

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



MONOGRAFÍA

COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE LA TORTILLA DE MAÍZ

Presentada por:

**GLADYS GUADALUPE MARTELL LEYVA**

Que ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre del 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

MONOGRAFÍA

COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE LA TORTILLA DE MAÍZ

Presentada por:

**GLADYS GUADALUPE MARTELL LEYVA**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



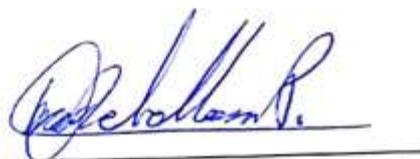
Dra. Xochitl Ruelas Chacón

**Presidente**



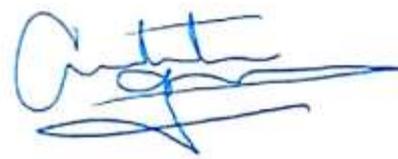
ME. Laura Olivia Fuentes Lara

**Vocal**



MC. Oscar Noé Reboloso Padilla

**Vocal**



Dr. Antonio F. Aguilera Carbó

**Vocal suplente**

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre del 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por haberme dado la vida y la oportunidad de terminar mi carrera satisfactoriamente acompañándome siempre en las buenas y en las malas.

### **A MIS PADRES**

Sr. José Fernando Martell Valles

Sra. Gladys María Leyva Muñoz

Ustedes que con su amor unieron sus vidas en matrimonio y me dieron la vida, me brindaron su amor, cariño, comprensión, exhortándome siempre a la superación.

### **A MIS HERMANOS**

José Fernando Martell Leyva

José David Martell Leyva

Que en ocasiones se privaron de algunas cosas por ayudarme a salir adelante, por su apoyo, cariño, amistad, al igual que los momentos de triunfos y fracasos que desde niños hemos compartido juntos.

### **A MIS ABUELOS**

Eva Margarita Olga Muñoz

Oscar Heriberto Leyva Moeno

† José Guadalupe Martell Castro

### **GRACIAS POR TODO**

Y les deseo lo mejor de la vida, y que todas las bendiciones lleguen siempre hacia ustedes.

## ÍNDICE GENERAL

		Pág.
	RESUMEN.....	i
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo General.....	3
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	Generalidades.....	4
2.2	Estructura y componentes del grano de maíz.....	4
2.3	Componentes químicos del grano.....	5
2.3.1	Almidón.....	5
2.3.2	Proteínas.....	6
2.3.3	Aminoácidos.....	7
2.3.4	Vitaminas.....	8
2.3.5	Minerales.....	9
2.3.6	Lípidos.....	10
2.3.7	Fibra dietética.....	10
2.3.8	Compuestos bioactivos .....	10
2.4	Tipos de maíz.....	11
2.5	Formas de consumo del maíz.....	13
2.6	Tortillas de maíz.....	13
2.6.1	Elaboración de tortillas.....	14
2.6.2	Proceso tradicional de la elaboración de tortillas.....	15
2.6.3	Proceso industrial de la elaboración de tortilla.....	17
2.6.4	Características de la tortilla.....	19
2.7	Proceso de nixtamalización .....	19
2.7.1	Efectos de la nixtamalización.....	20
2.8	Calidad nutrimental de la tortilla.....	21
2.9	Fortificación de la tortilla.....	23
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
<b>CAPÍTULO II</b>		
Cuadro 1	Clasificación taxonómica del maíz	4
Cuadro 2	Composición proximal de las principales estructuras del grano de maíz	5
Cuadro 3	Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz	8
Cuadro 4	Contenido de minerales en el maíz	10
Cuadro 5	Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industrial	22
Cuadro 6	Contenido nutrimental de tortillas de maíz blanco, amarillo y azul	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Capítulo II</b>		
Figura 1	Estructura del grano de maíz	5
Figura 2	Proceso tradicional de elaboración de tortilla	15
Figura 3	Elaboración de tortillas por el método tradicional	17
Figura 4	Proceso industrial de elaboración de tortilla	18

## RESUMEN

La tortilla forma parte fundamental en la dieta de los mexicanos, se elabora a partir del grano de maíz (nixtamalizado o no). El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la composición nutricional de la tortilla de maíz. Se describió las características, propiedades y composición química del grano de maíz, con el cual se elabora la tortilla de forma tradicional e industrial. Mediante el proceso de nixtamalización (cocción del maíz con agua y cal) se obtiene una masa moldeable, este proceso produce cambios en sus propiedades, con ello aumenta la disponibilidad de algunos nutrientes como niacina y calcio. La tortilla aporta nutrientes como fibra, carbohidratos, proteínas, minerales y compuestos bioactivos, sin embargo, se considera a la tortilla como deficientes en aminoácidos esenciales, lisina y triptófano. El alto consumo de tortilla en México, ha permitido utilizarlo como vía para la administración de nutrientes que mejore la calidad nutricional con el fin de combatir la mala nutrición de la población. La creación de maíces mejorados (alta calidad proteica) y la fortificación de tortillas con nopal, avena, frijol, además de la adición de vitaminas y minerales a las harinas de maíz, son acciones que buscan mejorar la calidad nutricional pero sin alterar las características propias de la tortilla, sin embargo, quedan muchos productos ricos en nutrientes para evaluarse.

Palabras clave: Composición nutrimental, tortilla de maíz, tortilla fortificada, nutrientes de tortilla.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El maíz es un cereal de alto valor comercial y de consumo mundial, 40% del total de la producción es utilizado para consumo humano (FAOSTAT, 2016). México, Guatemala y Honduras son países de mayor consumo en América cerca de 318.74 g/persona/día. Esto indica que el maíz es la principal fuente de alimentación en nuestro país y para la mayor parte de países en desarrollo, además existe una enorme variedad de productos, subproductos y formas de preparaciones para su consumo (Fernández-Suárez et al., 2013). En México se cosechan en promedio 21,545 millones de toneladas de maíz blanco y 95 mil toneladas de otros colores (azul, rojo, amarillo, pinto y variegados) (SIAP, 2019).

México es considerado centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, lo cual genera diferencias no solamente en aspectos agronómicos sino también en composición química de grano, valor nutricional y como consecuencia diferencias en los productos elaborados a base de maíz (Nascimento et al., 2014; Cázares-Sánchez et al., 2015).

La tortilla es considerada la principal base de alimentación y sobrevivencia de los mexicanos desde hace siglos, por ello es primordial conocer las características de la tortilla de maíz (Paredes-López, 2009). La tortilla se elabora principalmente a partir de una masa de maíz nixtamalizado, proceso mediante el cual adquiere características particulares.

La tortilla aporta fibra, carbohidratos, calcio, fósforo a la dieta, sin embargo, la materia prima para su preparación que es grano de maíz presenta deficiencias de algunos nutrientes esenciales principalmente aminoácidos (lisina y triptófano), no obstante que, el procesamiento a tortilla u algún otro productos alimentarios decrece los valores estimado en grano pero conservan hasta un 40% del total estimado (Prasanthi et al., 2017).

Se han realizado diversas investigaciones con el fin de mejorar la calidad nutricional de la tortilla, mediante biofortificación del grano de maíz y a través de fortificación de la masa y harina con otros productos de mayor calidad

proteica para elevar su contenido proteico pero sin alterar sus propiedades sensoriales. Este trabajo se realizó con el objetivo de conocer las propiedades nutricionales del grano, tortilla de maíz, así como las fortificaciones propuestas para mejorar su calidad.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Conocer las propiedades nutricionales del grano, tortilla de maíz, así como las fortificaciones propuestas para mejorar su calidad.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Generalidades

El maíz es uno de los cereales de mayor consumo en el mundo, es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas (Cuadro1). En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósido que está insertado en el raquis cilíndrico u olote.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz

Clasificación taxonómica del maíz ( <i>Zea mays</i> )	
Reino	Plantae
Clase	Angiosperma
Subclase	Monocotiledónea
Orden	Cereales
Familia	Poaceae (Gramíneas)
Subfamilia	Panicoidea
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Z. mays</i>

(Galarza, 2011).

