

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**  
**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y**  
**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**Desarrollo de una tortilla de maíz nixtamalizado adicionada con  
harina de Chía (*Salvia hispánica* L.) para incrementar su valor  
nutritivo**

**Por:**

**OFELIA BETSABE GONZÁLEZ SÁNCHEZ**

**T E S I S**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:  
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Saltillo, Coahuila, México**

**Noviembre 2018**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

Desarrollo de una tortilla de maíz nixtamalizado adicionada con harina de Chía (*Salvia hispánica L.*) para incrementar su valor nutritivo

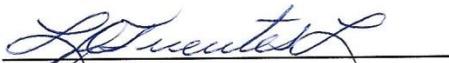
Presentada por:

**OFELIA BETSABE GONZÁLEZ SÁNCHEZ**

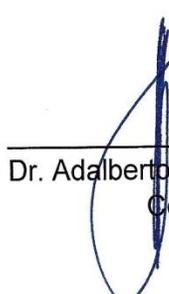
Que ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

JURADO EXAMINADOR



M.E. Laura Olivia Fuentes Lara  
Asesor principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Coasesor



Dra. Xóchitl Ruelas Chacón  
Coasesor



Dr. José Duñez Alanís  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México; Noviembre del 2018

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo va dedicado a las dos personas más importantes en mi vida...

**A mi madre**

**La persona que más amo y admiro en este mundo.**

**A mi hijo Santiago Aldahir**

**El motor de mi vida y mi fuerza para seguir adelante.**

## **AGRADECIMIENTOS**

## **A mi madre**

Te agradezco infinitamente por todo tu apoyo, por siempre cuidar de mí, a ti te dedico todos mis logros. Eres la mejor persona que conozco y cada día me demuestras como salir adelante y no rendirse nunca. Gracias por todo tu amor y dedicación, por preocuparte por nosotros y que no nos falte nada. Este logro es tuyo mamita. Te amo.

## **A mi hijo Santiago**

Aun eres pequeño, pero cada día me sorprendes por todas las cosas que me enseñas, sabes que gracias a ti trato de ser una mejor persona todos los días. Eres mi gran amor y mi fuerza para seguir adelante. Te amo con todo mi corazón mi niño.

## **A mi hermana Saraí Berenice**

Gracias por siempre estar para mí en mis momentos más difíciles, por escucharme y estar al pendiente, sin tu apoyo no hubiera alcanzado este objetivo. Te amo hermanita.

## **A mi hermano Tony Sánchez**

Te agradezco por tus consejos, y apoyarme cuando más lo necesito. Eres un gran ejemplo para mí, y aunque a veces no tenemos la misma opinión de las cosas sabes que te amo. De corazón gracias por todo.

## **A mis abuelos Ofelia y Pablo**

Las personas que me dan su sabiduría y experiencia, forman parte de este logro. Los adoro mis viejitos.

## **M.E Laura Oliva Fuentes**

Gracias por todo su apoyo en la realización de mi tesis, por siempre estar al pendiente y mostrar su interés para sacar adelante este trabajo. De igual manera por sus consejos cuando lo necesité. Es una excelente profesora.

**Dra. Xóchitl Ruelas Chacón**

Por los conocimientos transmitidos durante la carrera, es una excelente persona que siempre está al pendiente de sus alumnos.

**Dr. Adalberto Benavides Mendoza**

Gracias por dedicar sus conocimientos en la elaboración de este trabajo.

**Dr. Antonio Aguilera Carbó**

Por su dedicación en la elaboración de este trabajo y sus conocimientos impartidos en clase.

**T.Q.L Carlos Arévalo San Miguel**

Por su paciencia y dedicación durante la etapa experimental en el laboratorio, por resolver mis dudas.

**A mi mejor amiga Sandra Ayala Castañeda**

Muchas gracias por estos 5 años de amistad y por siempre estar para mí cuando más lo necesito, por tus consejos y regaños. Espero que esta amistad dure muchísimos años más. Sabes que siempre contarás conmigo te quiero mucho amiga y recuerda que formas parte de mi familia.

**Al Ing. Gerardo Alfaro Rico**

Muchísimas gracias por todo tu apoyo durante toda mi carrera cuñado, porque cuando pase por momentos difíciles siempre estuvieron Sara y tú para apoyarme.

### **A Eduardo S.**

Gracias por todo tu apoyo durante nuestra etapa universitaria y aun fuera de ella. Eres una persona muy importante para mí.

### **A mis compañeros de la carrera de I.C.T.A**

Les deseo el mejor de los éxitos y que logren todos sus objetivos.

### **A mis profesores**

Gracias por todos sus conocimientos impartidos en clase, de cada uno de ellos aprendí muchas cosas que siempre recordare.

### **A mi ALMA MATER**

Sin duda alguna una de las mejores etapas de mi vida la pase en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Me llevare gratos recuerdos. Y espero poner en alto a mi gran alma mater. ¡Buitre por siempre!

# ÍNDICE GENERAL

ii	
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.2 HIPÓTESIS .....	3
<b>1.3 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1 EL MAÍZ .....	5
2.1.2 IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO .....	6
2.1.3 USOS .....	7
2.1.4 PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN .....	8
2.2 TORTILLA .....	12
2.3 LA CHÍA .....	14
2.3.1 ORIGEN .....	15
2.3.2 TAXONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS .....	17
2.3.3 CONDICIONES DE CULTIVO .....	18
2.3.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO .....	19
2.3.5 LA COSECHA .....	19
2.3.6 RENDIMIENTO DE LA COSECHA .....	20
2.3.7 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA .....	20
2.4 ÁCIDOS GRASOS .....	20
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 LOCALIZACIÓN .....	24
3.2 MATERIA PRIMA .....	24
3.3 MATERIALES UTILIZADOS .....	24
3.4 EQUIPOS UTILIZADOS .....	25
3.5 REACTIVOS UTILIZADOS .....	26

3.6 ETAPA 1: ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DE UNA TORTILLA .....	27
3.6.1 OBTENCIÓN DE HARINA DE CHIA .....	27
3.6.2 PREPARACIÓN DE LA TORTILLA .....	28
3.7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA .....	31
3.7.1 % MATERIA SECA TOTAL .....	32
3.7.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS TOTALES O MINERALES .....	33
3.7.3 DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO O GRASA TOTAL .....	34
3.7.4 DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA .....	36
3.7.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA MÉTODO KJELDHAL.....	37
3.7.6 DETERMINACIÓN DEL EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (ELN) O CARBOHIDRATOS TOTALES .....	39
3.7.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO CALÓRICO (kcal).....	40
3.7.8 DETERMINACIÓN DE COLOR .....	41
3.7.9 DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES.....	42
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO .....	45
4.2 % HUMEDAD Y MATERIA SECA TOTAL .....	46
4.3 CENIZA .....	47
En el Gráfico 2 nos señala que el contenido de ceniza total (%) en base a la concentración de harina de Chía son estadísticamente diferentes según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ). .....	47
4.4 FIBRA CRUDA.....	48
4.5 PROTEINA CRUDA.....	49
4.6 EXTRACTO ETÉREO O GRASA.....	51
4.7 EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (CARBOHIDRATOS) .....	52
4.8 CONTENIDO CALÓRICO .....	53
4.9 COLOR (L*, a* y b*) .....	53
4.10 ÁCIDOS GRASOS .....	55
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>
PAGINAS DE INTERNET .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maíz amarillo.....	5
Figura 2. El maíz en la antigüedad.....	6
Figura 3. Balanza comercial de maíz en México, 2005 – 2015.....	7
Figura 4. Nixtamalización.....	9
Figura 5. Tortilla de maíz nixtamalizado.....	12
Figura 6. Semillas de Chía.....	14
Figura 7. Bebida nutricional a base de planta de Chía en la época prehispánica.....	16
Figura 8. Planta de Chía.....	18
Figura 9. Estructura de los ácidos grasos esenciales.....	22
Figura 10. Obtención de harina de Chía.....	28
Figura 11. Pesado de la masa.....	29
Figura 12. Masa con harina de Chía.....	29
Figura 13. Masa con harina de Chía.....	30
Figura 14. Cocimiento de las tortillas.....	30
Figura 15. Identificación de tortillas.....	31
Figura 16. Tortillas de harina de Chía después del deshidratado.....	32
Figura 17. Recipientes identificados con cada una de las concentraciones de harina de Chía.....	32
Figura 18. Crisoles de porcelana en estufa de aire caliente.....	33
Figura 19. Incineración de muestras.....	34
Figura 20. Dedales de asbesto con muestras.....	35
Figura 21. Aparato de reflujo Soxhlet.....	35
Figura 22. Aparato de reflujo para determinar fibra cruda.....	36
Figura 23. Muestras de fibra en tela de lino.....	37
Figura 24. Preparación de muestras para digestión.....	38
Figura 25. Recuperación de muestra.....	39
Figura 26. Colorímetro marca Konica Minolta.....	41
Figura 27. Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosistem XL.....	42
Figura 28. Separación de fases.....	43
Figura 29. Muestras de ácidos grasos.....	44
Figura 30. Diagrama de cromaticidad.....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de Chía ( <i>Salvia hispánica</i> L.) .....	17
Cuadro 2. Equipos utilizados .....	25
Cuadro 3. FORMULACIONES DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS .....	27
Cuadro 4. RESULTADOS .....	45
Cuadro 5. RESULTADOS DE MATERIA SECA TOTAL Y HUMEDAD .....	46
Cuadro 6. RESULTADOS DE COLOR EN DIFERENTES TRATAMIENTOS .....	54
Cuadro 7. ÁCIDOS GRASOS Y SU CONCENTRACIÓN EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS .....	55
Cuadro 8. COMPUESTOS ACTIVOS IDENTIFICADOS EN <i>SALVIA HISPANICA</i> L. (g /100 g) .....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. . Determinación de humedad en diferentes concentraciones de harina de Chía. ....	46
GRÁFICO 2. Comparación de media ceniza .....	48
GRÁFICO 3. Contenido de fibra cruda .....	49
GRÁFICO 4. Comparación de medias con las diferentes concentraciones de harina de Chía de acuerdo al % de proteína .....	50
GRÁFICO 5. Comparación de medias con los diferentes tratamientos con harina de Chía de acuerdo al extracto etéreo .....	51
GRÁFICO 6. De extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) en los diferentes tratamientos .....	52
GRÁFICO 7. Contenido de calorías kcal/100 g .....	53

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” con la finalidad de elaborar una tortilla de masa de maíz nixtamalizado adicionando harina de Chía (*Salvia hispánica L.*) en diferentes concentraciones para incrementar su valor nutritivo.

Se determinaron las concentraciones de harina de chía a utilizar para la elaboración de cada una de las tortillas, las cuales fueron 0 g, 3 g, 5 g y 7 g respectivamente.

Se llevó a cabo la caracterización química de las tortillas con las siguientes variables: (% humedad H, %ceniza total C, %extracto etéreo EE, %fibra cruda FC, %proteína cruda PC, %ELN (carbohidratos), contenido calórico (kcal/100 g), color y análisis de ácidos grasos mediante cromatografía de gases de las diferentes muestras de tortillas.

Los resultados obtenidos indicaron que la mejor combinación para realizar una tortilla es aquella donde se utilizó una concentración de 7/100 g de harina de Chía en la masa de maíz nixtamalizado, indicando valores altos en fibra y proteína. Además de mostrar la mejor cantidad de ácidos grasos con un 0.4495 de ácido linoleico (omega 6), 0.0053 de alfa linolénico (omega 3) y 0.010325 de ácido docosenoico (omega 9) mg/100 g de tortilla de masa adicionada con harina de Chía.

**Palabras clave:** tortillas, semillas de Chía, ácidos grasos nixtamalización.

**Correo electrónico:** [betsabesanchez766@gmail.com](mailto:betsabesanchez766@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores entre 7 000 y 10 000 años aproximadamente. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979).

El maíz es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial, especialmente en las áreas rurales de los países subdesarrollados, debido a su bajo costo y fácil producción, siendo el caso de América central y México donde el maíz ha sido un alimento esencial para todos sus habitantes (FAO, 1993).

La forma más común de preparar el maíz en México es transformarlo en forma de tortilla, a través de un proceso que se conoce como nixtamalización. El cual se puede definir como el proceso térmico alcalino por el cual sufre el grano de maíz una serie de cambios físicos y químicos (Llescas ,1943).

Las primeras investigaciones sobre la tortilla en México se efectuaron en los años 50's por el Instituto Nacional de Nutrición. Posteriormente, se estudió la fortificación de la tortilla con harina de soya, garbanzo etc. Otros investigadores han intentado enriquecer la tortilla, ya sea usando proteína de pescado, harina de soya, etc. En algunos casos se han registrado avances importantes, en otros se ha alterado el sabor, color o el producto se endurece con rapidez. En el CIMMyT se están mejorando los maíces con altos niveles de lisina y triptófano, con el gen Opaco-2. Por otra parte en el Cinvestav se han llevado a cabo estudios de los cambios químicos en el contenido de vitaminas y otros nutrientes del maíz que se pierden en la transformación de maíz a tortilla (Verdalet G, y otros, 2001).

“Chía” o “Chan” es un vocablo náhuatl que agrupa varias especies botánicas de los géneros *Salvia*, *Hyptis*, *Amaranthus* y *Chenopodium*; su cultivo y utilización fueron considerados por Kirchhoff (1960) como un elemento esencial de la cultura mesoamericana.

La chía es una especie cultivada de ese grupo. En la época prehispánica fue una planta importante, sus semillas, su harina o su aceite fueron apreciados por sus usos medicinales, alimenticios, artísticos y religiosos (Cahill, 2003).

Existe evidencia científica de que la chía (*Salvia hispánica L.*) es originaria de México y que formó parte, junto con el maíz, frijol y amaranto, de la dieta prehispánica. Con la llegada de los españoles, su uso fue suprimido en las tradiciones y costumbres de los pueblos indígenas, no es hasta finales del siglo pasado que las semillas de chía han cobrado gran interés por su alto contenido de ácido alfa-linolénico (Omega 3), así como su relación con la salud y nutrición humana (Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. 2013).

