	8.99
Lípidos	6.28	6.92	6.09	6.63	4.12	4.50
Fibra	1.18	1.30	1.11	1.21	1.74	1.90
Cenizas	1.77	1.95	3.30	3.59	1.42	1.55
Carbohidratos	71.59	78.87	71.71	78.11	76.06	83.06

B H = Base Húmeda

B.S = Base Seca

\* % Proteína = %N x 6.25

De los resultados de la tabla 15 se observó que la composición del maíz blanco y del maíz palomero es muy similar. Se encontró valores ligeramente mayores de proteína en el maíz blanco, así como mayor porcentaje de humedad, lo que concuerda con los valores de las tablas del Valor Nutritivo de los Alimentos Consumidos en México, del INNSZ, 1992. Con respecto a la harina MINSZA, los valores son menores que los del maíz blanco, lo que resulta comprensible ya que esta harina ya pasó por un proceso que le causó una disminución en proteína, lípidos y humedad, principalmente.

**Tabla 16**

**Análisis proximal de las harinas de maíz sometidas a los diferentes procesos estudiados (g/100 g)**

Determinación	Harina de Maíz							
	Palomero				Blanco			
	Reventado en olla		Reventado en microondas		Nixtamalización tradicional		Cocido	
	B.H.	B.S.	B.H.	B.S.	B.H.	B.S.	B.H.	B.S.
Humedad	2.47	---	1.82	---	7.27	---	8.11	---
Proteína *	9.04	9.27	9.57	9.75	9.14	9.86	8.81	9.59
Lípidos	10.37	10.63	12.0	12.22	5.16	5.56	5.29	5.76
Fibra	1.11	1.14	1.10	1.12	1.07	1.15	1.14	1.24
Cenizas	1.45	1.49	1.58	1.61	1.34	1.45	1.07	1.16
Carbohidratos	75.55	77.46	73.93	75.3	76.01	81.97	75.57	82.24

B.H. = Base Húmeda

B.S. = Base Seca

\* %Proteína = %N x 6.25

De la Tabla 16 se observa que, en contraste con los datos en la Tabla 15, el maíz nixtamalizado y el cocido sufrieron una pérdida de nutrimentos. Se ha reportado que durante el proceso de nixtamalización ocurre una pérdida de proteína debida a la solubilidad de algunas fracciones proteínicas que son solubles en agua y aquellas que son afectadas por el medio alcalino, sin embargo esta pérdida fue menor que en el proceso de cocción. Esto pudo deberse a que durante la cocción el grano de maíz es *sometido por más tiempo al calor que en el caso de la nixtamalización*. Además el maíz cocido se revienta exponiendo una mayor superficie de contacto y las partículas solubles entre ellas algunas proteínas, pueden salir más fácilmente. Por el contrario, en el caso de la nixtamalización el grano queda entero (con excepción de la pérdida del pericarpio) con lo que se hace más difícil la pérdida de nutrimentos.

Si se compara los resultados del maíz palomero, se observa que en el caso del maíz reventado por el método tradicional hay una disminución en la proteína; sin embargo, en el maíz reventado en microondas, la proteína prácticamente se conserva, ya que el calentamiento por microondas "puede ayudar a conservar la proteína total en los alimentos" (Fernández, M.A. 1994).

En cuanto a la cantidad de lípidos en el maíz palomero reventado, se encontró un notable aumento en ambas muestras, originado por la adición de mantequilla al maíz antes del reventado, quedándose adherido al grano después del proceso.

La cantidad de lípidos en el maíz cocido y en el nixtamalizado es menor que en el maíz sin tratar debido a la pérdida de éstos durante los tratamientos. En el maíz nixtamalizado se debe básicamente a la acción que tiene el hidróxido de calcio sobre los triacilglicéridos, ocurriendo una hidrólisis alcalina que da como resultado la formación de sales de ácidos carboxílicos.

El proceso de nixtamalización también provoca una disminución en la fibra cruda como resultado de la pérdida de la cascarrilla en el proceso, esta disminución se ve reflejada en la Tabla 16 y 15; por lo tanto, el maíz es más digerible por el hombre. En el caso del maíz cocido, los valores de fibra cruda prácticamente se mantienen constantes.