#### 2.2 Estructura y componentes del grano de maíz

Las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) (Figura1), confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) importantes en la selección del grano como alimento (Kato Yamakake et al., 2009).

El grano de maíz o cariósido está formado por una capa externa o pericarpio constituida de hemicelulosa (67 %), celulosa (23 %) y lignina (0.1 %). La siguiente capa denominada aleurona es una capa muy delgada que junto con el pericarpio determinan el color de grano. La parte más abundante la

constituye el endospermo, en esta capa se encuentra almacenado los carbohidratos 84% del total y, finalmente en la parte interna se encuentra el germen o embrión constituida por lípidos, proteínas, cenizas, minerales y azúcares (Paredes-López et al., 2009).

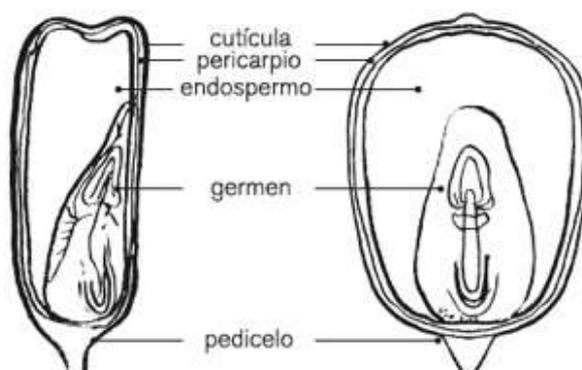


Figura 1. Estructura del grano de maíz (Paredes-López et al., 2009)

### 2.3 Componentes químicos del grano

La composición química del grano de maíz difiere entre cada estructura y definen las características físicas y químicas finales del grano (Paliwal et al., 2001) Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición proximal de las principales estructuras del grano de maíz.

Componente químico	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)	Grano entero (%)
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.6
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2	4.7
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	2.7
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.4
Almidón	7.3	87.6	8.3	72.4
Azúcar	0.34	0.62	10.80	1.94

Paliwal et al., 2001

#### 2.3.1 Almidón

El almidón es el componente principal del maíz, formado por amilosa y amilopectina, moléculas organizadas en anillos, los cuales constituyen la estructura del grano. La amilosa es producto de la condensación de glucosas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1-4), que establece largas cadenas lineales, la

amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol por enlaces  $\alpha$ -(1-6). (Badui, 2006).

La proporción de amilosa:amilopectina en el almidón del maíz tipo dentado, destinado comúnmente a la elaboración de tortillas, es de 25:75 (Salinas Moreno et al., 2003). Mientras que algunos almidones están formados aproximadamente de 79% de amilopectina, y se les conoce como almidones cerosos, en el caso del maíz ceroso contiene más del 90% de amilopectina (Badui, 2006; Salinas Moreno et al., 2010).

La relación entre amilosa y amilopectina difiere de población a población de maíz y determina la estructura molecular, características reológicas y funcionales del almidón (Agama-Acevedo et al., 2005). La modificación en esas relaciones confiere diferentes características físicas al grano en dureza, tanto en las masas o harinas y posteriormente en textura de tortillas, además, confiere diferente capacidad de retención de humedad a los productos derivados (Salinas-Moreno, 2003).

Para la industria alimentaria, la formación de geles y retrogradación de amilosa y amilopectina en dispersiones acuosas o soluciones son de gran importancia, ya que son los responsables del deterioro de los productos ricos en almidón (Mestres et al., 1988).

En el caso particular de las tortillas de maíz, el incremento de la fracción amilopectina en el almidón de harinas nixtamalizadas por encima de la proporción 75/25 amilopectina/amilosa, permite que las tortillas se endurezcan lentamente que el maíz normal o las elaboradas con harina que tenía una menor proporción de amilopectina (Salinas Moreno et al., 2003).

### **2.3.2 Proteínas**

El 18 % de proteínas de todo el grano se encuentra en el germen y se distinguen dos tipos solubles en agua: albuminas y globulinas, y solubles en alcohol como prolaminas o zeínas (Benítez y Deiffer, 2006).

Las proteínas son clasificadas como albuminas (3 %), globulinas (3 %), prolaminas (60 %) y glutelinas (34 %) (Huang, 2004). Las prolaminas determinan parte de la textura y maleabilidad para la elongación de tortillas (Sánchez Moreno et al., 2007). El contenido de proteínas en el maíz está en función del genotipo, factores ambientales de cultivo y prácticas de manejo, entre otras consideraciones (Vera-Guzmán et al., 2012; Cázares-Sánchez et al., 2015).

### **2.3.3 Aminoácidos**

Las unidades más simples de la estructura química común a todas las proteínas son los aminoácidos, los cuales están formados por un grupo amino y un grupo carboxilo, de 20 aminoácidos que se incorporan a las proteínas, ocho son considerados esenciales, y deben suministrarse a través de la dieta. La calidad de la proteína depende de la proporción de aminoácidos indispensables que contiene en relación con los requerimientos humanos, así como de la biodisponibilidad de los mismos (Badui, 2006).

La calidad de proteína del grano de maíz presenta deficiencias en lisina y triptófano (Huang et al., 2004) (Cuadro 3). El triptófano, precursor de serotonina, modula los patrones de sueño y humor, y está relacionado con trastornos depresivos. Deficiencias de triptófano inhibe la síntesis de niacina (vitamina B<sub>3</sub>), relacionada con prevalencia de pelagra; dermatitis, demencia y diarrea. Lisina participa en la producción de colágeno y elastina (González et al., 2007).

En familias de escasos recursos económicos es difícil satisfacer sus necesidades, y se recurre a otros cereales o tubérculos para satisfacer esta demanda. En México también es costumbre consumir frijol (*P. vulgaris*) que es deficiente en metionina, pero rico en lisina, la mezcla de estos dos productos se complementa muy adecuadamente, de tal forma que con el consumo de ambos en una proporción de 50% cada uno se obtienen los mejores resultados (Badui, 2006).

Cuadro 3. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.

Aminoácido	Endospermo <sup>a</sup>		Germen <sup>b</sup>		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptofano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

FAO, 2001

#### 2.3.4 Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas que el cuerpo requiere en pequeñas cantidades y no pueden ser sintetizadas por sí mismo, por lo tanto tienen que ser adquiridos mediante la dieta diaria (WHO-FAO, 2004).

El grano de maíz contiene vitaminas liposolubles e hidrosolubles, las vitaminas liposolubles son provitamina A o carotenoides, se encuentra en granos amarillos, naranja y la vitamina E o tocoferol, está principalmente en el germen. Las vitaminas hidrosolubles se encuentran en mayor medida en la capa de aleurona como tiamina y rivo flavina. La niacina es una de las vitaminas que se encuentran en forma ligada y no se puede descomponer por los jugos digestivos, por lo tanto la niacina no está disponible para los tejidos del cuerpo humano, sin embargo, en el caso del maíz el proceso de cocción en álcalis libera la niacina, eso explica porque probablemente los mexicanos consumidores de tortilla de maíz son relativamente libres de pelagra (WHO-FAO, 2004).

Dado que los humanos y animales no pueden sintetizar la vitamina A, los requerimientos se deben satisfacer por medio de los alimentos.

El  $\beta$ -caroteno es un precursor de provitamina A y vitamina A, esenciales con la salud visual. La dieta de vitamina A se obtiene de vegetales como papaya, espinacas, zanahorias, duraznos, el maíz también es fuente de vitaminas, tal es el caso de los granos amarillos y naranjas que contiene carotenoides luteína, zeaxantina,  $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -cryptoxantina y  $\alpha$ -caroteno (Egesel et al., 2003; Meléndez-Martínez et al., 2004; Lozano et al., 2007).

La vitamina E (grupo de antioxidantes formado por tocoferoles y tocotrienoles) generalmente se encuentra principalmente en el germen de los cereales integrales (Cukelj et al., 2010). El poder antioxidante de la vitamina E es importante porque mejora los parámetros relacionados con el estrés oxidativo. En este caso, el procesamiento del maíz es un factor que influye directamente en los niveles de vitamina E (Da Silva Mesías, 2013).