La chía es la fuente más rica de ácidos grasos y antioxidantes naturales disponible como materia prima para su uso en alimentos funcionales, nutracéuticos y suplementos dietéticos (Tosco, 2004).

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

En las sociedades actuales es de gran importancia la prevención de enfermedades a edad temprana y su tratamiento anticipado. Por lo tanto la alimentación balanceada juega un papel sumamente importante en la dieta de las personas.

El maíz, en forma de tortilla, es uno de los principales alimentos en la dieta del pueblo mexicano. Se consumen alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla de los cuales el 64% se realizan por el método tradicional de

maíz-masa-tortilla y el 36% a través de la industria harinera (Sierra-Macías *et al.* 2010).

Lamentablemente el maíz carece de dos aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) y se puede decir que no es un alimento de alto valor nutritivo ya que de igual manera la falta de hierro, zinc y vitaminas A, D, E y B12 hace que su calidad como alimento se vea afectada.

Con el paso del tiempo se han tenido avances para la fortificación de la tortilla de maíz como son el uso de micronutrientes (vitaminas y minerales) adicionados a la harina y al nixtamal, la adición de soya, pasta de soya o harina de soya para mejorar los niveles de lisina y triptófano, proteínas, vitaminas y minerales en la tortilla, el uso de nuevas tecnologías que favorezcan el aprovechamiento integral del grano de maíz o una combinación de todas las anteriores. Sin embargo algunos de estos resultados no son favorables ya que cambian las características sensoriales como son el color, sabor, firmeza y durabilidad de la tortilla y trae como consecuencias el rechazo por el consumidor.

Por lo anterior se llevó a cabo siguiente trabajo, con la finalidad de obtener una tortilla funcional a base de chía para incrementar su valor nutritivo.

## **1.2 HIPÓTESIS**

La formulación de una tortilla de maíz nixtamalizado, añadiendo semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) incrementará su valor nutritivo.

## **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una tortilla de maíz nixtamalizado, adicionando harina de Chía en diferentes concentraciones para caracterizarla químicamente e incrementar su valor nutritivo.

## **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las concentraciones de harina de Chía a utilizar en la elaboración de la tortilla.
- Caracterización química de las tortillas elaboradas con las diferentes formulaciones.
- Determinar el color en las tortillas elaboradas con las diferentes formulaciones.
- Determinar los ácidos grasos presentes en la tortilla de Chía.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 EL MAÍZ

El maíz, (*Zea mays L*), es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teosinte y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del Nuevo Mundo porque su centro de origen está en América (Paliwal *et al.* 2001).



**Figura 1. Maíz amarillo**

Fuente: <https://endimages.s3.amazonaws.com/cache/eb/97/eb97ce9fd079835cac5451df0c3a9fc0.jpg>

g

#### 2.1.1 ORIGEN

Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace entre 7 000 y 10 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000

años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979).



**Figura 2.El maíz en la antigüedad.**

Fuente:[http://www.sinembargo.mx/wpcontent/uploads/2016/11/cultivo\\_con\\_uictli\\_codice\\_florentino\\_libro\\_x\\_f.jpg](http://www.sinembargo.mx/wpcontent/uploads/2016/11/cultivo_con_uictli_codice_florentino_libro_x_f.jpg)

Es probable que el origen haya sido en México, Centroamérica o el suroeste de Estados Unidos. Las mutaciones, la selección natural, y la selección masa por los indios americanos transformaron gradualmente el maíz silvestre en una planta que valía la pena cultivarse (Jugenheimer, 1981).

Cano (1973) afirma que la diferencia entre las subespecies existentes radica principalmente en el grano, mostrando variabilidad de textura, peso, tamaño, color y forma.

## **2.1.2 IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO**

El maíz (*Zea mays L.*) es el tercer cultivo sembrado a nivel mundial, tiene importancia económica, como alimento humano, animal y como materia prima de un gran número de productos industriales (Paliwal *et al.* 2001). En México es el cultivo más importante, por la superficie sembrada, el valor de su producción, por

ocupar al 20 % de la población económicamente activa y por ser el alimento principal de la población (Sierra-Macías *et al.* 2010).



**Figura 3. Balanza comercial de maíz en México, 2005 – 2015**  
Fuente: FIRA, 2015.

En el 2016 la producción en México fue de 15.5 millones de toneladas obteniendo un rendimiento promedio de 4.2 ton/ha (SIAP, 2016). Sin embargo, no es suficiente para cubrir el consumo en México e importa alrededor de diez millones de toneladas para completar el consumo y Estados Unidos es el principal proveedor. Las importaciones de maíz en nuestro país presentan una tasa media de crecimiento anual de 6.5 % entre los años 2005 y 2014 como se muestra en la Figura 3 (FIRA, 2015).

### 2.1.3 USOS

Principalmente es utilizado para el consumo humano, también es utilizado para la alimentación del ganado y el uso industrial. En México las numerosas variedades de maíces (*Zea mays L.*) nativos se utilizan para elaborar además de la tortilla, una enorme cantidad de preparaciones culinarias tradicionales, lo que hace del maíz uno de los elementos fundamentales de la cocina nacional. Estos maíces

siguen siendo el sustento de miles de familias rurales mexicanas (Fernández *et al.*, 2013).

Por otra parte, muchas de las variedades criollas generan numerosos productos, más allá del grano, para los que existen mercados importantes, como es el caso de las hojas de maíz ("totomoxtle") que se utilizan para envolver los tamales "platillo tradicional" (Hellin *et al.*, 2013).

En México los productos elaborados a partir del maíz incluyen tortilla, totopos, tostadas, pinole, atoles y otros, de los cuales la tortilla constituye el principal producto y su consumo se ha estimado en 328 g diarios per cápita (Figuroa *et al.*, 2001)

#### **2.1.4 PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN**

La palabra nixtamalización proviene de los vocablos náhuatl "nixti" que significa cenizas de cal y "tamalli" que significa masa de maíz cocido. Es un proceso ancestral, que en general se define como proceso térmico-alcalino. Este procedimiento es utilizado para la obtención de masa y harinas de maíz, las cuales son utilizadas para la elaboración de tortillas y botanas. El proceso posee cuatro pasos fundamentales: cocimiento, reposo, lavado y molienda, a partir de la cual se obtiene la masa que puede ser usada directamente para la elaboración de tortillas o deshidratarse para la obtención de harina. El cocimiento se realiza en un exceso de agua y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en una concentración aproximada de 1 a 3% (García *et al.*, 2008).



**Figura 4. Nixtamalización**

Fuente:<https://irp-cdn.multiscreensite.com/dc7efb8a/dms3rep/multi/mobile/nixtamal-cooking-1000x750.jpg>

Se inicia con la adición de dos partes de una solución de cal aproximadamente al 1% a una porción de maíz. Esta preparación se cuece de 50 a 90 minutos, y se deja remojando en el agua de cocción de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción, conocida como nejayote, se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua, sin retirar el pericarpio ni el germen del maíz. Se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal, que llega a tener hasta 45% de humedad (Paredes, L, 2009).

Tueme (1976) afirma que los sitios más afectados por el proceso de nixtamalización son las regiones del pericarpio, aleurona y endospermo.

Alcántara (1978) deduce que el almidón por ser el componente más abundante del maíz podría ser el responsable de las propiedades funcionales de la masa y las tortillas de maíz elaboradas a partir de maíz nixtamalizado.

En la fase de cocimiento se originan reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican las características estructurales de la masa, así las propiedades texturales y estructurales de la tortilla (Arambula *et al.*, 2001).

En el agua de cocimiento, se solubilizan minerales, grasas, albuminas y globulinas. Se presenta además un incremento importante de calcio en el maíz, pérdida de algunas vitaminas como la tiamina (de un 60 a 65%), riboflavina de un 22 a 53%), niacina (de un 31 a 32%) y algunos ácidos grasos (Gomez-Aldapa *et al.*, 1996). A pesar de dichos detrimentos, el valor nutricional del maíz nixtamalizado es superior al del maíz nativo, básicamente por los cambios en las proteínas del maíz e incremento del calcio (Martínez-Flores *et al.*, 2002).

El fenómeno de la gelatinización del almidón ocurre cuando la suspensión acuosa del almidón es sometida a la acción del calor, los gránulos modifican su apariencia al alcanzar cierta temperatura crítica. A partir de este punto se inicia el debilitamiento de la red que forma el granulo, por el rompimiento de los puentes de hidrogeno, ocurriendo la hidratación e hinchamiento del granulo (Gomez-Aldapa *et al.*, 1996).

El contenido de proteína no se ve afectado sensiblemente después que el maíz ha sido nixtamalizado y se produce la tortilla. Las diferencias en el contenido de proteína en los reportes existentes se deben a que hay diferencias en el contenido de proteína entre diferentes materiales de maíz. La digestibilidad de la proteína disminuye ligeramente tanto en el nixtamal como en la tortilla, lo cual está relacionado con el tiempo de cocción y la concentración de cal, ya que la cocción altera las prolaminas provocando que sean menos susceptibles a la digestión. El contenido de lisina y triptófano no se ve muy afectado después de que el maíz ha sido sometido tanto a la nixtamalización como a la producción de tortilla, aunque sí se presentan ligeras pérdidas (Paredes- López *et al.*, 2009).

Entre los aminoácidos que incrementan su biodisponibilidad están: la lisina y el triptófano. La disponibilidad de estos es ocasionada por los cambios en la solubilidad de las proteínas presentes en el grano (Martínez- López *et al.*, 2002)

Se ha reportado que los iones de calcio que se generan durante la nixtamalización penetran en el grano del maíz, principalmente por el germen, afectando el color en la masa y la tortilla (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

La cantidad de calcio incorporado al grano durante el proceso de nixtamalización, tanto en el pericarpio, endospermo y germen, es muy importante porque la interacción entre el hidróxido de calcio y los diferentes componentes del grano determinan las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a partir de masa de maíz (Fernández- Muñoz *et al.*, 2002).

Es interesante hacer notar que el calcio de la tortilla es altamente biodisponible, ya que cuando se alimentan ratas con tortilla absorben y retienen más calcio que aquellas que se alimentan con granos crudos de maíz. Las ratas presentan huesos más grandes y resistentes a fracturas, lo que confirma la absorción y retención de este importante elemento. Por otro lado, tomando en consideración el consumo diario de productos nixtamalizados, el calcio de las tortillas provee más de la mitad del ingerido per cápita en México. La nixtamalización indudablemente reduce los problemas asociados a la deficiencia de este elemento (Paredes-López *et al.*, 2009).

Paredes- López (2009) señala que a concentraciones mayores de cal y tiempos más largos de cocimiento se producen masas duras, con menor rendimiento de nixtamal y mayor viscosidad, lo cual se traduce en una baja calidad organoléptica de la tortilla.

Según Ilescas (1943) cuando el calentamiento del maíz para nixtamal se hace muy rápido se obtienen “masas arrebatadas”: y si el calentamiento de la mezcla se hizo hasta que está hirviendo se obtendrían “masas chiclosas” que no se pueden tortear por adherirse a las manos y que si este inconveniente se subsana se pegan al comal al cocerlas. También por defecto de la cal o de tiempo de calentamiento se obtienen masas que no tienen “correo” o sea que les falta lo que

pudiéramos llamar “gluten de maíz” que es una mezcla de zeína y glutelina, que como materiales de liga, dan la cohesión necesaria entre los residuos celulósicos y el almidón.

En el proceso de nixtamalización el pericarpio se pierde ya que se queda en el “nejayote” (liquido sobrenadante del proceso térmico- alcalino). La pérdida de solidos totales es de 14.98 a 19.98 en maíz blanco y amarillo respectivamente, de ahí que la mayor parte provenga del pericarpio (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

En conclusión, el aporte nutrimental que el maíz suministra a la dieta humana es mucho más importante que el que da el maíz sin nixtamalizar.

## 2.2 TORTILLA

La tortilla se define como un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado, cuyas dimensiones varían de 12 a 18 centímetros de diámetro y de 1 a 2 milímetros de espesor. Se cuece sobre una superficie caliente (260- 280 grados centígrados) generalmente metálica o de barro, denominada comal (Torres, 1996).



**Figura 5. Tortilla de maíz nixtamalizado**

Fuente: [https://media3.s-nbcnews.com/j/newscms/2017\\_22/1217936/homemade-tortillas-blue-zone-today-170530-tease\\_bd0cefca3eedf1c096d68687b52c076f.today-inline-large.jpg](https://media3.s-nbcnews.com/j/newscms/2017_22/1217936/homemade-tortillas-blue-zone-today-170530-tease_bd0cefca3eedf1c096d68687b52c076f.today-inline-large.jpg)

México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, pues se estima que es consumida por el 94% de la población, por lo que el volumen de producción y consumo es cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año, lo que representa un porcentaje importante entre los productos alimentarios comercializados en el país. Cabe también señalar que es un alimento de suma importancia en la alimentación de diversos países de Centroamérica (SAGARPA, 2010).

Sin lugar a dudas la tortilla es uno de los rasgos más importantes de la cultura mexicana, es tal el arraigo que tenemos los mexicanos a este alimento que gracias a ello se ha difundido prácticamente por todo el mundo y no como un alimento exótico o de novedad, más bien como parte de la dieta de las comunidades donde se va asentando. Por ejemplo, después de México, Estados Unidos es el segundo país que más consumo de tortilla reporta en el mundo. Esto se debe a la cantidad de connacionales que han emigrado a dicha nación y con ello han generado una enorme demanda de este producto. La presencia de las tortillas en el mundo ha sido llevada primero por emigrantes mexicanos, después por pequeños emprendedores y al final se industrializa por grandes compañías trasnacionales que tienen puntos de venta en prácticamente todo el mundo y enormes plantas productoras en países estratégicos.

Un aspecto importante de la tortilla, es la aportación energética a la dieta de los consumidores. En las zonas rurales la tortilla aporta el 65% de la dieta total, mientras que en las zonas urbanas es un indicador más difícil de calcular debido a las disparidades socioeconómicas que existen, pero se calcula que de los ingresos para la alimentación hasta un 7% es para el consumo de tortillas.