La nixtamalización disminuye el contenido general de nutrimentos, según estudios de Bressani y colaboradores (1958) quienes documentaron pérdidas significativas de tiamina, riboflavina, niacina, nitrógeno, grasa y fibra cruda.

En la tabla 17 se muestra el nivel proteínico de las dietas a evaluar, así como la densidad calórica calculada de cada una de ellas. Esto se realizó con el objeto de verificar que las dietas fueran isocalóricas e isoproteínicas.

**Tabla 17**

**Densidad calórica y porcentaje de proteína en las dietas de experimentación.**

Dieta	Kcal / 100 g	% Proteína
Caseína 7%	397	7
Caseína 10%	397	10
Maíz Blanco Crudo	425	7.2
Maíz Nixtamalizado	422	7.6
Harina MINSA	423	7.6
Maíz Cocido	422	7.8
Maíz Palomero Crudo	429	8
Maíz Palomero reventado en Olla	423	7.9
Maíz Palomero reventado en Microondas	427	7.5

El contenido de proteína de las dietas en estudio (tabla 17) se encuentra alrededor de 7.5%. Se observa en esta tabla que hay dos dietas, la de maíz palomero crudo y maíz palomero reventado en olla, que se exceden del rango de proteína establecido por un 0.2 y 0.1% respectivamente; sin embargo, esto no altera significativamente la evaluación. La densidad calórica de las dietas es muy similar, por lo que se puede afirmar que las dietas son isocalóricas.

En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos del PER de las dietas estudiadas.

Tabla 18

Relación de Eficiencia Proteínica de los diferentes lotes de maíz

Tipo de Dieta	Alimento Ingerido.	Ganancia en Peso (4s)	PER. Exper. Dev. Est.	PER ajustado
Caseína (7% p) <sup>d</sup>	251.4	43.6	2.48 ± 0.28	---
Caseína (10% p) <sup>d</sup>	292.3	86.4	2.76 ± 0.30	2.5
Maíz Crudo <sup>b</sup>	159	9.8	0.65 ± 0.54	0.59
Maíz Nixtamalizado <sup>a</sup>	192.2	22.7	1.53 ± 0.19	1.40
MINSA <sup>a</sup>	193.3	21.9	1.47 ± 0.23	1.34
Maíz Cocido <sup>a</sup>	171.8	19.3	1.45 ± 0.10	1.31
Maíz Palomero crudo <sup>b</sup>	153.5	9.7	0.54 ± 0.42	0.49
M.P. en Olla <sup>c</sup>	106.5	-0.6	-0.07 ± 0.06	-0.06
M.P. en Microondas <sup>c</sup>	112.2	-1.2	-0.17 ± 0.45	-0.16

Superíndices diferentes indica diferencia significativa a un nivel de 0.05.

De las dos dietas de referencia (caseína), se observa que no existe diferencia significativa entre ellas en cuanto a los valores de PER. Por ello cualquiera de las dos puede ser utilizada como patrón sin presentar un error significativo en la evaluación. Así, para efectos comparativos se eligió el valor del PER de la dieta de caseína al 10% para ajustar los valores de PER experimental de las demás dietas.

En los datos de la tabla 18 se observa que, en general, la ganancia en peso y el alimento ingerido son proporcionales con los valores de PER, es decir, a mayor valor de los dos primeros, mayor es el respectivo PER. En cuanto al tipo de dieta, el mayor valor de PER (1.40) se obtuvo para el maíz nixtamalizado tradicionalmente. La harina MINSA fue solo ligeramente menor en su PER (1.34), así como en alimento ingerido y ganancia en peso al anterior, aunque la diferencia no es significativa (con una confiabilidad del 95%, es decir  $\alpha=0.05$ ). Esto se puede explicar por el hecho de que su elaboración se basa, a nivel industrial, en el método tradicional de nixtamalización, por lo que en ambos casos las proteínas del maíz sufren un tratamiento similar observándose cambios en su solubilidad, además de que la lisina y el triptofano se hacen más disponibles, así como la niacina. El maíz en general sufre todos los cambios mencionados en el capítulo 2, que hacen que su calidad biológica mejore notablemente. Así, aún cuando se han realizado modificaciones al método de nixtamalización para hacerlo más eficiente reduciendo costos, cantidad de agua utilizada, etc., no se modifica su valor nutritivo comparado con el método tradicional.