### **2.3.5 Minerales**

El grupo de macrominerales u oligoelementos y microelementos son esenciales para la salud humana. En el germen del maíz se concentran los macroelementos calcio, magnesio, fósforo, potasio, y en menor proporción microelementos como hierro, zinc, manganeso, cromo y cobre, entre otros (Cuadro 4) (Rodríguez-Pichiling, 1999).

El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0,90 por ciento en el maíz común. Después se encuentra potasio y magnesio, sin embargo, varían considerablemente no solo por el genotipo sino también por las técnicas de determinación, manejo y son influenciados por el ambiente (Benítez y Dfeiffer, 2006; Dickerson, 2008; Martínez et al, 2019). El azufre está contenido principalmente como parte de aminoácidos cisteína y metionina (Paredes-López, 2009).

Cuadro 4. Contenido de minerales en el maíz

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

Bressani et al.,1989

### 2.3.6 Lípidos

El aceite del grano de maíz se encuentra principalmente en el germen, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, como ácido linoléico, con un valor medio de cerca del 24 %. Tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico, con valores medios de 11 % y 2 % respectivamente (FAO, 2001).

### 2.3.7 Fibra dietética

Después del almidón, proteínas y grasas, la fibra dietética es el componente que se encuentra en mayores cantidades en el maíz (FAO, 2001). Está constituido por polisacáridos no degradables. La fibra dietética total incluye dos porciones diferentes, fibra insoluble y fibra soluble. La fibra insoluble está conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina. La fibra soluble de forma natural contiene pectinas, gomas y mucílagos. Los componentes más importantes de la pared celular en el maíz son el pericarpio y pedicelo, los cuales son fuente importante de fibra dietética (Bressani et al., 1989).

### 2.3.8 Compuestos bioactivos en grano de maíz

Los compuestos bioactivos son producto de metabolismos secundarios relacionados con respuestas al ambiente, y se sintetizan durante todo el ciclo

de plantas. En productos alimenticios se refiere a los que influyen en la actividad celular, metabolismo y de efectos benéficos para la salud humana. No obstante, para las plantas tienen efectos directos protectores, reguladores de crecimiento, reproducción, y germinación de semillas. Con estas cualidades se destacan polifenoles y carotenoides con propiedades nutraceuticas (Serna-Saldívar, 2010; Meskin et al., 2008).

Los ácidos fenólicos y flavonoides representan la forma más común de los polifenoles presentes en grano de maíz (Zilic et al., 2012). Entre los ácidos fenólicos se encuentra ácido ferúlico, 85% del total en grano, se concentra en el pericarpio en forma libre o esterificado a heteroxilanas que constituyen parte de la hemicelulosa de pared celular, dada esta función también influye en características físicas de grano (De la Parra et al., 2007; Cabrera-Soto et al., 2009). Los fenoles poseen propiedades antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades como cáncer, colesterol alto, arterioesclerosis (Serna-Saldívar, 2010; Herrera et al., 2017).

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles (constituidos por molécula de aglicona y un azúcar (Aguilera et al., 2011), pertenecen al grupo de flavonoides y son responsables de las coloraciones naranja, rojo, púrpura y azul en granos de maíz pigmentado (Egesel et al., 2003; Meskin et al., 2008). Estos pigmentos se concentran en las capas de pericarpio y aleurona (Salinas et al., 1999).

En la última década las antocianinas de maíz han despertado gran interés por sus propiedades nutraceuticas y su potencial para prevenir diferentes tipos de cáncer, actividad antiinflamatoria (Herrera-Sotero, 2017; Serna-Saldívar, 2010).

## **2.4 TIPOS DE MAÍZ**

### *Maíz duro*

Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto.

El endospermo está constituido sobre todo de almidón duro córneo con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano.

### *Maíz reventón*

Es una forma extrema de maíz duro con endospermo duro que ocupa la mayor parte del grano y una pequeña cantidad de almidón blando en la parte basal del mismo. Los granos son pequeños, con pericarpio grueso y varían en su forma de redondos a oblongos. Cuando se calienta el grano, revienta y el endospermo sale, es utilizado para preparar palomitas de maíz.

#### *Maíz dentado*

El maíz dentado es el tipo de maíz cultivado comúnmente para grano y ensilaje. El endosperma del maíz dentado tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano. Cuando el grano se comienza a secar, el almidón blando en la parte superior del grano se contrae y produce una pequeña depresión. Esto da la apariencia de un diente y de aquí su nombre. Los maíces de granos dentados tienen una mayor profundidad de inserción en el olote y tienden a tener a ser más difíciles de trillar que los maíces duros.

#### *Maíz harinoso*

El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando, que se raya fácilmente con la uña aun cuando el grano no esté maduro y pronto para cosechar. Estos maíces son casi únicamente usados como alimento humano y algunas razas se utilizan para la preparación de platos especiales y bebidas (Rooney et al., 2015).

#### *Maíz ceroso*

Actualmente estos maíces son cultivados en áreas muy limitadas de las zonas tropicales donde las poblaciones locales los prefieren para su alimentación; su nombre se debe a que su endospermo tiene un aspecto opaco y ceroso. El almidón en los maíces duros y dentados está comúnmente constituido por cerca 70% de amilopectina y 30% de amilosa; en cambio en los maíces cerosos está compuesto exclusivamente por amilopectina.

## 2.5 Formas de consumo

En el país existe un sin número de productos elaborados a partir del maíz, algunas formas en que se puede consumir son:

Tortillas	Esquites	Atole
Tostadas	Palomitas	Postres
Tamales	Tejate	Tejuino
Pozol	Elotes	

## 2.6 Tortillas de maíz

Más del 80% del consumo humano del maíz en México es a través de la tortilla y productos similares (tostadas y totopos). Las tortillas, forman parte de la gastronomía mexicana, con ella se elaboran un sin número de platillos, a partir de tres tipos de maíz, blanco, amarillo y de color (azul-morado), este último es popular en las zonas rurales y posee un simbolismo religioso y de importancia cultural, ya que en algunas poblaciones se consume en fiestas ceremoniales y anuales (Serna-Saldivar, 2013).

A nivel nacional 12 millones de toneladas de maíz blanco se destinaron a la industria harinera y de masa de nixtamal, aproximadamente 78, 852 establecimientos entre molinos y tortillerías se utilizan para satisfacer un consumo de 6.9 millones de toneladas de tortillas anualmente (SE, 2012).

La industria molinera de nixtamal utiliza el método tradicional de masa de maíz cuyos costos son altos, por otro lado la producción a partir de harina cuenta con mayores rendimientos, calidad, reconocimiento de marca, tecnologías y los costos son más bajos. En las ciudades prefieren tortillas de maíz blanco y generalmente elaborado de manera industrial, mientras que las zonas rurales la preferencia es hacia los productos de masa de nixtamal fresca y elaboradas de manera artesanal (Madalina Luga, 2019).

Alrededor del 82% de los hogares incluyen tortilla en su dieta, los hogares con menos recurso destinan el 25% del presupuesto alimentario a la adquisición de este producto, cerca de 4 millones de familias elaboran su propia tortilla (INEGI, 2010; Fernández-Suárez, 2013). La tortilla es la principal fuente de calorías y

calcio, con un consumo anual *per cápita* de 254 kg, mayormente en zonas rurales donde se consume 217 g por día (CONEVAL, 2019).

### **2.6.1 Elaboración de tortillas**

De acuerdo con Rooney y Serna, (2015), las tortillas se obtienen por tres procesos, forma tradicional industrial con masa fresca de maíz nixtamalizado e industrial con harina de maíz, gran parte se elabora de manera tradicional o elaborada a mano, sin embargo, el aumento de la demanda llevó a la mecanización del proceso lo que disminuye el tiempo de elaboración.

Para la elaboración de la tortilla se lleva a cabo la selección del maíz, el cual debe cumplir con las características físicas y químicas adecuadas con el fin de obtener tortillas con mejor calidad.