Los siguientes son algunos datos relevantes de la industria de la tortilla en México, publicados por SAGARPA en el 2011.

- El consumo per cápita es de 49 kg al año (133 g diarios).
- En la ciudad de México el consumo promedio es de 70 kg anuales.

- Entre molinos y tortillerías se tiene contados hasta el 2008 78,852 establecimientos, donde aproximadamente una cuarta parte corresponde a molinos y el resto a tortillerías.
- En la zona centro sur del país se concentra el 47% de la producción y consumo del país, abasteciendo al 41% de la población nacional. en los estados de esta misma zona, excepto D.F, se produce el 27% del grano de maíz.
- La industria de la masa y la tortilla representa el 1% del PIB.
- La población dedicada a la producción de masa y tortillas es de 223,000 personas, aproximadamente donde el 64% son mujeres.

## 2.3 LA CHÍA

Recientemente, la semilla de chía (***Salvia hispánica L.***) ha sido redescubierta como una importante fuente de ácidos grasos omega-3, proteínas, fibra dietética y antioxidantes, a partir de la cual puede obtenerse aceite con una elevada proporción de ácidos grasos esenciales. Su incorporación en la dieta permite disminuir la incidencia de enfermedades coronarias, refuerza el sistema nervioso; la fibra dietaria es una valiosa alternativa para regular el tránsito intestinal, lo cual ayuda a prevenir la obesidad, el cáncer de colon, así como los elevados niveles de colesterol y de glucosa en sangre.



**Figura 6. Semillas de Chía**

Fuente: <https://www.mujerhoy.com/noticias/201802/26/media/cortadas/semillas-de-chia-kja-U501081739563CUD-560x420@MujerHoy.jpg>

La alimentación rica en cereales integrales y en alimentos de origen vegetal, con un bajo contenido en grasas totales y colesterol, pero alto en fibras solubles y ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, disminuye el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). En este grupo de alimentos se incluyen las semillas de chía, las que presentan diversas propiedades nutricionales. Se han publicado diferentes trabajos que informan sobre los efectos benéficos del consumo de productos vegetales.

Un grupo de investigadores mexicanos (Guevara Luz y Cols, 2012) publican que el consumo de nopal, chía, soja y avena produce un descenso en las variables bioquímicas (triglicéridos séricos e intolerancia a la glucosa), lo que sugiere que las intervenciones en el estilo de vida que implican una dieta patrón específica para el tratamiento del síndrome metabólico, podría ser más eficaz si se consideran los alimentos locales y las variaciones genéticas de la población.

### 2.3.1 ORIGEN

**(*Salvia hispánica* L.)** Es una especie originaria de Mesoamérica cuya mayor diversidad genética se presenta en la vertiente del Océano Pacífico (Beltrán-Orozco y Romero, 2003; Cahill, 2004), siendo nativa de las áreas montañosas del oeste y centro de México.

***S. hispánica* L.** es comúnmente conocida como chía, siendo esta palabra una adaptación española al término nahua chían o chien (plural), término que en náhuatl significa “semilla de la que se obtiene aceite” (Watson, 1938).

Existen evidencias que demuestran que la semilla de Chía fue utilizada como alimento hacia el año 3500 a.C., siendo cultivada en el Valle de México entre los años 2600 y 900 a.C. por las civilizaciones teotihuacanas y toltecas. Asimismo, fue uno de los principales componentes de la dieta de los aztecas junto con la quínoa, el amaranto, el maíz y cierta variedad de porotos (Rodríguez Vallejo, 1992).

Existen evidencias que demuestran que la semilla de Chía fue utilizada como alimento hacia el año 3500 a.C., siendo cultivada en el Valle de México entre los años 2600 y 900 a.C. por las civilizaciones teotihuacanas y toltecas. Asimismo, fue uno de los principales componentes de la dieta de los aztecas junto con la quínoa, el amaranto, el maíz y alguna variedad de porotos (Rodríguez Vallejo, 1992).

La Chía era utilizada como materia prima para la elaboración de medicinas, alimentos y pinturas, así como en ofrendas a los dioses durante las ceremonias religiosas (Sahagún, 1579). Las semillas eran tostadas y se mezclaban con agua para consumirse como gachas (masa blanda medio líquida) o bien se mezclaban con harina para hornear. El aceite se usaba en pinturas o como emoliente y el mucílago como una pasta (ungüento extendido en lienzo) aplicado en heridas o para remover la suciedad del ojo (Ortiz de Montellano, 1978).



**Figura 7. Bebida nutricional a base de planta de Chía en la época prehispánica**

### 2.3.2 TAXONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

Según la clasificación taxonómica propuesta por Linneo, la posición sistemática de la chía (*Salvia hispánica* L.) es la siguiente:

**Cuadro 1. Taxonomía de Chía (*Salvia hispánica* L.)**

REINO	Vegetal o plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta o Angiospermae
CLASE	Magnoliopsida o Dicotyledoneae
ORDEN	Lamiales
FAMILIA	Lamiaceae
SUBFAMILIA	Nepetoideae
TRIBU	Mentheae
GENÉRO	<i>Salvia</i>
ESPECIE	<i>hispánica</i>

Fuente: Guiotto, E 2014

El género ***Salvia*** incluye unas 900 especies y se distribuye extensamente en varias regiones del mundo, tales como Sudáfrica, América Central, América del Norte, Sudamérica y Asia Sur-Oriental. Las plantas pueden ser herbáceas o leñosas, y sus flores muy atractivas y de varios colores.

***Salvia hispánica* L.** es una planta herbácea anual, que se desarrolla desde 1 a 1.5 m de altura según la fecha de siembra, con tallos ramificados de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Presenta hojas opuestas con bordes aserrados de 8-10 cm de longitud y 4-6 cm de ancho. La descripción de la

morfología floral de *S. hispánica* fue abordada por Martínez (1959) y Ramamoorthy (1985). Las flores son hermafroditas, púrpuras o blancas, pedunculadas y se encuentran reunidas en grupos de seis o más en ramilletes terminales.



**Figura 8.Planta de Chía**

Fuente: <https://www.brunoticias.com/wp-content/uploads/2018/01/Chi%CC%81a-2.jpg>

El fruto, al igual que otras especies de la familia Lamiaceae, es típicamente un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar 4 mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como semillas, los cuales son monospermicos, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos (Ayerza y Coates, 2005).

Las características morfológicas y fenológicas que diferencian a las variedades domesticadas de las silvestres de *S. hispánica* son cálices cerrados, semillas de mayor tamaño, inflorescencias más compactas, flores más grandes, presencia de dominancia apical y uniformidad en los periodos de floración y maduración (Cahill, 2005).

### **2.3.3 CONDICIONES DE CULTIVO**

Crece en condiciones tropicales y sub-tropicales y no es resistente a las heladas; necesita de suelo húmedo para germinar, pero una vez se hayan establecido las plántulas tiene un buen comportamiento con cantidades limitadas de agua; en suelos arenosos-limosos son donde se presentan cultivos con mejores resultados (Coates y Ayerza, 1996).

#### **2.3.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO**

El cultivo de Chía es transitorio, lo que quiere decir que la cosecha se debe realizar retirando las plantas de la tierra para volver a sembrar luego; soporta la acidez y la sequía pero no resiste heladas, requiere preferiblemente suelos con buen drenaje de agua, abundante luz solar y poca sombra, en pisos térmicos desde los 800 msnm hasta los 2.600 msnm con temperaturas no mayores a los 33°C (Vargas, 2014).

#### **2.3.5 LA COSECHA**

La cosecha se realiza entre los 3 a 5 meses después de la siembra, un indicador de esto es cuando entre el 60% y el 80% de las plantas se tornan a un color amarillento demostrando el estado de madurez. Se puede realizar de dos formas, cortando las espigas de las plantas o cortando toda la planta; el primer método consiste en cortar las espigas (en donde se encuentran las semillas) con un machete y luego son depositadas en un costal que lleva el trabajador, al llenarse las espigas se esparcen sobre una manta de plástico que sirve como zona de secado y protección de lluvias, por medio de este método, en terrenos no mayores a 1 plaza se requiere de 5 trabajadores que laboran durante 4 días (Miranda,2015).

Cosecha Mecanizada: Al igual que la maquinaria sembradora, las cosechadoras industriales son modificadas para cumplir con la recolección de las semillas; estas máquinas realizan la labor de trillado y desgrane de las plantas, el inconveniente que trae el uso de esta maquinaria es la pérdida de semilla que se presenta al ser tan pequeña y la suciedad y basuras con las que sale la recolección.

### **2.3.6 RENDIMIENTO DE LA COSECHA**

En parcelas pequeñas, de alrededor de 10 a 15 hectáreas, con métodos de cultivo manuales se puede llegar a obtener 800 kg por hectárea de semilla ya cosechada y clasificada, mientras que en cultivos de 40.000 hectáreas se logran entre 400 y 500 kg por hectárea (Chediack, 2014).

### **2.3.7 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

Actualmente, a nivel comercial la Chía se cultiva en Argentina, México, Bolivia, Guatemala, Ecuador y Australia. En el año 2008, “The Ord Valley”, en el extremo noroccidental de Australia, fue el principal productor, con un área sembrada de 750 ha y una perspectiva de cultivo para 2009 de 1700 ha, lo que representa dos tercios de su producción mundial (Matt, 2008).

En países donde las condiciones climáticas no permiten la realización del cultivo a campo (ej. Gran Bretaña), las semillas se siembran en un invernadero durante los meses de marzo y abril. La germinación usualmente tarda un lapso de dos semanas y las plántulas se trasplantan cuando tienen la altura suficiente para ser colocadas en macetas individuales y luego a tierra firme desde finales de la primavera hasta principios del verano (Plants for a Future, 2002).

Al ser una planta que crece en suelos tropicales o subtropicales, aventaja países latinoamericanos y asiáticos en la producción de este cultivo, desde hace 10 años, países como Australia, Argentina (siendo el mayor productor) México y Bolivia, han adaptado este cultivo para su producción industrial (Lamas, 2013).

## **2.4 ÁCIDOS GRASOS**

Los lípidos son nutrientes importantes en la dieta tanto humana como animal, entre sus componentes, destacan los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL), los cuales son componentes dietarios que participan en múltiples

procesos fisiológicos, cumpliendo un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores que modelan múltiples procesos como inmunidad, patologías infecciosas y enfermedades inflamatorias (Jiménez P ,2013).

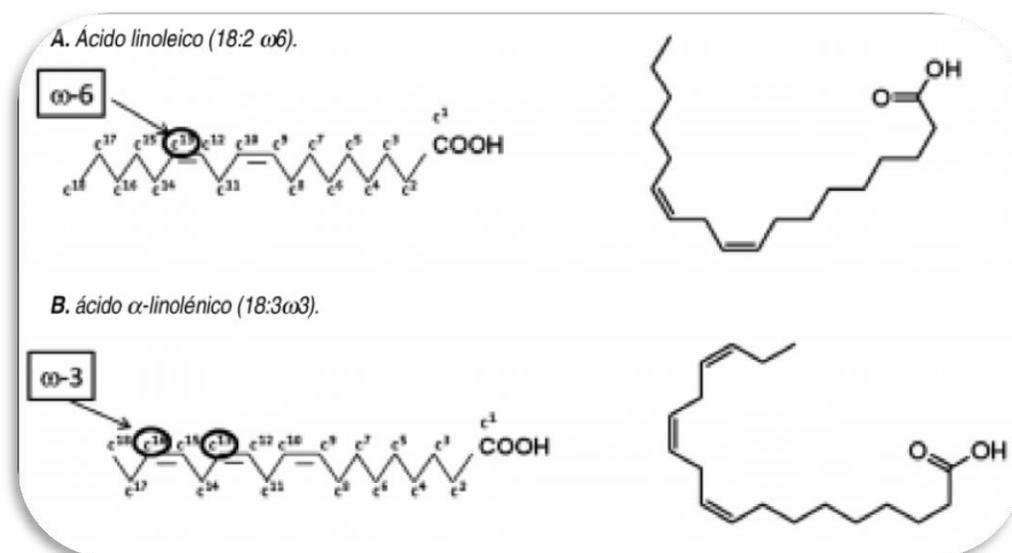
Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL) son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, donde cumplen un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores fisiológicos.

Los ácidos grasos son los principales constituyentes de los lípidos, dependiendo si ellos contienen enlaces simples o dobles, darán origen a los ácidos grasos saturados (AGS) o insaturados (AGI), respectivamente (Covarrubias, 2002; Andrew J, 2002).

Existen dos familias de ácidos grasos poliinsaturados: la familia omega-6 y la familia omega-3. La familia omega-6 deriva del ácido linoleico, con dos dobles enlaces, y se caracteriza por tener su primer doble enlace en carbono número 6 de la cadena. La familia omega-3 deriva del ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA), con tres dobles enlaces, cuyos ácidos grasos tienen su primer doble enlace en carbono número 3 de la cadena (Carrero, 2005).

Entre los AGPICL encontramos dos grupos principales; los ácidos grasos omega-3 ( $\omega$ -3) y omega-6 ( $\omega$ -6), los cuales son ácidos grasos esenciales para el ser humano debido a que carecemos de la maquinaria enzimática necesaria para biosintetizarlos y por lo tanto son aportados por la dieta.

La nomenclatura “ $\omega$ ” considera como carbono principal al átomo de carbono del grupo metilo terminal del ácido graso (nomenclatura inversa a la IUPAC “International Union of Practical and Applied Chemistry”) e identifica el primer doble enlace más cercano a este grupo químico (Cunnane SC, 2003).



**Figura 9. Estructura de los ácidos grasos esenciales**

FUENTE: [https://www.researchgate.net/profile/Cj\\_Bautista/publication/46146496/figure/fig3/AS:667650539663360@1536191701028/Figura-1-Estructura-quimica-de-los-acidos-grasos-esenciales-A-acido-linoleico-182.png](https://www.researchgate.net/profile/Cj_Bautista/publication/46146496/figure/fig3/AS:667650539663360@1536191701028/Figura-1-Estructura-quimica-de-los-acidos-grasos-esenciales-A-acido-linoleico-182.png)

El primer exponente de los ácidos grasos omega-3 es el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3), el cual vía desaturasas y elongasas se puede transformar en el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y posteriormente en el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). A su vez, el primer exponente de los ácidos grasos  $\omega$ -6 es el ácido linoleico (C18:2) y uno de sus derivados más importantes es el ácido araquidónico (C20:4, AA) (Knoch B, 2009).