El maíz cocido tuvo un PER menor al del maíz nixtamalizado; sin embargo, la diferencia no es significativa ( $\alpha=0.05$ ), lo que indica que los procesos aplicados son semejantes en cuanto a los cambios que causan en las proteínas y al mejoramiento que esto provoca en la calidad biológica. De este modo, se puede afirmar que durante la cocción, al ser el maíz sometido a una alta temperatura por mucho tiempo, resultaría ser éste un tratamiento casi tan severo como el de nixtamalización, provocando gelatinización del almidón y desnaturalización y pérdida de proteínas, pero mejorando la biodisponibilidad de los nutrimentos.

Dicha pérdida se observó en la tabla 15, donde se evidencia un menor porcentaje de proteína en el maíz cocido que en el nixtamalizado. No obstante lo anterior, la cocción del maíz hace que las proteínas sean más digeribles.

El maíz blanco crudo (sin tratar) tuvo un PER significativamente menor ( $\alpha=0.05$ ) que el de los maíces sometidos a los procesos de nixtamalización y cocción, ya que estos tratamientos aumentan la biodisponibilidad de los nutrimentos. Esto concuerda con lo reportado por Bressani y colaboradores (1958), quienes proponen que el maíz sometido al tratamiento térmico-alkalino es mejor que el maíz crudo, a pesar de existir pérdidas de algunos aminoácidos, grasa y minerales; el maíz nixtamalizado presenta un valor mayor desde el punto de vista nutritivo, que el maíz crudo.

En cuanto al maíz palomero crudo, éste tiene un PER menor al maíz blanco crudo, aunque la diferencia no sea estadísticamente significativa. Sin embargo, esta disminución se acentúa con el reventado, ya que se encontraron valores de PER negativos en los maíces sometidos al tratamiento térmico. En este caso, se observa que el tratamiento disminuye significativamente (a un nivel de 0.05) la calidad de la proteína. Estos valores negativos indican que la proteína, lejos de permitir el crecimiento, provoca una pérdida de peso, ya que al hacerle falta al organismo proteínas para dicho proceso y su mantenimiento, tiene que tomar las proteínas musculares del propio animal.

Cabe mencionar que entre los dos métodos de reventado no existe diferencia significativa ( $\alpha= 0.05$ ) en los valores de PER, aún cuando el maíz reventado en microondas tuvo una menor pérdida de proteína después del tratamiento térmico, que el reventado por el método tradicional. Por la literatura se sabe que la proteína del maíz no es, *per se*, de buena calidad. Según lo reportado por Fernández et al. (1994), el proceso térmico en microondas casi no altera los nutrimentos de los alimentos; sin embargo, dicho tratamiento hace que la humedad del maíz disminuya enormemente. Esta pérdida de humedad pudiera provocar que los nutrimentos estuvieran mucho más cerca unos de otros y así sería más fácil que interaccionaran unos con otros

haciéndolos menos disponibles. Aunado a esto, el valor nutritivo no se mejora ya que este proceso seguramente no libera niacina de su forma no disponible, así como no se mejora la relación leucina/isoleucina, ni se hacen más disponibles las fracciones proteínicas con mayor cantidad de lisina, por lo que su calidad biológica disminuye en comparación con el maíz crudo.

Por otro lado, durante el reventado tradicional puede ocurrir algo similar con las proteínas al disminuir la humedad del grano (interacción entre ellas y/o con otros nutrimentos), pero al ser el calentamiento más lento y por lo tanto mayor el tiempo al que es expuesto el maíz al calor, pudiera provocar alguna ligera pérdida de leucina, o desnaturalización ligera de proteínas, por lo que el valor del PER es ligeramente mayor al del maíz reventado en microondas. No obstante, ambos valores al ser negativos indican, como ya se mencionó anteriormente, una muy baja calidad biológica de la proteína del maíz.