En la NMX-034 (2002), se establece la calidad comercial del grano de maíz blanco destinado al proceso de nixtamalización, esta calidad incluye variables del grano, entre las que destaca la dureza, así como pericarpio retenido en el nixtamal, pérdida de sólidos y humedad del nixtamal. Sin embargo, en áreas rurales la calidad del grano es evaluada de manera empírica sobre todo por mujeres quienes seleccionan su maíz con base en la experiencia y sus particularidades.

### 2.6.2 Proceso tradicional de elaboración de tortillas

En la figura 2, se observa el diagrama de flujo del proceso tradicional de la tortilla.

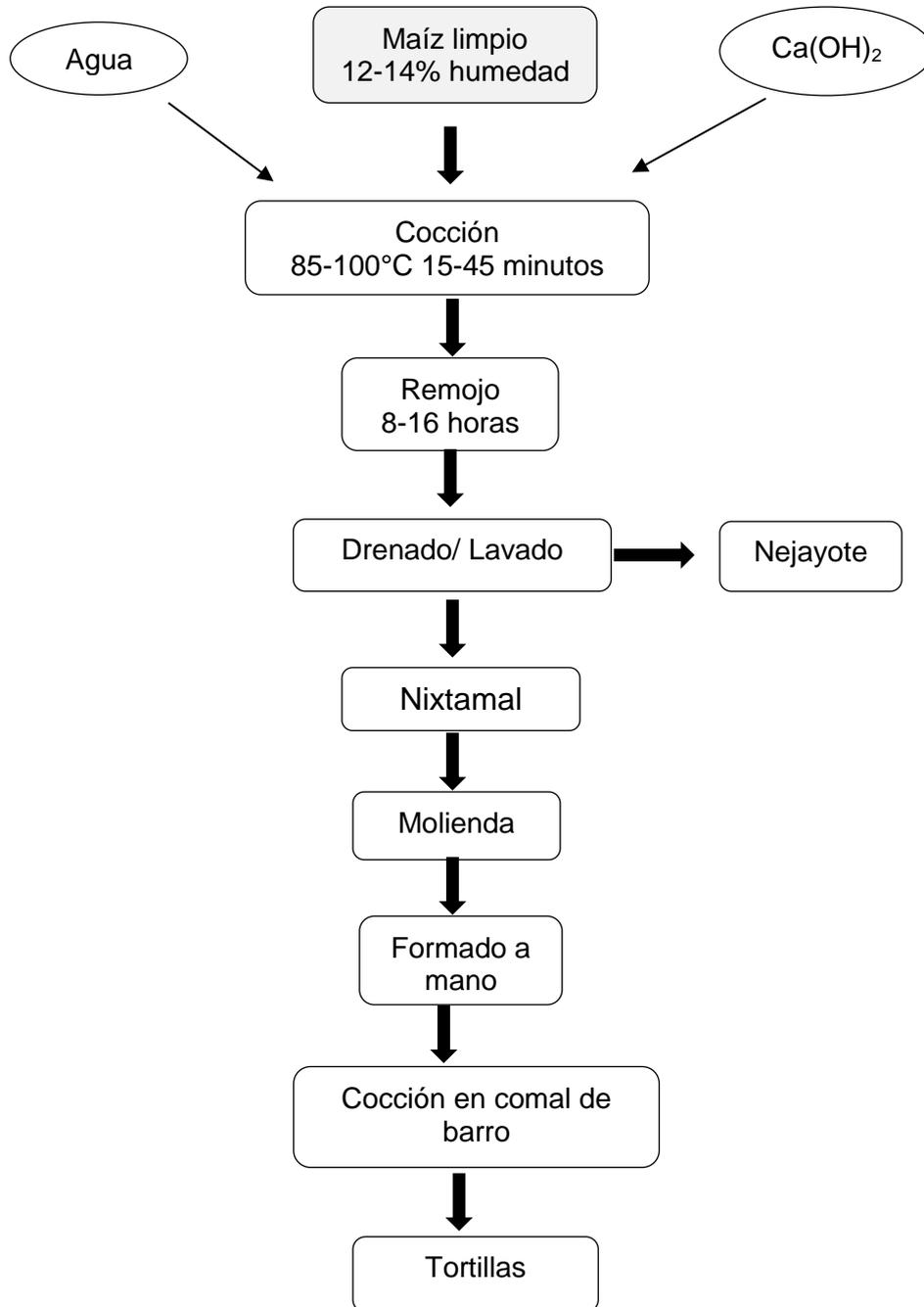


Figura 2. Proceso tradicional de elaboración de tortilla (Rooney y Serna, 2015).

*Cocción del maíz*

El maíz seleccionado se mezcla en una solución de cal, colocándolo a fuego de 80 a 100°C, durante 20 a 45 minutos, después se deja en reposo de 12 a 16 horas, a esta etapa del proceso se conoce como nixtamalización.

#### *Lavado*

Se realizan dos a tres lavados con agua y con la mano, se retira el exceso de cal y pericarpio adherido al grano, se deja escurrir antes de moler.

#### *Molienda*

El maíz nixtamalizado se muele, actualmente este proceso se lleva a cabo en un molino de piedras, aunque no ha dejado de usarse el metate en zonas rurales, se obtiene una masa húmeda, dicha masa debe tener las características óptimas de adhesividad y cohesividad para obtener una tortilla con suavidad y plasticidad (Salinas et al, 2010).

#### *Formado de tortilla*

La masa obtenida “amasa” de forma manual hasta que quede suave, con la mano se toma una porción de la masa, el tamaño varía de acuerdo al gusto y necesidades del consumidor. Esta porción se aplana con la mano o en una prensa de madera, hasta obtener una forma circular con el grosor requerido.

#### *Cocción*

La tortilla se coloca sobre un comal de barro, en esta etapa se utiliza comúnmente carbón o leña como combustible, se coloca de un lado luego se voltea para que la cocción se realice por ambos lados. Por efecto del calor la tortilla se “infla”, y después se vuelve a voltear, la cocción dura aproximadamente de 30 a 60 segundos. En algunas regiones la tortilla se deja cocinar por más tiempo para obtener “tlayudas” (Figura 3).



Figura 3. Elaboración de tortillas por el método tradicional (fotografías tomadas personalmente)

### **2.6.3 Proceso industrial de elaboración de tortillas**

La principal ventaja del método industrial en la elaboración de tortillas es el menor tiempo requerido, el maíz nixtamalizado se muele en molinos con discos de piedra, la masa fresca se coloca en una amasadora automática que después se vierte mediante una tolva sobre un rodillo que aplana y corta los discos con el diámetro y espesor seleccionado, posteriormente lo dirige hacia el comal antiadherente a través de una banda metálica donde se lleva a cabo la cocción (Figura 4). En este proceso se utiliza masa fresca o se prepara a partir de harina de maíz nixtamalizado.