Las fuentes alimentarias del ácido linoleico y del ácido  $\alpha$ -linolénico (AA) son los alimentos de origen vegetal, especialmente los aceites (soya, linaza, canola, entre otros.) y los frutos secos (almendra, nuez, maní, entre otros). La fuente nutricional de los AGPICL derivados de estos, son los alimentos de origen animal. El AA se encuentra en las carnes (vacuno, cordero y cerdo). El EPA (ácido eicosapentaenoico) y el DHA (ácido docosahexaenoico), se encuentran tanto en animales como vegetales de origen marino, particularmente en pescados con un

elevado contenido de grasa, como el atún, jurel, salmón, entre otros (Simopoulos AP, 2010).

El AA, el EPA y el DHA son importantes componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas y son el sustrato para la formación de una serie de derivados lipídicos llamados eicosanoides (Valenzuela R, 2011).

Los ácidos EPA y DHA pueden ser aportados por la dieta (preformados), encontrándose en pescados, mariscos y algas o a partir de su precursor de origen vegetal. El ácido linolénico, precursor de DHA, tiene baja disponibilidad a partir de la dieta, siendo muy restringido su consumo en algunas poblaciones.

Actualmente los cambios en los patrones de alimentación han provocado un mayor consumo de aceites vegetales ricos en ácido linoleico ( $\omega$ -6), por lo que la relación  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 es del orden de 15:1 en muchos países, cuando la relación ideal es 5:1 o máximo 10:1 (FAO/OMS, 1994).

Tanto el EPA como el DHA, luego de ser ingeridos, se incorporan rápidamente a los fosfolípidos de las membranas celulares donde pueden ser liberados por enzimas lipooxigenasas y ciclooxigenasas, originando productos con potentes propiedades citoprotectoras y especialmente antiinflamatorias.

El EPA y el DHA presentan propiedades antiinflamatorias, vía la generación ya sea de agentes anti-inflamatorios, como las resolvinas, o a través del bloqueo de agentes pro-inflamatorios patologías tales como las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, artritis reumatoidea e injuria por isquemia - reperfusión. La evidencia sugiere que los AGPICL  $\omega$ -3 pueden tener promisorias aplicaciones en el tratamiento y/o la prevención de diferentes patologías clínicas o nutricionales (Valenzuela R, 2011).

La utilización de semillas con aceites de alto contenido de ácido linolénico o del aceite mismo en alimentación es una herramienta interesante para aumentar el aporte de ácidos grasos  $\omega$ -3 a la dieta (Jiménez P ,2013).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZACIÓN**

El presente trabajo de tesis se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal ubicado en Buenavista, Saltillo Coahuila en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

#### **3.2 MATERIA PRIMA**

La semilla de chíá (*Salvia hispánica L.*) fue adquirida en una tienda comercial de Saltillo Coahuila.

La masa de maíz nixtamalizado se obtuvo en un molino de la anterior ciudad mencionada.

#### **3.3 MATERIALES UTILIZADOS**

- Maquina manual para tortillas
- Parrilla de gas
- Papel encerado
- Papel aluminio
- Charolas de aluminio
- Comal de teflón
- Papel secante
- Licuadora MARCA OSTER
- Bolsas de plástico
- Recipientes de plástico
- Embudos
- Cucharas
- Espátulas
- Frascos de plástico
- Desecador
- Cuchillos
- Crisoles de porcelana
- Tijeras
- Pinza para crisol y matraces
- Espátula de acero inoxidable
- Bureta

- Dedales de asbesto
- Perlas de vidrio
- Papel filtro
- Filtros de tela de lino
- Vidrios de reloj
- Celdillas
- Agitadores
- Puntillas
- Termómetro de mercurio
- Parrillas eléctricas
- Pizetas
- Matraces de 50,100 y 500 mL
- Matraz redondo de fondo plano
- Vasos Berzelius
- Vasos de precipitado
- Matraz Erlenmeyer
- Matraz de aforación
- Tubos de ensaye
- Matraz Kjeldahl
- Probetas de 10, 50, 100,500 mL
- Embudo de separación
- Microtubo para muestra

### 3.4 EQUIPOS UTILIZADOS

En el desarrollo de este trabajo se utilizaron varios equipos, que se describen a continuación.

**Cuadro 2. Equipos utilizados**

<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>
Estufa de secado	Thelco; Modelo 27	Modelo 27
Estufa de secado	Robertshaw	-
Balanza digital	EXPLORER OHAUS	Scout Pro SP601
Balanza digital	HR-200	-
Mufla	Thermolyne	1500FD 1535 M

Equipo de digestión y destilación Kjendhal de 6 unidades cada uno.	Labconco	-
Colorímetro	Konica minolta	CR-400
Aparato de reflujo	Labconco	30001
Equipo cromatografía de gases	Perkin Elmer	Autosistem XL
Refrigerador	Hotpoint	-
Congelador	American	
Parrillas de calentamiento	Thermolyne	SP 46925
Baño maría	Riossa	-
Roto vapor	Buchier instruments	-
Extractor Soxhlet	Labconco	-

### 3.5 REACTIVOS UTILIZADOS

- Agua destilada
- Agua purificada
- Agua desionizada
- Hidróxido de 45%
- Ácido Sulfúrico concentrado
- Carbonato de Sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- Ácido Sulfúrico 0.1N
- Agua destilada
- Mezcla reactiva de Selenio
- Perlas de vidrio
- Molibdato de Amonio
- Ácido Bórico al 4%
- Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.1025641 N
- Bisulfito de Sodio al 15%
- Hexano
- Indicador mixto
- Ácido Perclórico
- Sulfito de Sodio al 20%
- Ácido Sulfúrico 0.225 N o al 25%
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 45%
- Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>)
- Hidróxido de Sodio 0.313 N o al 25%
- Granallas de Zinc
- Acetona al 85%

- Cloroformo
- Metanol
- Reactivo de Folcha al 14%

### **3.6 ETAPA 1: ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DE UNA TORTILLA**

En esta etapa se determinaron cuatro formulaciones en cuanto a la cantidad de chía que se iba agregar a cada tortilla; así como también la porción de masa de maíz nixtamalizado. En el cuadro siguiente se describen dichas formulaciones.

**Cuadro 3. FORMULACIONES DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

<b>Masa de maíz nixtamalizado</b>	<b>100 g</b>	<b>97 g</b>	<b>95 g</b>	<b>93 g</b>
<b>Semilla de chía</b>	0 g	3 g	5 g	7 g

#### **3.6.1 OBTENCIÓN DE HARINA DE CHIA**

La semilla de chía se adquirió en una tienda comercial en Saltillo, la cual ya venía lista para el consumo. Se utilizó la marca Infusionate línea Premium.

Para la obtención de la harina, solamente se licuo en una licuadora (Oster), hasta lograr una mezcla homogénea. Posteriormente se retiró de la licuadora con mucho cuidado para tratar de no dejar harina.



**Figura 10. Obtención de harina de Chía**

Se colocó en frascos de plástico previamente lavados, secados e identificados.

### **3.6.2 PREPARACIÓN DE LA TORTILLA**

Para la elaboración de las tortillas de maíz nixtamalizado, primero se pesaron las cantidades descritas en el Cuadro 3, empezando con la muestra testigo en la que se utilizaron 100 g de masa de maíz nixtamalizado con una cantidad de 0 g de harina de chía y así sucesivamente con las demás muestras.



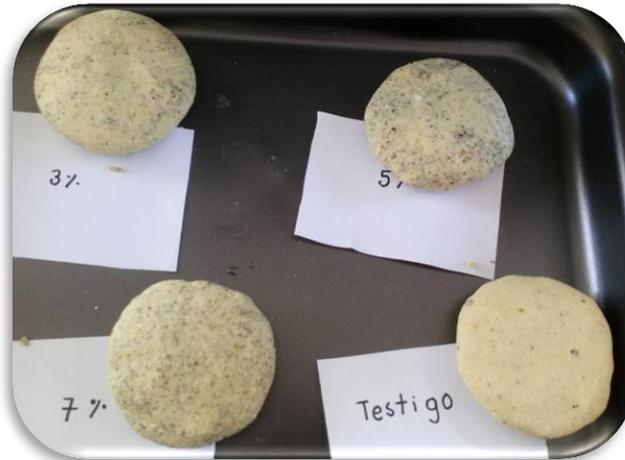
**Figura 11. Pesado de la masa**

Una vez pesadas las muestras, se procedió a revolver la harina de chía con la masa, posteriormente se agregaron 10mL de agua purificada. Se mezcló muy bien hasta obtener una masa con una consistencia adecuada.



**Figura 12. Masa con harina de Chía**

Se formaron testales y se pesaron para obtener 5 testales de 20 g cada uno. Posteriormente se llevaron a tortillera manual, colocando un plástico para que no se adhiera la masa a la tortillera.



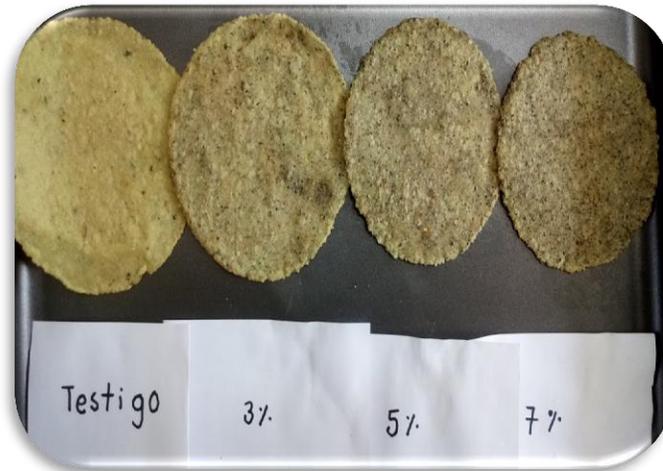
**Figura 13. Masa con harina de Chía**

Cada una de las tortillas se colocó en un comal precalentado a 150 °C el tiempo de cocción para cada tortilla fue de 1:40 min, repartido de la siguiente manera: 30 segundos en la primera cara para luego ser volteada a la segunda cara con un tiempo de 50 segundos y regresando a la primera cara con un tiempo de 25 segundos.



**Figura 14. Cocimiento de las tortillas**

Terminado el proceso de cocimiento de las tortillas, estas se colocaron en charolas para su identificación de acuerdo al contenido de harina de chía.



**Figura 15. Identificación de tortillas**

### **3.7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

Los análisis se hicieron por triplicado para cada uno de las muestras (0 %, 3 %, 5 %, 7 %).

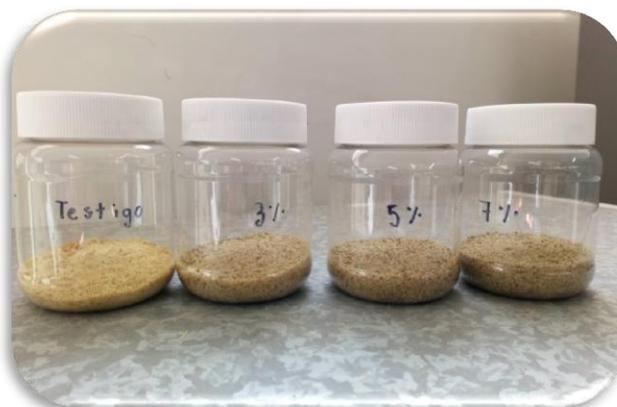
Se utilizaron charolas de aluminio para deshidratar las muestras, las cuales se pesaron e identificaron, así como también las muestras, para esto se utilizó una balanza de 600 g. Se colocaron en una estufa con circulación de aire caliente a una temperatura de 55-60 °C por 24 horas.

Transcurrido el tiempo se retiraron las charolas de la estufa y se dejaron enfriar por 5 minutos a temperatura ambiente, para después registrar el peso nuevamente.



**Figura 16. Tortillas de harina de Chía después del deshidratado**

Por último las muestras se molieron en una licuadora Oster y se colocaron en recipientes de plástico limpio, seco e identificado. Se almacenaron para su posterior uso en los análisis.



**Figura 17. Recipientes identificados con cada una de las concentraciones de harina de Chía**

### **3.7.1 % MATERIA SECA TOTAL**

Para la determinación de materia seca total, se colocaron los crisoles en una estufa a una temperatura de 100-105°C durante 24 horas para que estén a peso constante.



**Figura 18. Crisoles de porcelana en estufa de aire caliente.**

Con las pinzas se retiraron los crisoles de la estufa y se colocaron en un desecador, se enfriaron durante 20 minutos y se pesaron.

Se pesaron dos gramos de muestra en un papel limpio, destarando el peso del papel. Se colocó la muestra en el crisol y se pusieron en una estufa de secado con circulación de aire a una temperatura de 100-105 °C durante un periodo de 24 horas; pasado este tiempo se sacaron de la estufa y se dejó enfriar 20 minutos en el desecador.

Se tomó el peso del crisol con muestra seca, se registraron los datos y se hizo los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$\%MST = \frac{\text{peso crisol con muestra seca} - \text{peso crisol solo}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

$$\%H = T - \%MST$$

Dónde: MST = Materia Seca Total H = Humedad

### **3.7.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS TOTALES O MINERALES**

Para este procedimiento la muestra es quemada a una temperatura elevada que poder ser de 500-600 °C.

Primero se pre incineró en parrillas eléctricas la muestra de materia seca que estaba en el crisol hasta que deje de emitir humos.



**Figura 19. Incineración de muestras**

Posteriormente se colocaron en la mufla durante 2-3 horas. Transcurrido el tiempo se sacaron con unas pinzas y colocándolos en el desecador para que se enfríen durante 20 minutos y pesar. Registrar los pesos y utilizar la formula siguiente:

$$\%C = \frac{\text{Peso del crisol con ceniza} - \text{peso de crisol solo}}{\text{gramos de muestra utilizada}} * 100$$

Dónde: C = Ceniza

### **3.7.3 DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO O GRASA TOTAL**

Se colocaron los matraces bola fondo plano con tres perlas de vidrio en la estufa durante 12 horas para que estuvieran a peso constante.