Si se parte del hecho que el valor de PER para las dos variedades de maíz sin tratar no fueron significativamente diferentes, podremos comparar el efecto de los diferentes tratamientos térmicos en la calidad biológica del maíz, encontrando que el tratamiento térmico "húmedo" aún cuando sea severo, ya sea por un gran lapso de tiempo o a gran intensidad, da como resultado una notoria mejora en la calidad biológica del grano ya mencionado, mientras que un tratamiento térmico "en seco", no obstante éste sea por poco tiempo e intensidad, provoca una disminución de la calidad biológica del maíz.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en los experimentos llevados a cabo en este trabajo, puede concluirse lo siguiente:

- No se encontró diferencia significativa entre los valores de PER obtenidos de las dietas de caseína al 7 y 10% de proteína, por lo que no se incurre en errores significativos al utilizar como referencia cualquiera de las dos dietas.
- Se constató la baja calidad de la proteína del maíz crudo (de ambas variedades) al ser comparada con la proteína de la leche (caseína). Así mismo, se comprobó que el proceso de nixtamalización mejora la calidad biológica de la proteína y valor nutritivo del maíz, *no obstante la pérdida de nutrimentos durante el tratamiento*, lo que concuerda con Bressani y col. (1958).
- El tratamiento hidrotérmico (cocción) es un factor muy importante para la mejora de la calidad biológica de la proteína del maíz (donde este proceso es el único al que es sometido el grano), ya que el valor del PER fue muy semejante al del maíz nixtamalizado (tratamiento térmico-alcálico).
- Las harinas nixtamalizadas a nivel industrial (en este caso la harina MINSA) son una muy buena alternativa como materia prima para la elaboración de productos basados en el maíz, ya que presenta muchas ventajas, como son: un ahorro en consumo de energía, tiempo y agua, así como una menor generación de residuos contaminantes y reducción de costos, reduce las mermas y el desperdicio del maíz, tiene asegurado el control de calidad, y la calidad biológica es prácticamente la misma que la de la *harina de maíz nixtamalizado* tradicionalmente.

- El tratamiento térmico "en seco" al que se somete el maíz palomero para la obtención de las palomitas, independientemente del método a utilizar: en olla o en microondas, reduce la ya de por sí baja calidad biológica de la proteína de este cereal.
- Si bien el tratamiento térmico mejora la biodisponibilidad de algunos nutrimentos, mejorando así el valor nutricional del alimento, éste depende del tiempo e intensidad al que sea sometido dicho alimento, y al tipo de calentamiento que se utilice, ya sea en húmedo o en seco.

Las recomendaciones para estudios posteriores son las siguientes:

- ◊ Realizar estudios donde se observe los cambios sufridos por las proteínas del maíz palomero durante el reventado, pudiendo ser: análisis cuantitativo de proteína, análisis de aminoácidos y digestibilidad, para poder determinar con mayor precisión la causa de la baja biodisponibilidad de ellas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Abascal, D.M. 1997. "Deterioro químico de los lípidos y de las proteínas del maíz durante su almacenamiento". Tesis Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 4-13.
2. Alarcón, A.L. 1985. "Evaluaciones biológicas en tortillas elaboradas con mezclas de maíz-sorgo (híbrido y tarasco)". Tesis Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 9-25.
3. AOAC 1990. "Official Methods of Analysis". Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., E.U.A.
4. Baduí, S. 1981. "Química de los Alimentos". Ed. Alhambra Mexicana, México.
5. Bender, A. 1973. "Nutrición y Alimentos dietéticos". 2ª edición, Ed. Acribia, Zaragoza, España.
6. Berteaud, A. y Delmonte, M. 1993. Las microondas: de la cocina a la industria. Mundo Científico. 135. 449-456.
7. Bodwell, C. E.; Satterlee, L.D., y Hackler, L.K. 1980. Protein digestibility of the same protein preparation by human and rat assay and by *in vitro* enzymes digestion methods. Am. J. Clin. Nutr., 33,677-686.
8. Bressani, R. , Paz y Paz, R. y Serimshaw, N.S. 1958. Corn nutrient losses:Chemical changes in corn during preparation of tortillas. J. Agric. and Food Chem., 6 (10):770.
9. Bressani, R. y Serimshaw, N.S. 1958. Effect of lime-treatment *in vitro* availability of essential aminoacids and solubility of protein fractions in corn. J. Agric. and Food Chem., 6(10):774.
- 10 Bressani, R., Wilson, D., Chung,M., Behar, M. y Scrimshaw, N.S. 1963. Supplementation of cereal proteins with aminoacids. V. Effect of supplementating lime-treated corn with different levels of lysine, tryptophan, and isoleucine on the nitrogen retention of young children. J. Nutrition, 80:80.

# ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

11. Bressani, R., Elías, G. y Braham, J.E. 1968. Suplementación con aminoácidos, del maíz y de la tortilla. Arch. Latinoam. Nutr. 18:123.
12. Bressani, R., Braham, J.E. y Behar, M. editores. 1972. Mejoramiento Nutricional del maíz. Publicación INCAP L-3:325. Guatemala.
13. Bressani, R., Elías, L.G., Braham, J.E., Cuevas, R. y Molina, M.R. 1978. Protein quality of whole corn/whole soybean mixture processed by a simple extrusion cooker. J. Food Science, 43:1563-1566.
14. Cravioto, R.O., Massieu, H.G., Cravioto, O.Y. y Figueroa, F. de M. 1952. Effect of untreated corn and Mexican tortilla upon growth of rats fed on a niacin-tryptophan deficient diet. J. Nutrition, 48:453.
15. Cross, G. y Fung, D. 1982. The effect of microwave on nutrient value of foods. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 355-381.
16. Daniel, W. 1995. "Bioestadística". Ed. Limusa. México.
17. Durán, C. 1987. "Reaprovechamiento de efluentes de la industria del maíz". Informe final del proyecto BMFI-UNEP-CONACYT-UNAM-Miconsal. Impresora Azteca, S.A. México.
18. Durán, C. 1988. "Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo". Monografía tecnológica No. 2, Programa regional para el desarrollo científico y tecnológico, OEA. Eon Eds. México. p. 22-28.
19. Enciclopedia de México, 1978. Tomo VIII (Maíz) Tercera edición, Edición especial para Encyclopaedia Britannica de México.
20. Ewing, G. W. 1978. "Métodos instrumentales de análisis químico". McGraw-Hill, S.A. México.
21. Fernández Pineda, M.A., Martín-Lagos, R.A., López García de la Serrana, H., López Martínez, M.C. 1994. El Horno Microondas: influencia sobre el valor nutritivo de los alimentos. Revista Alimentaria. Octubre, 41-43.

22. Figueroa, J.D., Martínez, B., González, J., Sánchez, F. 1996. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. *Avance y Perspectiva*, 13, Nov-Dic. pp. 323-329.
23. Floyd, C.D., Rooney, L.W., and A.J. Buckholt. 1995. Measuring Desirable and Undesirable Color in White and Yellow Food Corn. *Cereal Chemistry*. 72,488-490.
24. Gómez, M.H., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1990. Effects of nixtamalization and grinding conditions on starch in masa starch. *Cereal Chemistry*, 42: 475.
25. Gómez, M.H., Lee, J.K., McDonough, C.M., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1992. Corn Starch Changes During tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chemistry*, 69, (3): 275-279.
26. González, A. 1995. "El maíz y su conservación". Ed. Trillas, México.
27. Gopalan, C. y Kamala, S.J.R. 1975. Pellagra and amino acid imbalance. *Vitamins and Hormones*, 33:505.
28. Harper, A. E., Punekar, B.D. y Elvehjam, C.A. 1958. Aminoacid diets and maximal growth in the rat. *J. Nutr.* 66:163.
29. Hernández, T., Hernández, A. y Martínez, C. 1996. Calidad de proteínas. Conceptos y Evaluación. *Alimentaria*, Jul-Aug. 27-37.
30. Hoseney, R.C. 1991. "Principios de ciencia y tecnología de los cereales". Ed. Acribia, Zaragoza, España.
31. Inglett, E.G. 1970. "Kernel Structure, Composition, and Quality", en *Corn: Culture, Processing, Products*. The Avi Publishing Co., Inc. Estados Unidos.
32. Jugenheimer, W. R. 1988. "Maíz; variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla". Limusa, México.
33. Laguna, J. y Carpenter, K.J. 1951. Raw versus processed corn in niacin-deficient diets. *J. Nutrition*, 45:21.
34. Mc Pherson, C.M., Ou, S.Y. 1976. Continuous production of roux using twin-screw extrusion technology. *J. Food Sci.*, 41:1301.