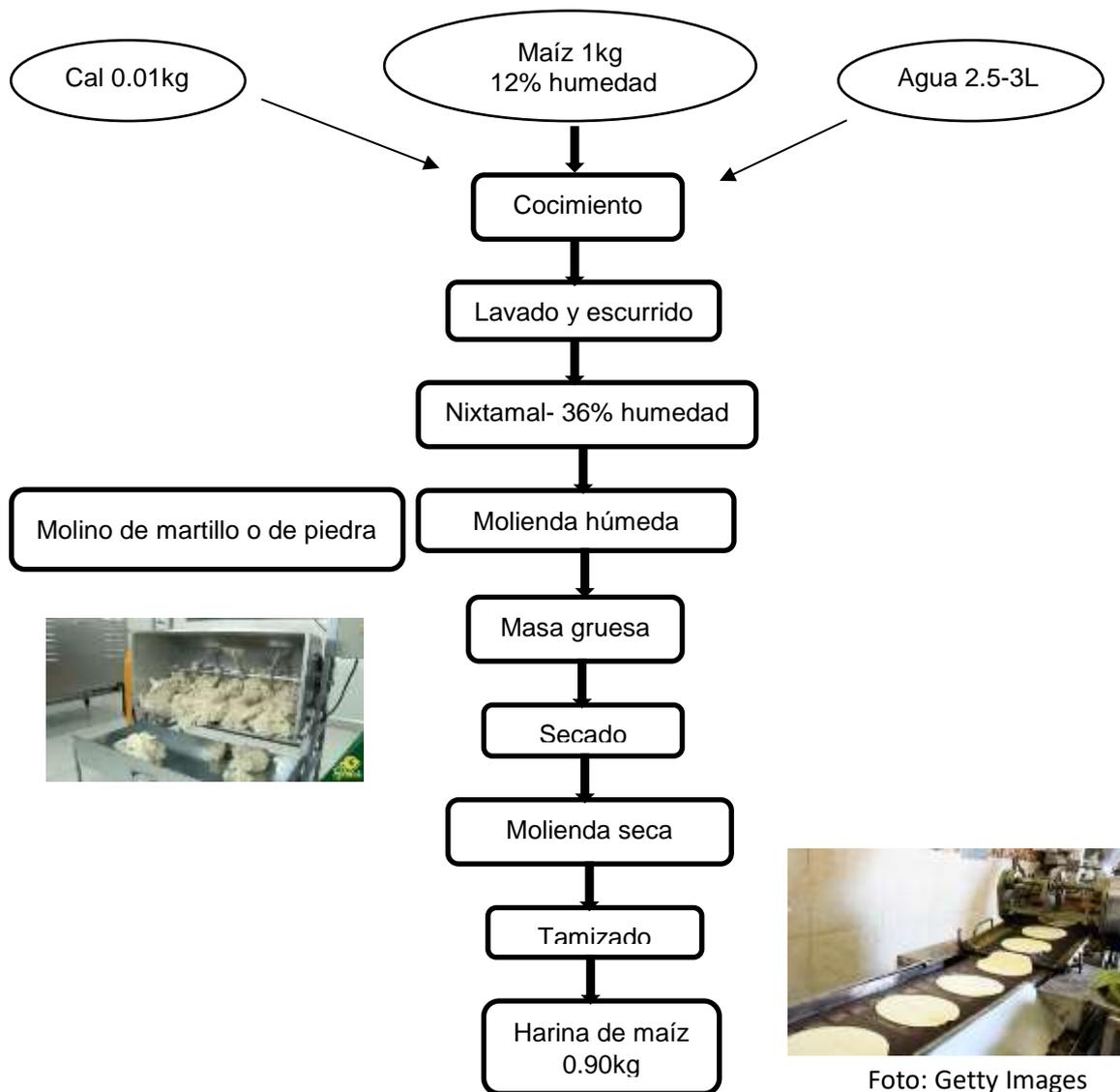


Figura 4. Proceso industrial de la elaboración de tortilla con harina de maíz (Rooney y Serna, 2015).

De acuerdo con las estimaciones de las propias empresas harineras, la tortilla comercial actualmente se produce en un 55 % con maíz grano y el otro 45 % con harina de maíz. No obstante que la producción de tortilla en base a la harina de maíz tiene ventajas al requerir menor inversión, menor costo de producción y menor contaminación; aún existe la preferencia por el maíz grano como materia prima de parte del consumidor y de los empresarios de la tortilla (FIRA, 2010).

*Tortillas de harina de maíz.*

Harina de maíz nixtamalizado es usado para producir tortillas y otros productos, el uso de harina de masa seca tiene ventaja de reducir la labor intensa del

proceso tradicional, desde la cocción del maíz hasta la cocción de la tortilla. Se utiliza especialmente maíz blanco, amarillo y azul, sin embargo, actualmente se procesan variedades e híbridos conocidos como quality protein maize o QPM, por su alto valor proteico (Serna-Saldivar et al., 2008) y para posicionar a la tortilla como un alimento nutritivo, energético y como una fuente de fibra y proteínas de alto valor biológico.

#### **2.6.4 Características de la tortilla**

Los consumidores muestran preferencias hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído. La rollabilidad es un parámetro asociado con la flexibilidad de las tortillas. Las tortillas frescas (recién elaboradas) son suaves y se enrollan fácilmente, en tanto que las tortillas almacenadas son rígidas, quebradizas y se rompen cuando se enrollan (Suhendro et al., 1999).

Cuando la masa tiene una textura adecuada, es lo suficientemente adhesiva para adherirse ligeramente a los rodillos laminadores de la máquina tortilladora y separarse adecuadamente. Si el maíz está sobre-cocido, la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente a los rodillos; el maíz sub-cocido produce una masa poco cohesiva, inadecuada para la formación de la tortilla (Ramírez Wong et al., 1994).

#### **2.7 Proceso de nixtamalización**

La conversión de maíz a tortilla es un proceso que se ha transmitido de generación a generación, originado en las zonas rurales de México y Centroamérica.

Nixtamalización proviene de las palabras (del náhuatl, *nextli*, cal de cenizas; y *tamalli*, masa cocida de maíz) fue desarrollado antes de la época precolombina, probablemente la primer solución alcalina utilizada para la cocción fue la ceniza de maderas, actualmente este proceso se utiliza ampliamente para la obtención de una gran variedad de productos como tortillas, botanas, atoles, entre otros (Paredes-López, 2009).

La nixtamalización consiste en la cocción de una parte de grano de maíz y dos partes de una solución de cal al 1 % a temperaturas cerca de la ebullición (80-100°C) durante aproximadamente 20 a 45 minutos, posteriormente se deja reposar de 8 a 16 horas, este proceso ablanda el grano y permite la hidrolización del pericarpio rico en fibras.

El nejayote o sobrenadante es decantado para posteriormente lavarlo con la mano para retirar la fibra del grano, se muele en metate o en un molino industrial para obtener una masa húmeda con el que se elaboran las tortillas (Paredes-López 2009).

Este proceso de nixtamalización tradicional involucra cambios químicos, estructurales y nutricionales en los diversos constituyentes del grano (Bressani, 1990; Ramírez-Wong et al., 1994; Wacher, 2003) Dando lugar a modificaciones en la calidad nutricional de la tortilla.

### **2.7.1 Efectos del proceso de nixtamalización**

El proceso de nixtamalización influye en el sabor de la tortilla el cual se ve reforzado por las reacciones de pardeamiento de Maillard que ocurren entre los azúcares y péptidos reductores y ácidos grasos insaturados (Wacher Carmen 2003).

Algunos cambios durante la nixtamalización tienen efecto sobre la calidad nutrimental de la tortilla,

- Altera la solubilidad de proteínas de maíz, zeína principal proteína del maíz disminuye su solubilidad, mientras que glutelina aumenta su solubilidad aumentando la disponibilidad de lisina y triptófano.
- Controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma y color de la tortilla.
- Disminuyen la solubilidad de albúminas y globulinas (solubles en agua salada) y prolaminas (solubles en alcohol).
- Aumento en el contenido de calcio en la tortilla (hasta 750%)

- El tratamiento alcalino libera niacina unida y la pone a disposición; esta es la razón por la cual las civilizaciones precolombinas no sufrieron pelagra
- Durante la nixtamalización se gelatiniza el almidón, es un cambio en la estructura de las moléculas de almidón, presentando una fase de transición del estado ordenado al estado desordenado.
- Se hidroliza la hemicelulosa del pericarpio. Pérdida de cantidades importantes de fibra dietética.
- Durante el reposo se presentan los fenómenos de difusión del agua al interior del grano, lo que origina cambios bioquímicos en su estructura molecular que modifica las características fisicoquímicas, reológicas y texturales del nixtamal, masa y tortillas (Arámbula, 2001).
- Incrementa el porcentaje de antocianinas glicosiladas, y disminuye las antocianinas aciladas, por lo tanto, puede hacer más disponible los compuestos con potencial nutraceutico como en el caso de tortillas de maíz azul (Mora-Rochin, 2010).