Después en un papel filtro se pesaron 4 gramos de muestra y se colocó en un dedal de asbesto, cuidando que el papel que contiene la muestra no se rompa. Con las pinzas se saca el matraz bola de fondo plano y se pone en el desecador durante 20 minutos, se pesa y registran los datos.



**Figura 20. Dedales de asbesto con muestras**

Posteriormente se les agrego a los matraces 250ml de hexano, el dedal se puso dentro del sifón Soxleth, junto con el matraz bola al refrigerante. se colocaron las muestras en las parrillas, extrayendo por un periodo de 8 horas contando el tiempo a partir de cuándo comenzó su ebullición.



**Figura 21. Aparato de reflujo Soxleth**

Al finalizar la extracción se recuperó el solvente y de nuevo se pusieron a peso constante en la estufa durante 12 horas a una temperatura de 100-105 °C. Se retiraron con unas pinzas, se enfriaron y pesaron. Se registraron los datos y se hizo los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$\%EE = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{gramos de la muestra utilizada}} * 100$$

### 3.7.4 DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

Para esta técnica se utilizó la muestra previamente desengrasada, se pesaron 2 gramos y se colocaron en vasos de Berzelius de 600 mL, a cada vaso se le agregó 100 mL de ácido sulfúrico 0.225 N, se conectó al aparato de reflujo por un periodo de 30 minutos contados a partir de que empezó la ebullición y manteniendo una temperatura baja.



**Figura 22. Aparato de reflujo para determinar fibra cruda**

Una vez transcurrido el tiempo se sacó los vasos y el contenido se filtró a través de una tela de lino y se lavó con 3 porciones de 100 mL de agua destilada caliente para cada vaso. Se pasó la fibra (residuo que quedó en la tela de lino) de nuevo al vaso de Berzelius agregando ahora 100 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0.313

N y se conectó al aparato de reflujo por otros 30 minutos contados a partir de que empezó la ebullición, transcurrido el tiempo se sacaron los vasos y nuevamente el contenido se filtró usando la tela de lino, lavando con 3 porciones de 100 mL de agua destilada caliente exprimiendo el exceso de agua de cada tela de lino.



**Figura 23. Muestras de fibra en tela de lino**

Se retiró la muestra del embudo, se filtró y lavo con agua caliente. Con las pinzas se sacó un crisol de la estufa y con una espátula se retira la muestra y se coloca en el crisol, para dejarlos en la estufa durante 12 horas.

Se sacaron de la estufa con las pinzas, se depositaron en el desecador y enfriaron, para después pesar. Colocar el crisol en la mufla durante 4 horas, enfriar en el desecador durante 10 minutos y pesar. se registraron los datos y se hizo los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{\text{peso del crisol con fibra seca} - \text{peso del crisol con fibra ceniza}}{\text{gramos de la muestra utilizada}} * 100$$

### **3.7.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA MÉTODO KJELDHAL**

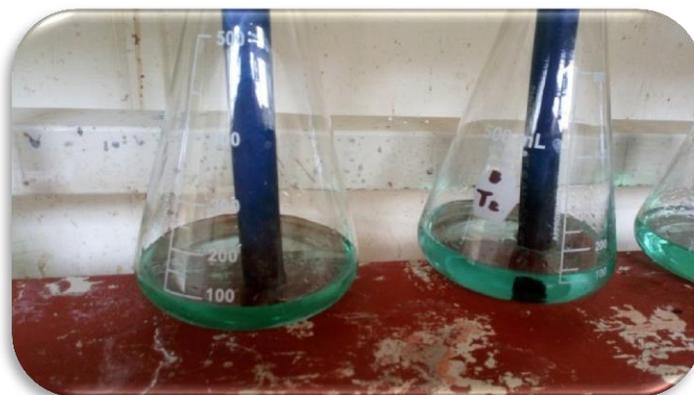
La determinación por el método Kjeldhal se realiza en tres etapas que se describen a continuación:

**Digestión:** Se pesó 1 g de muestra en una balanza analítica sobre un papel filtro y se le realizó unos dobleces de modo que no se saliera la muestra, éste papel filtro doblado se colocó en el fondo de un matraz Kjeldhal de 800 mL, a este matraz se le agregaron 3 perlas de vidrio (para que esté en ebullición constante), se colocó una cucharada de catalizador (mezcla reactiva de selenio) y 30 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado, finalmente el matraz se colocó al aparato Kjeldhal en la sección de digestión conectando el extractor de humos. Esto se realizó para cada una de las repeticiones de las muestras.



**Figura 24. Preparación de muestras para digestión**

**Destilación:** Se diluyó con 300 mL de agua destilada al resultado de la digestión y se enfrió. Aparte en un matraz Erlenmeyer de 500 mL se agregó 50 mL de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 4 % y 5 gotas de indicador mixto. Posteriormente al matraz Kjeldhal se le agregó 110 mL de hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) al 45 % y 3 granallas de zinc sin agitar. Se conectó a la parte destiladora del aparato Kjeldhal y se abrió la llave del agua, se esperó hasta recibir en el matraz 250 mL del destilado en forma de amoníaco líquido.



**Figura 25. Recuperación de muestra**

Valoración: A los 250 mL de destilado se tituló con ácido sulfúrico al 0.1025641 N hasta obtener un vire de color azul a rosa pálido y con la lectura obtenida de los mL gastados del ácido sulfúrico se realizaron los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{(\text{ml gastados del ácido} - \text{ml del blanco})(N \text{ del ácido})(0.014)}{\text{gramos de la muestra utilizada}} * 100$$

**% PC = (% N) (factor de conversión)**

Dónde: N = Nitrógeno

PC = Proteína Cruda

N del ácido sulfúrico= 0.1025641 N

0.014 = miliequivalente del Nitrógeno

Factor de Conversión para tortilla = 6.25

### **3.7.6 DETERMINACIÓN DEL EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (ELN) O CARBOHIDRATOS TOTALES**

El ELN corresponde a los azúcares, el almidón y gran parte del material clasificado como hemicelulosa. En realidad no se determina por análisis en el laboratorio, sino

que se calcula restando de 100 partes de muestra analizada la suma de los resultados del % ceniza, % extracto etéreo, % fibra cruda y % proteína cruda solamente se considera el % de humedad cuando los anteriores resultados no están ajustados en base seca, teniendo esto en cuenta los cálculos para determinar el ELN se realizan a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ C} + \% \text{ EE} + \% \text{ FC} + \% \text{ PC})$$

Dónde:

ELN = Extracto Libre de Nitrógeno

C = Cenizas

EE = Extracto Etéreo

FC = Fibra Cruda

PC = Proteína Cruda

### 3.7.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO CALÓRICO (kcal)

Se utilizó los resultados obtenidos de % proteína cruda, % extracto etéreo y % extracto libre de nitrógeno (carbohidratos), realizando los cálculos a partir de las siguientes fórmulas:

$$\frac{4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{PC} \%} \frac{9 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{EE} \%} \frac{4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{CHO} \%} \longrightarrow \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g}} = \left( \text{PC} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} + \text{EE} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} + \text{CHO} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} \right) * 100$$

Dónde: PC = Proteína Cruda

EE = Extracto Etéreo

CHO = Extracto Libre de Nitrógeno (Carbohidratos)

### 3.7.8 DETERMINACIÓN DE COLOR

Para la determinación del color en las muestras se utilizó un colorímetro Marca Konica Minolta.

Lo primero que se hizo fue la calibración del equipo, usando la placa de calibración del propio aparato, para no obtener lecturas erróneas.

Se ajustó el colorímetro a los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , una vez ajustados los parámetros, el colorímetro se coloca sobre las muestras de tortilla apuntando en 5 puntos diferentes.



**Figura 26. Colorímetro marca Konica Minolta**

Con el promedio de las lecturas y usando el diagrama de color, se colocó las coordenadas de los parámetros y así se identificó el color de las muestras de las tortillas a diferentes concentraciones.

### 3.7.9 DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES

Para llevar a cabo la determinación de ácidos grasos en las muestras de tortilla se utilizó un cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer.



**Figura 27. Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosistem XL**

Para esta técnica se necesita la muestra previamente desengrasada en el aparato Soxhlet, después se colocaron en una estufa con circulación de aire caliente a una temperatura de 55-60 °C por 24 horas. Transcurrido el lapso se colocan en un desecador para enfriarse por 20 minutos, para después pesarlos.

#### **3.7.9.1 Extracción líquido- líquido**

Al matraz bola previamente desengrasado se le agregaron 10 mL de agua destilada, además de 30mL de cloroformo-metano (2:1). Esta mezcla se pasó a un embudo de separación, el cual se agito intensamente durante 60 segundos, para dejarlo reposando hasta se forme la separación de 2 fases.

Después de lapso de tiempo hubo una separación de dos fases una acuosa en la parte superior (formada por proteínas, sales y minerales) y otra formada por lípidos en la parte inferior (aceites).

Se recuperó la parte inferior con mucho cuidado en un matraz bola, se llevó al roto vapor a una temperatura de 40-50°C.

Se recuperó el cloroformo para después agregar al matraz NaOH al 0.5 N, además de 10mL de metanol. Posteriormente se calentó en baño maría a 65°C por 20 minutos.

Se retiró del baño maría y se le adicionaron 15 mL de reactivo de Folch y se continuó calentando por 5 minutos más a la misma temperatura.

Cumplido el tiempo se le agregan 30mL de agua destilada y se deja enfriar para después agregarle 50mL de hexano agitando vigorosamente, posteriormente se pasa al embudo de separación, se pone en el soporte y se espera la formación de las fases nuevamente.

En la parte superior se formó los esteres metilos de ácidos grasos y en la inferior los resultantes de la hidrolisis.



**Figura 28. Separación de fases**

Se destiló el hexano a una temperatura de 55-60°C, el residuo se recuperó y se diluyo en 5 mL de hexano, se colocaron los tubos de plásticos con tapa, limpios e identificados.

Las muestras se pusieron en un congelador para su conservación y posterior análisis.



**Figura 29. Muestras de ácidos grasos**

Para identificar los ácidos grasos que se encuentran en las muestras de tortilla se utilizó un cromatografo de gases marca Perkin Elmer Autosistem XL, que tenía una columna capilar de ECTN-WAX (30m\*0.32m\*0.25m).

Se inyectaron cada una de las muestras en el equipo, incluyendo el estándar F.A.M.E Mix C-4 C-24 100 mg, registrando los datos y anotando cada una de las lecturas en la computadora .la cual cada ácido graso representaba un pico y dependiendo la posición en la que se encontraban.

Se anotaron el tiempo y el área de cada uno de los picos y se comparó con el blanco y la tabla de estándar de esteres metílicos de ácidos grasos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados recopilados en el presente capítulo, los cuales fueron obtenidos en la etapa experimental se llevaron a un análisis de varianza de los datos (ANVA) y prueba de medias de Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ) empleando el paquete estadístico StatPlus: Mac. En el cual se analizaron las siguientes variables de estudio: Cenizas (%), Extracto Etéreo (%), Fibra Cruda (%), Proteína Cruda (%), ELN (Carbohidratos) (%), Contenido Calórico (kcal/100 g). Se realizaron cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno: Testigo, 3%, 5% y 7% de acuerdo a la concentración de harina de Chía adicionada.

Además del color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y contenido de ácidos grasos en las diferentes tortillas de harina de Chía.

### 4.1 COMPARACIÓN DE MEDIAS DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Los resultados se muestran a continuación el Cuadro 4.

**Cuadro 4. RESULTADOS**

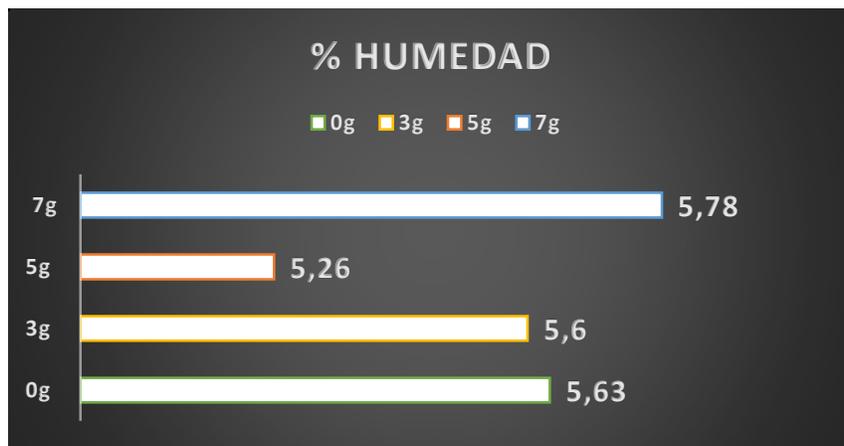
<b>Tortilla de masa de maíz nixtamalizado adicionada con harina de chíá</b>	<b>TESTIGO</b>	<b>3 g</b>	<b>5 g</b>	<b>7 g</b>
<b>Ceniza Total (%)</b>	2.73	2.91	3.00	3.06
<b>Extracto Etéreo (%)</b>	1.66	2.28	6.48	6.04
<b>Proteína Cruda (%)</b>	1.29	1.45	1.55	1.57
<b>Fibra Cruda (%)</b>	46.64	48.56	48.31	50.23
<b>(%) Carbohidratos</b>	47.66	44.77	40.63	39.08
<b>Contenido calórico (kcal/g)</b>	210.80	205.51	227.15	217.03
<b>Color variable (L)</b>	54.88	48.53	45.08	46.62

<b>Color variable (a)</b>	-0.13	0.72	-0.17	-0.17
<b>Color variable (b)</b>	23.38	18.88	15.19	15.06

## 4.2 % HUMEDAD Y MATERIA SECA TOTAL

**Cuadro 5. RESULTADOS DE MATERIA SECA TOTAL Y HUMEDAD**

FORMULACIONES	% MATERIA SECA TOTAL	% HUMEDAD
<b>0 g de harina de Chía</b>	94.37	5.63
<b>3 g de harina de Chía</b>	94.40	5.60
<b>5 g de harina de Chía</b>	94.74	5.26
<b>7 g de harina de Chía</b>	94.22	5.78