35. Memorias de Conferencias en Expotortilla. Cantú G.A. Grupo Industrial MASECA. México 1999
36. Mertz, E.T., Lloyd, N.E. y Bressani, R. 1958. Studies on corn proteins. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. *Cereal Chem.* 35:227.
37. Montgomery, D. 1991. "Diseño y Análisis de Experimentos". Gpo. Editorial Iberoamérica. México.
38. Morrison, R. T. 1985. "Química Orgánica". Fondo Educativo Interamericano. México.
39. NAS/NRC. 1995. Nutrient requirements of laboratory animals. 3<sup>a</sup> Ed. Natl. Acad. of Sciences/Natl. Res. Council, E.U.A.
40. Pedrero, D. 1989. "Evaluación Sensorial de los Alimentos". Ed. Alhambra Mexicana, México.
41. Pomeranz, Y. 1981. "Cereals". The American Association of Cereal Chemists. E.U.A.
42. Pomeranz, Y. 1987. "Modern Cereal Science and Technology". VCH Publishers. E.U.A.
43. Provansal, M.M.P., Cuq, J.L.A. y Cheftel, J.C. 1975. Chemical and nutritional modifications of sunflower protein due to alkaline processing. Formation of amino acid cross-links and isomerization of lysine residues. *J. Agric. Food Chem.*, 23(5):938.
44. Rosas, S. 1995. "Estudio de conservadores en tortilla de maíz y metodología para evaluación sensorial". Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
45. Robles, R.R., Murray, E.D. y Paredes-López, O. 1986. Physico-chemical changes of maize starch during the lime-cooking treatment for tortilla making. *Int. J. Food Sci. Technol.* 23:91.
46. Salunkhe, D.K., Chavan, J.J., Kadam, S.S. 1985. Postharvest Biotechnology of Cereals. C.R.C. Press Inc. E.U.A. p. 93-100.

47. Sánchez, M. D. 1982. "Cambios en las proteínas del maíz durante la nixtamalización." Tesis Maestría. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 77-90.
48. Sanderson, J., Wall, J.S., Donaldson, G.L. y Cavins, J. F. 1978. Effect of alkaline processing of corn on its aminoacids. *Cereal Chem.*, 55:204.
49. Sarwar, G. 1987. *Digestibility of protein and bioavailability of aminoacids in foods.* *Wld. Rev. Nutr. Diet.*, 54, 26-70.
50. Sternberg, M., Kim, C.Y. y Schwende, F.J. 1975a. Lysinoalanine: presence in foods and food ingredients. *Science*, 190:992.
51. Tovar, L.R. y Carpenter, K.J. 1982. *Effects of alkali-cooking of corn and supplementation with amaranth seed on its deficiencies in lysine and tryptophan.* *Arch. Latinoam. Nutr.*, 32(4):961-972.
52. Trejo, A. y Wild Altamirano, C. 1976. Tortillas de maíz. Resumen del trabajo presentado al premio Banamex de Ciencia y Tecnología. México.
53. Vivas, N.E., Waniska, R.D. y Rooney, L.W. 1987. Effect of tortilla production on proteins in sorghum and maize. *Cereal Chem.* 64(6):384.
54. Wall, J.S. y J.W., Paulis. 1985. "Evaluación química y biológica de la calidad protéica del maíz. Asuntos y problemas actuales en maíz de alta calidad protéica." Compendio de ponencias presentadas en el simposio internacional Cimmyt/Pardue. Eds. L.F. Bautman, E. T. Mertz, P.L. Crane, D.V. Glover y D.W. Thomas. Ed. Limusa, México. p. 305-314.
55. Watson, S.A. 1987. "Corn. Chemistry and Technology". *American Association of Cereal Chemists.*, USA. 61-274.