## **2.8 Calidad nutricional de la tortilla**

Las características físicas y químicas del grano de maíz influyen en la calidad de la tortilla, la selección del grano para los procesos industriales están determinadas por estas características por el contrario, en áreas rurales la selección es de acuerdo con sus preferencias, gusto y color (Antuna et al, 2008; Salinas et al., 2010). Durante el proceso de elaboración se modifican las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa y por consecuencia de la tortilla (Arámbula et al, 2001).

La importancia de la tortilla en la dieta es fundamental, es fuente de calorías y calcio (Serna-Saldívar et al., 2008) puede proporcionar de 32 a 62 % de los requerimientos mínimos de hierro (Paredes-López et al., 2009).

En el cuadro 5, se representa la composición del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación caseras e industrial.

Cuadro 5. Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industrial

Producto	Humedad %	Proteínas %	Grasas %	Cenizas %	Fibra cruda %	Carbohidratos %	Calorías por 100g
<b>Maíz</b>							
Blanco	15.9	8.1	4.8	1.3	1.1	70.0	356
Amarillo	12.2	8.4	4.5	1.1	1.3	73.9	370
Blanco	13.8	8.3	-	1.2	-	-	-
<b>Tortillas</b>							
Blanco	47.8	5.4	1.0	0.8	0.7	44.5	204
Amarillo	47.8	5.6	1.3	0.8	0.6	44.4	212
Blanco	41.9	5.8	-	0.9	-	-	-
Industrial	40.5	5.8	0.9	1.1	1.4	50.3	226
Industrial	44.0	5.3	3.4	1.2	0.7	42.8	215
Industrial	45.2	5.2	3.1	1.4	1.1	41.1	206

FAO, 2001.

Gutiérrez et al., (2008) (Cuadro 6). Describen la composición de tortillas de diferente color de grano (blanco, amarillo y azul). La composición de la tortilla puede ser diferente, debido a diferencias en el proceso de producción o calidad del grano utilizado.

Cuadro 6. Contenido nutrimental de tortillas de maíz blanco, amarillo y azul.

Contenido (100g)	Tortilla de maíz blanco	Tortilla de maíz amarillo	Tortilla de maíz azul
Humedad	42.4	47.5	47.5
Carbohidratos g	47.2	45.3	54
Proteínas (g)	5.9	4.6	4.9
Lípidos (g)	1.5	1.8	2.7
Fibra (%)	4.4	2.0	2.0
Energía (cal)	224.0	214	259

Gutiérrez et al., 2008

## **2.9 Fortificación de la tortilla**

Los seres humanos necesitan más de 20 elementos minerales y más de 40 nutrientes, en particular vitaminas y aminoácidos esenciales, los cuales pueden ser aportados por una dieta adecuada. Sin embargo, las dietas humanas a menudo carecen de uno o más de estos nutrientes esenciales. Dietas de mala calidad, caracterizadas por una alta ingesta de alimentos básicos y un bajo consumo de productos animales y pesqueros, frutas, legumbres y verduras (todas fuentes ricas en minerales biodisponibles y vitaminas), causan desnutrición de micronutrientes (Pfeiffer, WH y McClafferty, B. 2007)

La fortificación consiste en que a un alimento o producto alimenticio se le han añadido algunos nutrimentos, especialmente vitaminas o minerales para restaurar o aumentar su valor nutricional.

Mediante el enriquecimiento se restauran o incluso se superan los niveles iniciales de los nutrimentos perdidos durante la manipulación del alimento. El término fortificación, sin embargo, se aplica a aquellas situaciones en las que se añade un determinado nutrimento a un alimento que originalmente carecía de él. Por su alto consumo en México, las tortillas de maíz se pueden utilizar como vehículo para disminuir o abatir el problema de mala nutrición proteica y de micronutrientes (Amaya-Guerra, 2003).

La utilización del maíz como principal alimento básico; los beneficios para la salud por la ingestión de compuestos funcionales como los presentes en el maíz; y la necesidad de reducir las deficiencias de minerales y provitamina A en el maíz, hace de este un cultivo de gran interés para las estrategias de biofortificación, el cual consiste en desarrollar variedades de cultivos con altos contenidos de minerales mediante fitomejoramiento (Da Silva Messias, 2013; Ortiz-Monasterio, 2007).

Desde 1999, la Secretaría de Salud inició un programa para promover la adición de nutrimentos a las harinas de trigo y de maíz que se procesan industrialmente. El objetivo primordial es restaurar los nutrimentos que se pierden durante el proceso de obtención de las harinas y durante la fabricación

de los alimentos a partir de las harinas. Durante la molienda del maíz se pierde aproximadamente 13 mg de hierro por kilogramo de harina, considerando las pérdidas posteriores en proceso, se recomienda la adición de 30 mg/kg de harina ya que el hierro es un elemento primordial para la alimentación en México (Rosado et al., 1999).

Se propuso la adición de 5 mg/kg de tiamina (mononitrato de tiamina), 3 mg/kg de riboflavina (hidroclorhidrato de riboflavina), 35 mg/kg de niacina (nicotinamida), 30 mg/kg de hierro (hierro reducido extrafino) y 20 mg/kg de zinc (óxido de zinc) para harinas de maíz y trigo, así como 2 mg/kg y 0.5 mg/kg de ácido fólico para las harinas de trigo y maíz, respectivamente (Rosado et al., 1999).

Pfeiffer, WH y McClafferty, B. (2007), se centran en reducir la malnutrición por deficiencia de micronutrientes Fe, Zn y provitamina A, en cultivos de mayor consumo como maíz y trigo (Ortiz Monasterio, 2007). Entre sus objetivos está aumentar el valor nutricional del grano de maíz mediante el gen *opaco2* (*o2*). El gen mutante *o2* se expresa en condición homocigótica recesiva y determina un mayor contenido de lisina y triptófano (Mertz et al., 1964; Krivanek et al., 2007). Mediante técnicas de mejoramiento tradicional se incorporaron otros genes y se obtuvieron maíces con características muy semejantes a genotipos no modificados se denominaron maíces con alta calidad de proteína (MCP o QPM, siglas en inglés).

A pesar de la biofortificación de cultivos, se sigue considerando la deficiencia de nutrientes en el grano de maíz y por lo tanto en sus productos. Esto ha llevado a buscar alternativas para mejorar la calidad nutricional principalmente de tortilla y utilizarlo como la principal vía de fortificación por el alto consumo en poblaciones de bajos recursos.

Diversas investigaciones se han realizado para mejorar la calidad de la tortilla de maíz, como es el caso de Figueroa-Cárdenas (2001), con la adición de 0.15% de premezcla de vitaminas y minerales, por otra parte, la adición de

pasta de soya desgrasada (4 %), observó que el maíz comercial pierde aproximadamente 1.5 % de proteínas durante su transformación a tortilla, mientras que la tortilla de nixtamal fortificada con 4 % de soya desgrasada (TNS) presentó 3 % más proteína que la tortilla normal. También reportó que los componentes vitamínicos que más se perdieron fueron la riboflavina y el ácido fólico, cuyas pérdidas fueron muy elevadas especialmente durante la etapa de cocción de la tortilla.

Hernández –Hernández (2003), evaluó el efecto de la adición de harina de nopal natural y libre de clorofila en la elaboración de tortillas de maíz, reportó un aumento en el contenido de fibra dietética y minerales así también encontró una mejora la textura de la tortilla.

Cuevas Martínez (2010), determinó el efecto de la adición de frijol blanco (*Phaseolus vulgaris* L.) en las tortillas elaboradas con maíz (híbrido comercial) utilizando el proceso tradicional de nixtamalización. Se reportó que la adición de 25 % de frijol aumentó en 56 y 36 % el contenido de lisina y triptófano, esto es, mejora la calidad proteica de las tortillas además presentaron propiedades fisicoquímicas y texturales similares a las tortillas normales.

Otras alternativas para fortalecer la calidad proteica de la tortilla de maíz es la propuesta por Hernández Alvarez, (2010), quien realizó el enriquecimiento proteico de la masa de maíz con harina de *Eisenia foetida*, (lombriz roja californiana), sin embargo, a pesar del aumento en el contenido de proteínas, una adición mayor al 0.5 % modifica las características de sabor, color de las tortillas.