**GRÁFICO 1. . Determinación de humedad en diferentes concentraciones de harina de Chía.**

## Cuadro 6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SEMILLAS (g/100 g)

Composición química de semillas (g/100g)				
	Semillas	Chía	Linaza	Rosa Mosqueta
Humedad		6.2 ± 0.0 <sup>a</sup>	7.2 ± 0.08 <sup>b</sup>	6.8 ± 0.07 <sup>b</sup>
Proteína		19.9 ± 0.20 <sup>b</sup>	19.9 ± 0.27 <sup>b</sup>	6.5 ± 0.04 <sup>a</sup>
Materia grasa		27.9 ± 0.42 <sup>c</sup>	37.4 ± 0.70 <sup>d</sup>	7.8 ± 0.35 <sup>b</sup>
Cenizas		4.5 ± 0.04 <sup>c</sup>	3.1 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.0 ± 0.03 <sup>a</sup>
Hidratos de carbono		8.6 ± 0.28 <sup>b</sup>	7.2 ± 0.12 <sup>b</sup>	13.0 ± 0.71 <sup>b</sup>
Fibra dietética		33.0 ± 0.54 <sup>b</sup>	25.2 ± 1.05 <sup>a</sup>	64.0 ± 0.84 <sup>c</sup>

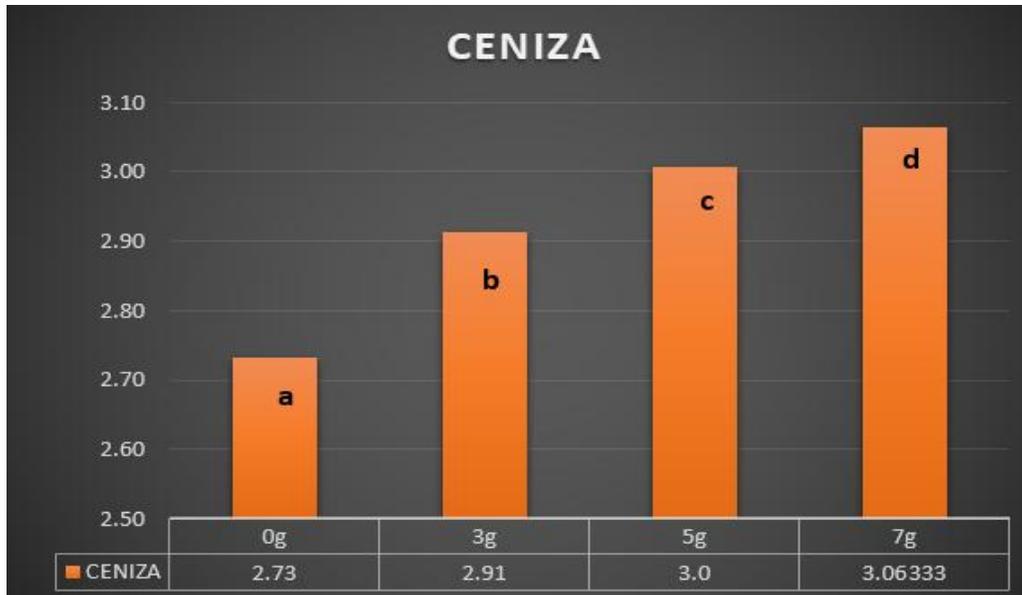
Los resultados son promedio de un triplicado ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada fila (p<0.05).

Fuente: JIMENEZ P, Y OTROS, 2013

De acuerdo a la Gráfica 1 el mayor porcentaje de humedad se encuentra en la tortilla elaborada con 7 gramos de harina de Chía con un 5.78 % de humedad en comparación con el testigo que reporto un porcentaje de 5.63 .Esto se debe a que la semilla de Chía presenta una humedad alta de acuerdo a (Jiménez P,2013) en donde se reporta con un 6.2 g/100 g, por lo tanto la humedad de la masa de maíz nixtamalizado junto con la de la harina de Chía fueron las causantes de que la humedad estuviera elevada.

### 4.3 CENIZA

En el Gráfico 2 nos señala que el contenido de ceniza total (%) en base a la concentración de harina de Chía son estadísticamente diferentes según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ).

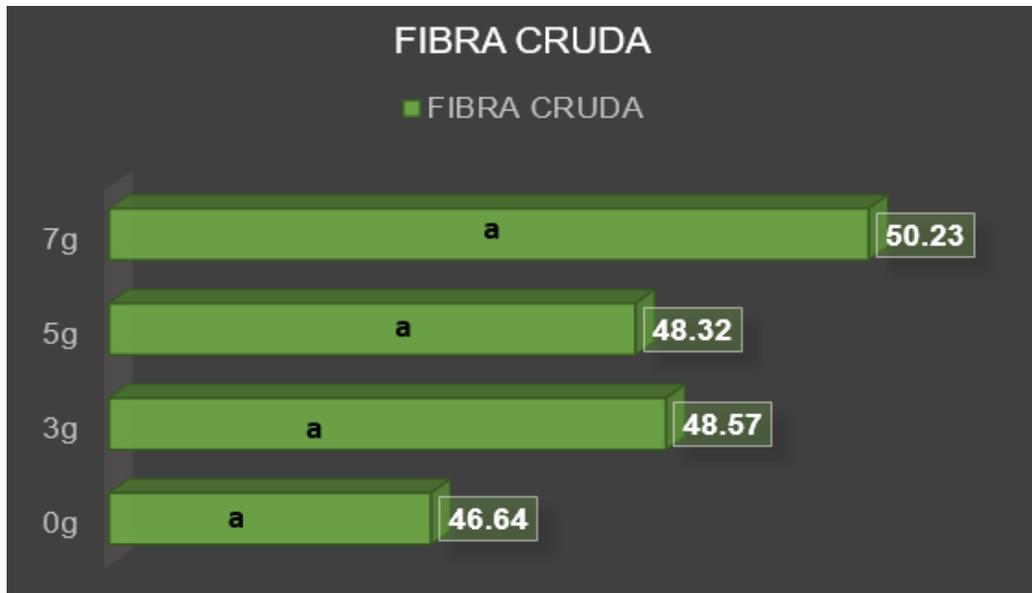


**GRÁFICO 2. Comparación de media ceniza**

En la Gráfica 2 nos muestra el % de ceniza de acuerdo a las diferentes concentraciones utilizadas 3 g, 5 g, y 7 g de harina de Chía. El contenido más alto lo reportó la tortilla de masa de maíz nixtamalizado adicionada con 7 g de harina de Chía con un 3.06% en comparación con el testigo con un 2.73%. De acuerdo con (Jiménez P, 2013) por cada 100 g de semilla de Chía estas contienen 4.5 g de cenizas (minerales) por lo que a mayor contenido de harina de Chía habrá mayor contenido de minerales.

#### 4.4 FIBRA CRUDA

En la Gráfica 3 nos muestra los porcentajes de fibra de acuerdo a la concentración de harina de Chía, según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ) son estadísticamente iguales.

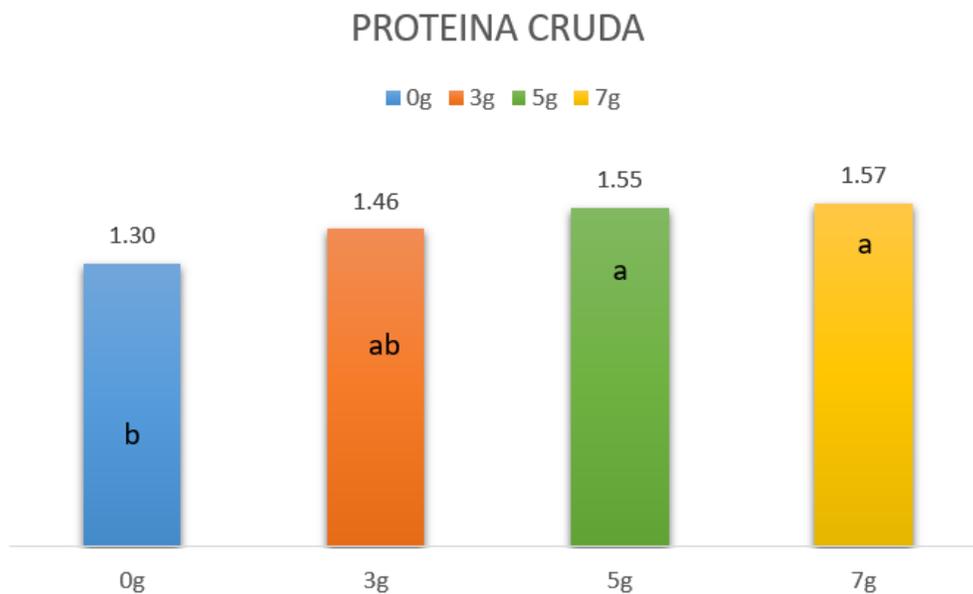


**GRÁFICO 3. Contenido de fibra cruda**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Gráfica 3, el mayor contenido de fibra cruda lo muestra la tortilla con 7 g de harina de Chía con un porcentaje de 50.23, en comparación con el tratamiento testigo que contiene 46.64%.segun (Jiménez P, 2013) por cada 100 g de semillas de Chía estas contienen 33 g de fibra cruda, por consiguiente habrá mayor fibra cruda a mayor concentración de harina de Chía.

#### **4.5 PROTEINA CRUDA**

En la Gráfica 4 nos muestra los porcentajes de proteína de acuerdo a la concentración de harina de Chía en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado, en donde según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ) son estadísticamente diferentes.



**GRÁFICO 4. Comparación de medias con las diferentes concentraciones de harina de Chía de acuerdo al % de proteína**

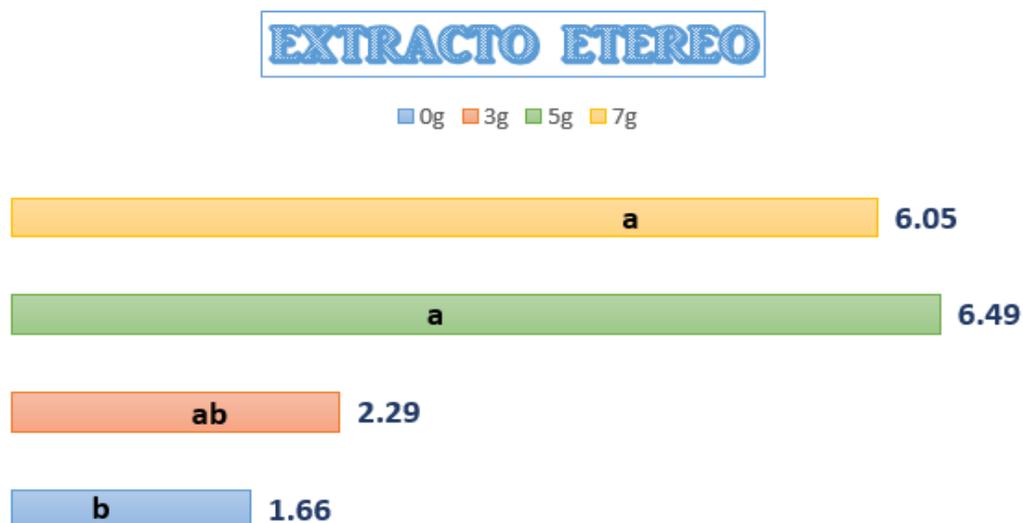
De acuerdo con los resultados obtenidos en la Gráfica 4, el mayor porcentaje de proteína es de 1.57 con el tratamiento de 7 g de harina chía, en comparación con la muestra testigo en la que se obtuvo un porcentaje de 1.30%.

Según (Paredes López, y otros, 2009), maíz es deficiente en lisina y triptófano, y obviamente el nixtamal y la tortilla también lo son. Sin embargo, la nixtamalización incrementa la disponibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales: es una de las principales contribuciones a la nutrición humana. En general, se ha observado que uno de los indicadores importantes del valor nutritivo de una proteína, la relación de eficiencia proteínica, se incrementa por el proceso de nixtamalización; es una de las bondades de consumir tortilla, en lugar de maíz sin nixtamalizar.

En resumen, la nixtamalización mejora considerablemente en forma global el aporte nutritivo de las proteínas del grano de maíz que al adicionarse con la harina de Chía, incrementó su porcentaje de proteínas.

#### 4.6 EXTRACTO ETÉREO O GRASA

En el Gráfico 5 nos señala que el contenido de extracto etéreo o grasa total (%) en base al tratamiento de la concentración de harina de Chía son estadísticamente diferentes según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ).

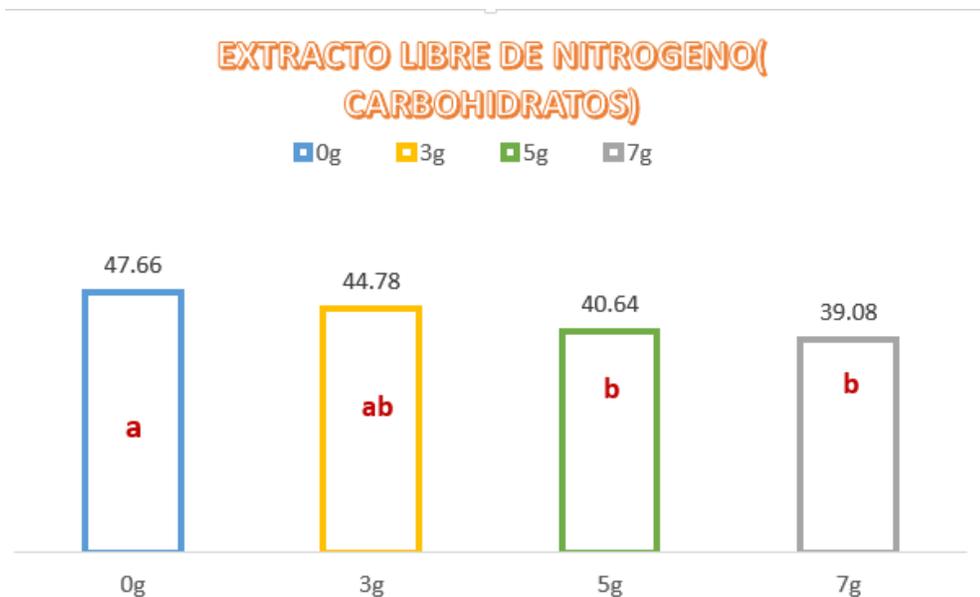


**GRÁFICO 5. Comparación de medias con los diferentes tratamientos con harina de Chía de acuerdo al extracto etéreo**

Los resultados obtenidos en extracto etéreo o grasa fueron de 1.66% para la muestra testigo y de 6.49% para el tratamiento de 5 g de harina de Chía. En comparación con los resultados del Cuadro 5 en donde la semilla de chía obtiene un valor por arriba de 27%, se obtuvo un valor bajo, sin embargo según (Hidalgo A, y, 2009), las diferencias encontradas en la composición química de la semillas se puede atribuir a distintos factores, entre los cuales se puede mencionar a la especie, variedad, lugar geográfico, estacionalidad y otros factores agronómicos.