Leucona-Villanueva (2012), evaluó la calidad nutricional de tortillas adicionadas con proteína cruda de *Phaseolus lunatus* más lisina y triptófano, esta fortificación mejora el contenido de aminoácidos y la digestibilidad in vitro sin alterar sus características fisicoquímicas de sabor, color y olor.

Vásquez-Rodríguez (2013), utilizando harina de maíz comercial realizó formulaciones para fortificar la tortilla de maíz con amaranto (*Amaranthus spp*),

frijol (*Phaseolus vulgaris*), reportaron buen nivel de agrado y propiedades texturales similares a la tortilla de maíz nixtamalizado. El contenido de lisina y triptófano incrementó hasta 48 % y 40 % respectivamente con la fortificación maíz-frijol-amaranto siendo una buena alternativa de fortificación.

Cortés Soriano (2016), reportó un aumento en la calidad de proteína y fibra de la tortilla elaborada con harina de maíz y de avena nixtamalizada, sin embargo, al aumentar el porcentaje de harina de avena altera las propiedades organolépticas de la tortilla, por lo que la adición de un 20 % de harina de avena es recomendada para obtener una tortilla con mayor contenido de proteínas sin alterar las propiedades de la tortilla.

Treviño Mejía, et al., (2016), mostraron resultados que sugieren que la adición de harina de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a harina de maíz incrementa los valores nutraceuticos en tortillas sin modificar sus atributos sensoriales. La tortillas de harina de maíz fortificadas con frijol común presentaron mayor contenido de proteína (10.89 %) y fibra dietética (12.76 %) que la tortilla de harina de maíz comercial (9.47 % y 5.78 % respectivamente), también presentaron mayor contenido de fenoles y flavonoides (2.13 mg eq ácido gálico/g y 62.59 mg eq rutina/g respectivamente).

Así mismo, Arguello-García et al (2017), determinaron las propiedades de textura, química y sensorial de tortillas de maíz fortificadas con harina de *Jatropha curcas* L. no tóxica, el cual contiene alto contenido de proteínas, se añadió un 20 % de esta harina a la harina comercial de maíz (maseca), se reportó un incremento hasta del 6.20 %, y sin afectar las propiedades reológicas y sensoriales de la tortilla, así mismo no se afectó la aceptación de los consumidores.

### **CAPÍTULO III**

### **CONCLUSIONES**

Las diversas propiedades y características del grano de maíz permiten obtener múltiples productos principalmente la tortilla, considerada como alimento fundamental en la dieta de los mexicanos.

Para su elaboración el maíz es sometido a una cocción con cal, este proceso se conoce como nixtamalización, el maíz se transforma en una masa que después de ser aplanada en forma circular se somete a cocción sobre un comal obteniendo las tortillas, este método tradicional es preferido por los consumidores.

El proceso de nixtamalización involucra cambios en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales, favorece el incremento de calcio y niacina. La tortilla aporta además carbohidratos, fibra, proteínas, aminoácidos, compuestos bioactivos, aun cuando se considera deficiente en lisina y triptófano.

La adición de vitaminas y minerales, además del fortalecimiento con otros productos comestibles como nopal, avena, frijol, amaranto entre otros, aumentan las propiedades nutricionales de la tortilla, especialmente mejora su calidad proteica.

La tortilla es un buen alimento para fortalecer una dieta saludable y disminuir la mala nutrición en la población.

## CAPÍTULO IV

### REFERENCIAS

- Agama-Acevedo, E., Marie-Astrid Ottenhof, M.A., Farhat, I.A., Paredes-López, O., Ortíz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L.A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia* 39: 419-429.
- Aguilera Ortíz, M., Reza Vargas, M.C., Chew Madinaveitia, R.G y Meza Velázquez, J.A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *BIOtecnia / XIII* (2): 16-22.
- Amaya Guerra, C.A. (2003). Efectos de la fortificación y enriquecimiento de tortillas regulares y de maíz de alta calidad proteica en el desarrollo fisiológico, cerebral y desempeño en el aprendizaje de ratas de laboratorio. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 173 p.
- Antuna Grijalva, O., Rodríguez Herrera, S.A., Arámbula Villa, G., Palomo Gil, A., Gutiérrez Arías, E., Espinosa Banda, A., Navarro Orona, E.F., Andrio Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 31(número Especial 3): 23-27.
- Arámbula, VG., Barrón A, L., Moreno M, J.E., Luna B, G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo de grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano masa y tortilla de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 187-194.
- Argüello García E., Martínez-Herrera J., Córdova Téllez L., Sánchez Sánchez O y Corona Torres T. (2017). Plant Genetic Resources Program, C. Textural, chemical and sensorial properties of maize tortillas fortified with nontoxic *Jatropha curcas* L. flour. *Journal of Food*. 15(2):301–306
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. En S. Badui Dergal, *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación. 736 p.

- Benítez Cardoza, C.G y Dfeiffer Perea, H. (2006). El maíz: origen, composición química y morfológica. *Materiales Avanzados*. 7:15-20.
- Bressani, R., Breuner, M., Ortiz, M.A. 1989. Contenido de fibra ácido y neutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 39: 382-391.
- Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E. y Ortíz M.A. (1990). Changes in selected nutriente contents in protein quality of common and quality-protein Maize during rural tortilla preparation. *Cereal Chemistry* 67: 515-518.
- Cabrera Soto, M.L., Salinas Moreno, Y., Velázquez Cardelas, G.A., Espinosa Trujillo E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia* 43: 827-839.
- Cázares Sánchez, E., Chávez Servia, J.L., Salinas-Moreno, Y., Castillo González, F., Ramírez Vallejo, P. (2015). Variación de la composición química de grano en variedades nativas de maíz de Yucatán. *Agrociencia* 49:15-30.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2010. Contenido y valor de las líneas de bienestar: base de datos en línea.
- Cortes Soriano, I., Buendía González, M.A., Palacios Rojas, N., Martínez Cruz, E., Villaseñor Mir, H.E y Hortelano Santa Rosa, R. (2016). Evaluación de la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena (*Avena Sativa* L.) nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(7): 1715-1725
- Cuevas-Martínez, D., Moreno-Ramos, C., Martínez-Manrique, E., Moreno-Martínez,E., Méndez-Albores, A. (2010). Nutrition and texture evaluation of maize-white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia*. 35(11): 828-832

- Cukelj, N., Novotni, D., Ćurić, D. (2010). Antioxidant Properties of Whole Grain Cereals. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*. 5 (1-2):18-23.
- Da Silva Messia, R., Galli, V., Dos Anjos E., Silva, S.D y Artigas Schiermer, M. (2013). Micronutrient and Functional Compounds Biofortification of Maize Grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55(1).
- De la Parra, C., Serna, S.O y Liu, R.H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortilla and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(10): 4177–4183
- Dickerson, G. (2008). Nutritional analysis of new México blue corn and dent corn kernels. *Cooperative Extension of Agriculture*. 20: 7-8.
- Egesel, C.D., Wong, J.C., Lambert, R.J y Rocheford, T.R. (2003). Combining Ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols. *Cropscience*. 43:818-823.
- FAO, 2001. Maize in human nutrition. Food and nutrition series No. 25. Rome Italy. 50 p.
- FAOSTAT. 2016. Area harvested and production 2016. [http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity)
- Fernández Suárez, R., Morales Chávez, L.A y Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta Nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 275-283.
- FIRA (2008). La competitividad en la industria del maíz. Boletín informativo. Nueva época. No.2.
- Figuroa Cárdenas, J.D., Acero Godinez, M.G., Vasco Méndez, N.L., Lozano Guzmán, A., Flores Acosta, L.M., y González-Hernández, J. (2001). Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3): 293-302.
- Galarza, J.M. (2011). Situación actual y perspectivas del maíz en México. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, 208 p.

- González Torres, L., Téllez Valencia, A., Sampedro, J.P y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *RESPYN*. 8(2).
- Gutiérrez, V.L., A.L. Pérez, M., (2008). Identificación y cuantificación de los colorantes presentes en tortillas azules. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química, pp. 10,15, 24.
- Hernández Alvarez, A. (2010). Enriquecimiento proteínico de la tortilla de maíz con harina de *Eisenia foetida*. Tesis profesional. UAAAN
- Hernández Hernández, E. (2003). Evaluación del efecto de la adición de harina de nopal (*Opuntia ssp*) natural y libre de clorofila en la elaboración de tortillas de maíz. [Tesis de Licenciatura]. UAAAN.
- Herrera Sotero, M.Y., Cruz Hernández, C.D., Trujillo Carretero, C., Rodríguez Dorante, M., García Galindo, H.H., Chávez Servia, J.L., Oliart Ros, R.M y Guzmán Gerónimo, R.I. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chem Central Journal*. 11:110.
- Huang, S., Whitney, R.A., Zhou, Q., Kathleen, P.M., Dale, A.V., Jan, A., Alan, L.K., Luethy, M.H (2004). Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 52(7): 1958-1964.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, y Geografía). 2010. Encuesta de Población y Vivienda del INEGI, 2010.
- Kato Yamakake, T.A., Mapes Sánchez, C., Mera Obando, L.M., Serratos Hernández, J.A y Bye Boettler, R.A. (2009). UNAM CONABIO. México, D.F. 116 p.
- Krivanek, A.F., H. De Groote, N. S., Gunaratna, A.O., Diallo, y Friesen, D. (2007). Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal Biotechnology*. 6: 312- 324.
- Lecuona-Villanueva, A., Betancur-Ancona, D.A., Chel-Guerrero, L.A., Castellanos-Ruelas, A.F. (2012). Protein Fortification of Corn Tortillas:

Effects on Physicochemical Characteristics, Nutritional Value and Acceptance. *Food and Nutrition Sciences*. 3:1658-1663.

Lozano Alejo, N., Vásquez Carrillo, G., Pixley, K y Palacios Rojas, N. (2007). Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 385-389.

Mădălina Luga., Ávila Akerberg, V.D., González Martínez, T.M y Mironeasa, S. (2019). Consumer preferences and sensory profile related to the physico-chemical properties and texture of different maize tortillas types. *Foods*. 8:533

Martínez Martínez, R., Chávez-Servia, J.L., Vera-Guzmán, A.M., Aquino-Bolaños, E.N., Carrillo-Rodríguez, J.C., Pérez Herrera, A. (2019). Phenotypic variation in grain mineral compositions of pigmented maize conserved in indigenous communities of Mexico. *Maydica electronic publication*. 64-M2

Mestres, C., Colonna, P., Buleon, A. (1988). Gelation and crystallisation of maize starch after pasting, drum-drying and extrusion cooking. *Journal Cereal Science*. 7:123-134.

Melendez Martínez, A.J., Vicario, I.M y Heredia, F.J. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54.

Mertz, E.T., Bates, L.S., Nelson, O.E. (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*. 145:279-280.

Meskin M.S, Bidlack W. R., Randolph R. K. (2008). Phytochemicals. Aging and Health. *Taylor & Francis Group*, LLC, p 205.

Mora-Rochin S, Gutiérrez-Urbe, J.A., Serna-Saldívar, S.O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization cooking. *Journal Cereal Science*. 52:502-508.

- Nascimento, A.C., Mota, C., Coelho, I., Gueifao, S., Santos, M., Matos, A.S., Gimenez, A., Lobo, M., Samman, N., Castanheira, I. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*) amaranth (*Amaranthus caudatus*) and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*. 148: 420-426.
- Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF034-2002-SCFI-Parte-1 (2002). Productos alimenticios no industrializados-para consumo humano-cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Ortiz-Monasterio, J., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R., Pena, R. (2007). Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science* 46: 293-307.
- Paliwal, L., Ripusodan, Granados G., Renée Lafitte, H y Violic, A.O. (2001). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Roma, 2001.
- Paredes López, O., Guevara Lara, F y Bello Pérez, L.A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*: 60-70.
- Pfeiffer, WH y McClafferty, B. (2007). HarvestPlus: mejoramiento de cultivos para una mejor nutrición. *Crop Science* , 47 , S-88.
- Prasanthi P.S., Naveena, N., Rao, M.V., Bhaskarachary, K. (2017). composition variability of nutrients and physicochemical in corn after processing. *Journal Food Science Technology*. 54: 1080-1090.
- Ramírez-Wong, B., y Ortega, F. (1994). Evaluación de las propiedades reológicas de la masa y tortillas de maíz comerciales. *Ciencias Alimentarias*. 2:1-8.
- Rodríguez Pichiling, C. (1999). Elementos químicos en algunos vegetales comestibles. *Revista Peruana Química. Ingeniería Química*. 2: 90-96.

- Rooney, L.W y Serna-Saldívar, S.O. (2015). Tortillas. Wheat flour and corn products. AACC International.
- Rosado, J.L., Camacho, R., Bourges, H. (1999). Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud Pública de México*. 41(2):130-137
- Salinas Moreno, Y., Soto H, M., Martínez B, F., González H, V., Ortega P, R. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 22:161-174.
- Salinas Moreno, Y., Pérez H.P., Castillo M.J., Álvarez R, L.A. (2003). Relación de amilosa:amilopectina en el almidón de harina nixtamalizadas de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(2):115-121.
- Salinas Moreno, Y., Gómez Montiel, N.O., Cervantes Martínez, J.E., Sierra Macías, M., Palafox Caballero, A., Betanzos Mendoza, E y Coutiño Estrada, B. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(4):509-523
- Sánchez, F.C., Salinas Moreno, Y., Vázquez C, G., Velázquez C, G.A., Aguilar G, N. (2007). Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57:295-301.
- Serna S, S.O., Amaya G, C.A., Herrera M, P., Melesio C, J.L., Preciado O, R.E., Terrón I, A.D y Vázquez C, G. (2008). Evaluation of the time-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. *P. Food Human Nutrition*. 63: 119-125.
- Serna- Saldívar, S.O. (2010). Cereal grains, properties, processing and nutritional attributes. Press. Taylor and Francis groups. *Crop Science* 50:2649.
- Serna- Saldívar, S.O., Gutiérrez, J.A., Mora, RS y García, LS. (2013). Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Meixcana*. 36: 295-304.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Estadísticas de producción agrícola 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. Ciudad de México, México. [http://siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019](http://siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019).
- Suhendro, E.L.; Almeida-Domínguez, H.D.; Ronney, L.W.; Waniska, R.D. y Moreira, R.G. (1999). Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *Cereal Chemistry*. 76(4):536-540.
- Treviño Mejía, D., Luna Vital, D.A., Gaytán Martínez, M., Mendoza, S y Loarca-Pina, G. (2016). Fortification of commercial nixtamalized maize (*Zea mays* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) increased the nutritional and nutraceutical content of tortillas without modifying sensory properties. *Journal of Food Quality*. 39:569–579.
- Vázquez Rodríguez, J.A., y Amaya Guerra, C.A. (2010). Evaluación sensorial de tortillas de maíz fortificadas con harina de amaranto, frijol y nopal. In XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (pp. 111-117). Guanajuato México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vera-Guzmán, A.M., Chávez-Servia, J.L., y Carrillo Rodríguez, J.C. (2012). Proteína, lisina y triptófano en poblaciones nativas de maíz mixteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35 (Especial 5): 7-13.
- Wacher, C. (2003). Nixtamalization, a Mesoamerican technology to process maize at small-scale with great potential for improving the nutritional quality of maize based Foods. 2nd International Workshop Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles. *Food-based approaches for a healthy Nutrition*. Ouagadougou.
- World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO/FAO). (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Geneva, Switzerland, 341p.
- Žilić, S., Serpen, A., Akilloğlu, G., Gökmen, V y Vančetovic, J. (2012). Phenolic Compounds, Carotenoids, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity of Colored Maize (*Zea mays* L.) Kernels. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. (60):1224–1231.