## 4.7 EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (CARBOHIDRATOS)

Los resultados obtenidos indican que los tratamientos son estadísticamente diferentes según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ).



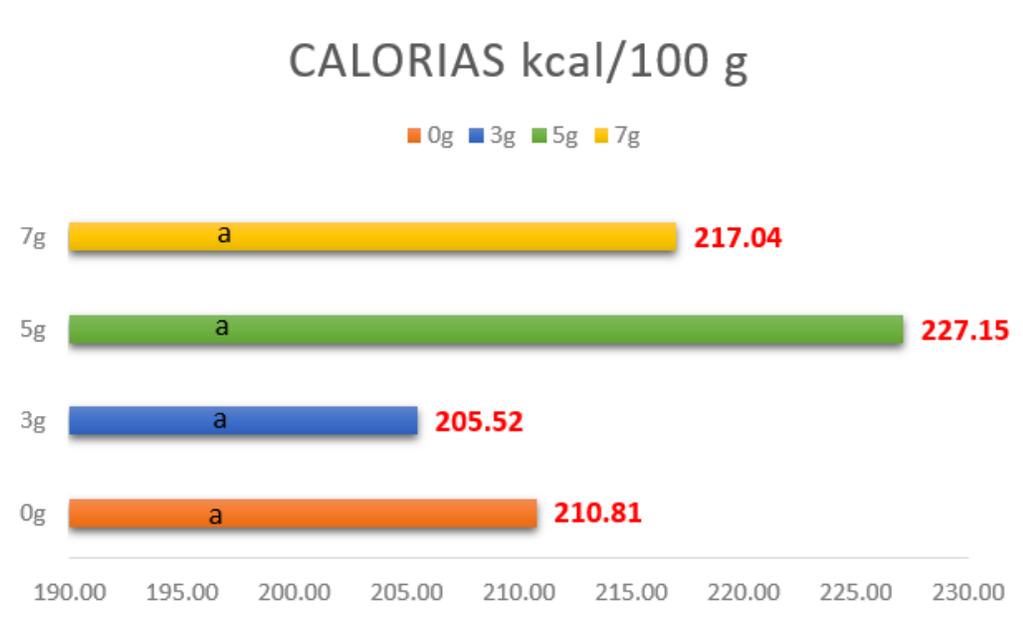
**GRÁFICO 6. De extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) en los diferentes tratamientos**

Los resultados de la Gráfica 6 nos muestran que la tortilla testigo obtuvo el mayor contenido de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos), en comparación con el tratamiento en donde se adiciona mayor cantidad de gramos de harina de Chía. Es decir, que a mayor contenido de harina de Chía, menor contenido de carbohidratos.

En la Tabla que nos presenta Jiménez y otros, la semilla de chía tiene un porcentaje por debajo de los 8 g/100 g, lo que en relación con los resultados nos indican valores diferentes por los carbohidratos ya incluidos en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

## 4.8 CONTENIDO CALÓRICO

En el Gráfico 7 nos señala que el contenido de Contenido Calórico (kcal/100 g) en base al tratamiento de la concentración de harina de Chía son estadísticamente iguales según Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ).



**GRÁFICO 7. Contenido de calorías kcal/100 g**

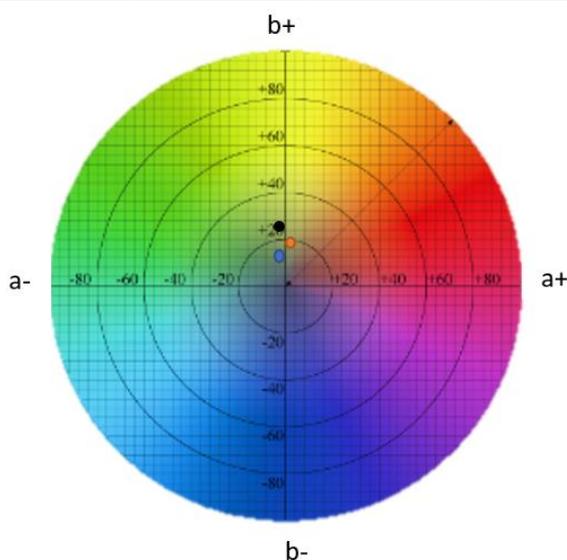
Los resultados obtenidos en cuanto contenido de calorías indican que entre el tratamiento testigo y la el tratamiento con mayor adición de harina de semilla de Chía hay una diferencia de 6.23, por lo tanto el consumo de esta tipo de alimento podría ser una alternativa saludable para el consumidor.

## 4.9 COLOR (L\*, a\* y b\*)

En el Cuadro 7 nos muestran los resultados para el color en los diferentes tratamientos que se llevaron a cabo. En donde: L\*= Luminosidad, a\*= coordenadas rojo/verde y b\*= coordenadas amarillo/azul.

**Cuadro 6. RESULTADOS DE COLOR EN DIFERENTES TRATAMIENTOS.**

TORTILLA DE MASA DE MAIZ NIXTAMALIZADA ADICIONADA CON HARINA DE CHIA	TESTIGO		3 g	5 g	7 g
Color variable (L)	54.88		48.53	45.08	46.62
Color variable (a)	-0.13	0.72	-0.17	-0.17	
Color variable (b)	23.38	18.88	15.19	15.06	



**Figura 30. Diagrama de cromaticidad**

Fuente:

[http://www.graficosdehoy.com/sites/graficosdehoy.com/files/imagecache/Full\\_gallery/editorial/33-2.jpg](http://www.graficosdehoy.com/sites/graficosdehoy.com/files/imagecache/Full_gallery/editorial/33-2.jpg)

Los resultados de color L, a\* y b\* para la tortilla testigo son de 54.88, -0.13 y 23.38, los valores para la tortilla con el tratamiento de adición de 7 g de harina de chía son de 46.62, -0.17 y 15.06 respectivamente.

Los valores para L\* son positivos por lo que de acuerdo al diagrama de cromaticidad, las concentraciones se encuentran en el parámetro de luminosidad hacia el tono blanco (positivo). Para las concentraciones de a\* los valores son negativos es decir están hacia la tonalidad verde, excepto para el tratamiento de 3

g el cual esta hacia el lado positivo la tonalidad amarilla, y para el punto b\* los valores están en el punto positivo, es decir una tonalidad amarilla. De acuerdo con (Badui, 2006) los consumidores tienen preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva y el color es el primer atributo que se juzga de los productos.

Los alimentos, tanto en su forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica. El color a menudo se utiliza para determinar el contenido de pigmentos de un producto, que a su vez es un índice de calidad.

#### 4.10 ÁCIDOS GRASOS

**Cuadro 7. ÁCIDOS GRASOS Y SU CONCENTRACIÓN EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

Ácidos Grasos	Testigo	3 g	5 g	7 g
Ácido butírico	-	0.09575	0.13475	
Ácido cis-11-Eicosanoico (C20:1)	-	0.005675	0.01155	0.058
Ácido Heptadecanoico (C17:0)	-	0.036	0.075	0.01275
Ácido Caproico (C:6)	-	0.09755	0.332	0.71475
Ácido Linolelaidico(C:19)	-	0.0175	-	0.3785
Ácido $\alpha$ -Linolénico(C18:3n6)	-	-		0.0053
Ácido Mirístico	-	0.03275	0.0435	0.038
Ácido Tetracosanoico (C:24)	-	0.0725		
Ácido Undecanoico(C:12)	-	0.0195		
Ácido Araquidónico(C20:4n6)	-		0.015	
Ácido cis 13-Docosanoico	-	0.0575	0.05825	0.010325
Ácido Linoleico	-	0.2125*	0.09875*	0.4495*

\*mg/100 g de Tortilla de masa adicionada con harina de Chía.

**Cuadro 8. COMPUESTOS ACTIVOS IDENTIFICADOS EN SALVIA HISPANICA L. (g /100 g)**

Ácidos Grasos	Chía
Ác. Láurico C12:0	-
Ác. Mirístico C14:0	0,08 ± 0,00
Ác. Palmítico C16:0	7,29 ± 0,17
Ac. Heptadecanoico C17:0	0,03 ± 0,04
Ác. Esteárico C18:0	3,84 ± 0,09
Ác. Eicosanoico C20:0	0,23 ± 0,00
Ác. Docosanoico C22:0	Trazas
Ác. Tetracosanoico C24:0	Trazas
Acidos grasos saturados totales	11,47
Ác.Palmitoleico C16:1	0,06 ± 0,00
Ác. Elaídico C18:1w9 trans	1,91 ± 0,29
Ác. Oleico C18:1w9 cis	8,91 ± 0,30
Ác. Octadecaenoico C18:1 w7 cis	1,31 ± 0,05
Ác. Octadecaenoico C18:1 isom	0,23 ± 0,03
Ác. Octadecaenoico C18:1 isom	0,17 ± 0,02
Ác. Eicosaenoico C20:1	0,12 ± 0,00
Ác. Eicosaenoico C20:1w9	0,17 ± 0,00
Ác. Grasos Monoinsat.Totales	12,88
Ác.Hexadecadienoico C16:2	0,18 ± 0,00
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,48 ± 0,04
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,89 ± 0,12
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,34 ± 0,04
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,16 ± 0,03
Ác .Linoleico C18:2w6	19,36 ± 0,16
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	0,10 ± 0,01
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	0,08 ± 0,01
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Eicosadienoico C20:2	0,28 ± 0,03
Ác.γ-Linolénico C18:3w6	0,08 ± 0,01
Ác Octadecatrienoico C18:3 isom	0,32 ± 0,30
Ác Octadecatrienoico C18:3 isom	0,09 ± 0,01
Ác. Linolénico C18:3w3 cis	51,82 ± 1,49
Ác. Eicosatrienoico C20:3w3	-
Ác. Grasos Poliinsat. Totales	74,18
No identificados	1,47
Relación sat:mono:polinsaturados	1: 1,12: 6,47
Relación w6:w3	0,37

Fuente: Jiménez P, y otros, 2013

De acuerdo al Cuadro 8, se encontraron 12 ácidos grasos presentes en los 3 tratamientos 3 g, 5 g, 7 g de harina de Chía, en comparación con la muestra testigo que no se identificó ninguno; por lo tanto el consumir una tortilla adicionada con harina de Chía traerá consigo más beneficios que consumir una que no la tenga.

En el Cuadro 9 se muestran los ácidos grasos encontrados en la semilla de Chía que al compararlos con los encontrados en los tratamientos de tortilla de masa de maíz adicionada con harina de Chía hay algunos que se encuentran presentes por mencionar algunos como son el ácido araquidónico, mirístico, caproico y butírico.

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL) son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, donde cumplen un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores fisiológicos (Valenzuela R *et al.*, 2011). Entre los que se identificaron en la tortilla de masa adicionada con harina de Chía son los siguientes:

Ácido  $\alpha$ -linolénico Omega 3 (AAL, C18:3, n-3) (AGPICL): De acuerdo al Cuadro 8 este ácido esencial se encuentra en el tratamiento de 7g con un contenido de 0.0053 mg/100g, por lo que a mayor contenido de harina de chía, aumentara el contenido de este ácido graso; según (Duque, P.J., 2010) reduce los niveles de colesterol y triglicéridos, previene enfermedades cardiovasculares. Posee actividades antiinflamatorias, cardioprotectoras y hepatoprotectoras antidiabéticas. Protección contra la artritis autoinmune y cáncer.

Ácido linoleico Omega 6 (AL, C18:2, n-6) (AGPICL): Los resultados muestran que en el tratamiento de 7g de harina de Chía aporta el mayor contenido de ácido linoleico con 0.4495 mg/100g de tortillas de Chía. Estos ácidos grasos esenciales tienen propiedades inflamatorias, hipertensivas y trombóticas (Duque, P.J., 2010) por lo que consumirlos nos trae números beneficios a la salud.

Otros de los ácidos grasos que se muestran el Cuadro 8 es el Ácido Docosenoico (Omega 9), el cual se encuentra en los distintos tratamientos,

excepto en el Testigo. Una forma eficaz de aumentar la ingesta es la fortificación o la adición de ácidos grasos omega tres a alimentos de uso cotidiano (Carrero, 2005), como es la tortilla de maíz.

Algunos ácidos grasos como son el Ácido Tetracosainoico y el ácido Undecanoico están presentes solo en el tratamiento del 3%. Al contrario del ácido Araquidónico que solo se encuentra en la tortilla con el 5 % de harina de Chía.

Algunos de los factores que pudieron haber afectado el contenido de ácidos grasos en cada uno de los tratamientos es el tiempo que se tardó en inyectar cada uno de ellos en el cromatógrafo de gases, ya que el tiempo que se demoró en identificar cada uno de ellos fue distinto. Y según (Bueno M, y otros, 2010) la calidad de las semillas disminuye también con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que estas permanecen almacenadas.

Aun así se logró identificar 3 ácidos grasos muy importantes en la tortilla 7% la cual nos indica que a mayor contenido de harina de chía , mayor contenido de ácidos grasos esenciales.

Por lo tanto contienen ácido linoleico y  $\alpha$ -linolénico, que representan la mayor fuente natural de ácidos grasos omega-6 y omega-3 y son muy importantes en la nutrición humana por reducir los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares.

## 5. CONCLUSIONES

Se desarrolló una tortilla de maíz nixtamalizado adicionando harina de Chía (*Salvia hispánica L.*) en diferentes concentraciones.

Se realizó la caracterización química en la que se encontró diferencia significativa en el contenido de ceniza, proteína cruda, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno (carbohidratos).

Se determinaron las concentraciones de harina de Chía elaboradas con 0, 3, 5 y 7 g de harina de chía (*Salvia hispánica L.*) por cada 100 g de tortilla en donde se demostró que la concentración de 7/100 g presentó los mejores resultados.

Se evaluaron las características químicas de las tortillas siendo la formulación 7/100 g con mayor contenido de proteína cruda y fibra.

Se determinó el color en las diferentes muestras de tortilla.

Se determinaron los ácidos grasos esenciales presentes en las diferentes formulaciones, en la que se encontró que la formulación 7/100 g presenta mayor contenido nutricional en base al contenido de ácidos grasos esenciales con un 0.4495 de ácido linoleico (omega 6), 0.0053 de alfa linolénico (omega 3) y 0.010325 de ácido docosenoico (omega 9) mg/100 g de tortilla de masa adicionada con harina de Chía.

Se concluye que la tortilla elaborada con harina de Chía posee características que incrementan su valor nutritivo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, L., & David, W. (1978). Manejo de la fertilización de maíz (*Zea más L.*) en el valle santa catalina.
- Andrew J Sinclair a,\* Nadia M. Attar-Bashia, And Duo Li b (2002) "What is the role of  $\alpha$ -linolenic Acid for Mammals". *Lipids* 37 (12): 1113-11223.
- Arámbula V G, (2001) Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Wood Si.* 64(1):120-124
- Ayerza R (Jr.), Coates W (2005). Chía. Rediscovering a Forgotten Crop of the Aztecs (1st ed.). The University of Arizona Press, Tucson (USA) 197 p
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos (Vols. 4; ISBN 970-26-0670-5). México: Pearson Educación.
- Beltrán-Orozco, M. C., & Romero, M. R. (2003). Chía, alimento milenario. *Revista Industria Alimentaria*. Septiembre/Octubre, 20-29.
- BUENO, M., DI SAPIO, O., BAROLO, M., BUSILACCHI, H., QUIROGA, M., & SEVERIN, C. (2010). Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispánica L.* (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(3).
- Cahill J P (2004) Genétic diversity among varieties of chía (*Salvia hispánica L.*). *Gen. Res. Crop Evol.* 51:773-781.
- Cahill J P (2005). Human selection and domestication of chía (*Salvia hispánica L.*). *Gen Res Crop Evol*, 51: 773-781
- Cahill, J. P. (2003). Ethnobotany of chía, *Salvia hispánica L.* (Lamiaceae). *Economic Botany*, 57(4), 604-618.
- Cano y Cano, G. 1973. Estudio morfológico comparativo del fruto de 9 razas mexicanas de maíz. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Chapingo, México.

- Carrero, J.J., Martin-Bautista, E., Baro, I. et al. (2005,) “Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos Omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta”. Nutr. Hosp. [En Línea]. vol.20, no.1, p.63-69.
- Chediack, D. (2014) La semilla de chía debe ser de la mejor calidad. La Gaceta [En línea] Recuperado de: <http://www.lagaceta.com.ar/nota/575996/rural/semilla-chia-debe-ser-mejor-calidad.html> (Visitado 20 Jul 2015).
- Coates W, Ayerza R (Jr.) (1996). Production Potential of Chía in Northwestern Argentina. *Ind Crops Prod*, 5: 229–233
- Covarrubias (2002) “Consideraciones generales sobre la importancia de las grasas en la nutrición”. Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, URL:[http://www.puc.cl/agronomia/2\\_alumnos/ProyectosTitulos/pdf/MElenaCovarrubias-KOrtega.pdf](http://www.puc.cl/agronomia/2_alumnos/ProyectosTitulos/pdf/MElenaCovarrubias-KOrtega.pdf)
- Cunnane SC. Problems with essential fatty acids: time for a new paradigm? *Prog Lipid Res* 2003; 42:544–68.
- Duque, P.J., 2010, *Biología panorámica de un sector*, Netbiblo, España  
Duke’s Handbook of Medicinal Plants of Latin América
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1993. Cultivos Andinos. Nutrición y Composición Química (en línea). Consultado 25 sep. 2009.
- FAO/OMS. Fats and Oils in Human Nutrition. Report of a Joint Expert Consultation FAO/OMS. FAO Food and Nutrition 1994. N° 57.
- Fernández Suárez, R., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 275-283.

- Fernández-Muñoz, J. L. (2002). Caracterización físico-químico de biopolímeros derivados del maíz sometidos a tratamiento térmico alcalino (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado CICATA-IPN México DF).
- Figuroa C J D, M G Acero-Godínez, N L Vasco-Méndez, A Lozano- Guzmán, L M Flores-Acosta, J González-Hernández (2001) Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. Arch. Latinoam. Nutrición 51(3):293-302.
- FIRA. 2015. Panorama agroalimentario: Maíz. 36 p.
- García, M. E. R., Saldívar, S. R. O. S., & Sinencio, F. S. (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla: aspectos nutrimentales y toxicológicos. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gómez Aldapa, C. A. (1996). Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua.
- Guevara-Cruz M, Tovar AR, Aguilar-Salinas CA, MedinaVera I, Gil-Zenteno L, Hernández-Viveros I, López-Romero P, Ordaz-Nava G, Canizales-Quinteros S, Guillén Pineda LE, Torres N. (enero 2012). Un patrón de dieta como el nopal, la semilla de chía, la proteína de soya, avena y reduce los triglicéridos en suero y la intolerancia a la glucosa en pacientes con síndrome metabólico. J Nutr. 142 (1):64-9.
- Guiotto, E. N. (2014). Aplicación de subproductos de chía (*Salvia hispánica* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) en alimentos (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).
- Hellin, J., Keleman A., López D., Donnet L., & Flores D. 2013. La importancia de los nichos de mercado: Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. Revista Fitotecnia Mexicana. 36:315-328 p
- Hidalgo A, Brandolini A, Ratti S. Influence of Genetic and Environmental Factors on Selected Nutritional Traits of *Triticum monococcum*. J Agric Food Chem 2009; 57: 6342-48.

- Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista chilena de nutrición*, 40(2), 15n 5-160.
- Jugenheimer, R.W 1981. Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa, México.
- Kirchhoff, P. (1960). Mesoamérica límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales (No. AC/305.872 K5)
- Knoch B, Barnett M, Roy N, McNabb W. Study of the effects of dietary polyunsaturated fatty acids: Molecular mechanisms involved in intestinal inflammation. *Grasas Aceites* 2009; 60: 8-21.
- Lamas, M.A. (2013). La chía, un cultivo muy rentable. *El Economista*. [En línea] 19 Mar 2013. Recuperado de: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/03/19/chia-cultivo-muy-rentable%20> (Visitado 14 Jul 2015).
- Llascalas, R. 1943."La teoría química de la formación de nixtamal". *Revista de la sociedad mexicana de historia natural (México)*.pp129-134
- Martínez Bustos, F., Flores Farías, R Salinas Moreno, Y., & Ríos, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36(5).
- Martínez M (1959). *Plantas Útiles de la Flora Mexicana*. Ediciones de Botas, DF (México) pp. 198-202.
- Martínez-López, J. D. (2002). Producción de maíz. *Phyton (Buenos Aires)*, 76, 169-185
- Matt B (2008). Chía: The Ord Valley's new super crop. *ABC Rural*
- Miranda T. 2015. Efecto de las densidades de chía a la hora de la siembra. [Tesis] universidad nacional agraria facultad de agronomía departamento de producción vegetal.

- Ortiz de Montellano, B.R. 1978. Cannibalism: An ecological necessity? *Science* 200:611-617.
- Paliwal RL, G Granados, HR Lafitte, AD Violic (2001) *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO, Roma. 376 p.
- Paredes López, Octavio y Guevara Lara Fidel, Bello Pérez Luis Arturo. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92, octubre-marzo, 60-70.
- Plants for a Future (2002). <http://www.pfaf.org/database/> (acceso 07/2010)
- Pongracz G, Weiser H, Matzinger D (1995). Tocopherole–Antioxidantien der Natur. *Lipid/Fett*, 97(3): 90-104
- Ramamoorthy T P (1985). *Salvia L. En Flora Fanerógama del Valle de México. Volumen II (Dicotiledóneas)*. Eds. J Rzedowski, GC De Rzedowski, Instituto Politécnico Nacional de México, DF (México) pp. 298-310.
- Rodríguez Vallejo J (1992). *Historia de la agricultura y de la fitopatología, con referencia especial a México*. Colegio de Post-graduados en Ciencias Agrícolas, Ciudad de México (México).
- SAGARPA, (2010). "Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero, SIAP.
- SAGARPA, (2011). "Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero, SIAP.Publicación disemina.
- Sahagún B (1579). *Historia general de las cosas de Nueva España (Codex Florentino)*. Eds. A.M. Garibay, 1989. Editorial Porrúa (México)
- Serna Saldívar, S. O., Gómez M, H., & Rooney L., W. (1990). *Advances in cereal Science and Technology, Chapter 4: Technology, Chemistry, and Nutritional Value of Alkaline- Cooked Corn products (Vol. 4)*. Minm. EU: American Association of Cereal Chemists.
- SIAP. 2016. *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*. SAGARPA. México.

- Sierra-Macías M, A Palafox-Caballero, G Vázquez-Carrillo G, F Rodríguez-Montalvo, A Espinosa-Calderón (2010) Caracterización Agronómica, Calidad industrial y Nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21: 21-29.
- Simopoulos AP. Genetic variants in the metabolism of omega-6 and omega-3 fatty acids: their role in the determination of nutritional requirements and chronic disease risk. *Exp Biol Med (Maywood)* 2010;235:785-95.
- Torres, F., Moreno, E., Chong, I., & Quintanilla, J. (1996). La Industria de la masa y la tortilla. *Desarrollo y tecnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1113.
- Tosco, G. I. O. V. A. N. N. I. (2004). Los beneficios de la chía en humanos y animales. *Actualidades Ornitológicas*, 119(7).
- Tueme, J.J. (1976). Efecto de los parámetros de cocimiento y molienda sobre la conducta reológica de las masas nixtamalizadas de maíz blanco (africano) y amarillo (argentino) y mezclas de maíz con sorgo, triticale, soya y trigo. Tesis de Maestría. Escuela de Ciencias Marítimas y alimentarias. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Valenzuela R, Tapia G, González M, Valenzuela A. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev Chil Nutr.* 2011; 38: 356-67.
- Vargas López, Samuel, García Martínez, Antonio. R., Sánchez Rodríguez, Manuel y Castro Rodríguez, D. (2014). Interacción agricultura de subsistencia y ambiente en la región semiárida de Puebla, México. *Universitat de les Illes Balears (UIB)*.
- Verdalet G., I., Ojeda R., M. M. y Silva H., E. R. (2001). Diagnóstico alimentario y nutricional en familias mexicanas. *Información Tecnológica*, 5, 12-79.
- Watson G (1938). Nahuatl word in American English. *American Speech*, 13: 108-121.

Wilkes, H.G. 1979. México and Central América as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. Crop Improv. 6(1): 1-18 p.

## PAGINAS DE INTERNET

Imagen Importancia del maíz recuperado de: <https://endimages.s3.amazonaws.com/cache/eb/97/eb97ce9fd079835cac5451df0c3a9fc0.jpg>

Imagen El maíz en la antigüedad recuperado de: [http://www.sinembargo.mx/wpcontent/uploads/2016/11/cultivo\\_con\\_uictli\\_codice\\_florentino\\_libro\\_x\\_f.jpg](http://www.sinembargo.mx/wpcontent/uploads/2016/11/cultivo_con_uictli_codice_florentino_libro_x_f.jpg)

Imagen nixtamalización recuperado de: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/dc7efb8a/dms3rep/multi/mobile/nixtamal-cooking-1000x750.jpg>

Imagen tortilla de maíz nixtamalizado recuperado de: [https://media3.s-nbcnews.com/j/newscms/2017\\_22/1217936/homemade-tortillas-blue-zone-today-170530-tease\\_bd0cefca3eedf1c096d68687b52c076f.today-inline-large.jpg](https://media3.s-nbcnews.com/j/newscms/2017_22/1217936/homemade-tortillas-blue-zone-today-170530-tease_bd0cefca3eedf1c096d68687b52c076f.today-inline-large.jpg)

Imagen semillas de chía recuperado de: <https://www.mujerhoy.com/noticias/201802/26/media/cortadas/semillas-de-chia-kja-U501081739563CUD-560x420@MujerHoy.jpg>

Imagen bebida nutricional a base de planta de Chía en la época prehispánica recuperado de: <http://3.bp.blogspot.com/SIDnb7UiJII/VfOfr8QdXEI/AAAAAAAAeHY/arElzoyoKa0/>

Imagen planta de Chía recuperado de: <https://www.brunoticias.com/wp-content/uploads/2018/01/Chi%CC%81a-2.jpg>

Imagen estructura de los ácidos grasos esenciales recuperado de :  
[https://www.researchgate.net/profile/Cj\\_Bautista/publication/46146496/figure/fig3/AS:667650539663360@1536191701028/Figura-1-Estructura-quimica-de-los-acidos-grasos-esenciales-A-acido-linoleico-182.png](https://www.researchgate.net/profile/Cj_Bautista/publication/46146496/figure/fig3/AS:667650539663360@1536191701028/Figura-1-Estructura-quimica-de-los-acidos-grasos-esenciales-A-acido-linoleico-182.png)

Diagrama de color recuperado de:  
[http://www.graficosdehoy.com/sites/graficosdehoy.com/files/imagecache/Full\\_gallery/editorial/33-2.jpg](http://www.graficosdehoy.com/sites/graficosdehoy.com/files/imagecache/Full_gallery/editorial/33-2.jpg)