

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 MASA DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO ADICIONADA CON HARINA DE BRÓCOLI
(*Brassica oleracea var. Itálica*) PARA INCREMENTAR SU VALOR
NUTRITIVO

POR:

ANA ISABEL REYES DÍAZ

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México; Diciembre 2020

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 MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO
ADICIONADA CON HARINA DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. Itálica*) PARA
INCREMENTAR SU VALOR NUTRITIVO

Presentada por:

ANA ISABEL REYES DÍAZ

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del
Reglamento Académico para Alumnos de Licenciatura por el siguiente comité
asesor:

ME. Laura Olivia Fuentes Lara
Asesor principal

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor

Dr. Antonio F. Aguilera Carbó
Coasesor



The image shows three horizontal lines representing signature lines. The top line has a handwritten signature in blue ink that appears to be 'L. Fuentes Lara'. The middle line has a handwritten signature in blue ink that appears to be 'A. Benavides Mendoza'. The bottom line has a handwritten signature in blue ink that appears to be 'A. Aguilera Carbó'.

Saltillo, Coahuila, México; Diciembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

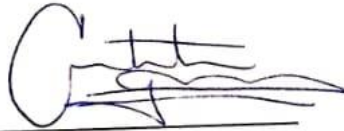
DESARROLLO DE UNA TORTILLA DE MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO
ADICIONADA CON HARINA DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) PARA
INCREMENTAR SU VALOR NUTRITIVO

Presentada por:

ANA ISABEL REYES DÍAZ

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



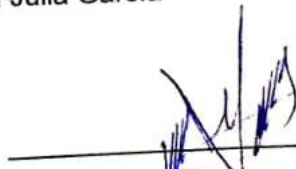
Dr. Antonio F. Aguilera Carbó
Presidente



QFB. María del Carmen Julia García
Vocal



MC. Oscar Noé Reboloso Padilla
Vocal



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



Saltillo, Coahuila, México; Diciembre de 2020

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 MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO ADICIONADA CON HARINA DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRITIVO

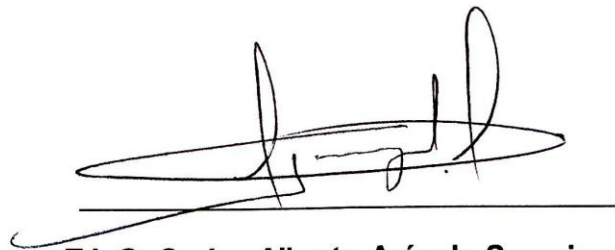
Presentada por:

ANA ISABEL REYES DÍAZ

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Con la participación en la ejecución técnica de este proyecto de investigación:



T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel

DEDICATORIA

**Este trabajo está
dedicado a ustedes
que son lo más
importante y lo que
más amo en la vida;**

A mis padres

Irais Díaz Rodríguez y Juan Reyes Fuentes

A mis hermanas

Selena Abigail y Dulce Lizbeth Reyes

A mis sobrinos

Juanito y Dulcito Reyes

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme guiado a lo largo de la carrera, por haberme dado las fuerzas, la voluntad, paciencia y perseverancia para poder llegar a lo que un día vi tan lejos, por brindarme una vida de aprendizajes, experiencias pero sobre todo de felicidad.

A **mis padres**, Irais Díaz Rodríguez y Juan Reyes Fuentes por su amor incondicional, por apoyarme en todo momento, además de los sacrificios que han realizado para verme convertida en una profesionista y por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A **la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** mi ALMA TERRA MATER, mi segundo hogar, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de crecer como persona por medio de sus enseñanzas. ¡Buitres por siempre!

A mi asesora **ME. Laura Olivia Fuentes Lara** por su apoyo, su paciencia y por toda la enseñanza que me ha brindado a lo largo de este proyecto de tesis.

Un agradecimiento especial a **T.L.Q Carlos Arévalo San Miguel** por su paciencia, apoyo durante las técnicas de laboratorio en la etapa experimental.

Al **Dr. Antonio Aguilera Carbó** por todo su apoyo en la presentación de este proyecto de tesis.

Al **MC. Francisco Ortiz Serafín** por su apoyo y confianza desde el inicio hasta el final de la carrera.

Al **Ing. Juan Manuel Pérez Gómez**, por ser mi persona favorita, por estar siempre ahí en los buenos y malos momentos, pero sobre todo por su amor incondicional.

A mi mamita **Adelma Reyes** por su cariño y consejos en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	3
1.2. Hipótesis	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 ANÁLISIS PROXIMAL	5
2.1.1 Humedad.....	6
2.1.2 Cenizas o minerales	7
2.1.3 Extracto etéreo o grasa cruda.....	8
2.1.4 Proteína bruta o cruda.....	9
2.1.5 Fibra cruda.....	11
2.1.6 Carbohidratos.....	12
2.2 EL MAÍZ	12
2.2.1 Origen del maíz.....	13
2.2.2 Importancia del maíz en México	13
2.2.3 Usos del maíz	14
2.3 NIXTAMALIZACIÓN	15
2.3.1 Definición	15
2.3.2 Origen	15
2.3.3 Proceso de nixtamalización	15
2.4 MASA	16
2.4.1 Definición	16
2.4.2 Composición.....	17

2.5	TORTILLA	17
2.5.1	Definición	17
2.5.2	Generalidades de la tortilla	17
2.5.3	Consumo en México	18
2.6	BROCÓLI	18
2.6.1	Generalidades	18
2.6.2	Taxonomía	19
2.6.3	Valor nutricional	20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1	Localización	21
3.2	Materia prima utilizada	21
3.3	Equipos utilizados.....	21
3.4	Materiales utilizados	22
3.5	Reactivos utilizados.....	23
3.6	Etapa 1: Formulación y desarrollo de la tortilla	23
3.6.1	Obtención de la harina de brócoli	24
3.6.2	Elaboración de las tortillas	25
3.7	Etapa 2: Caracterización química de la tortilla	27
3.7.1	Preparación de las muestras para su análisis.....	27
3.7.2	Determinación de materia seca total	28
3.7.3	Determinación de cenizas totales	29
3.7.4	Determinación de extracto etéreo o grasa total	30
3.7.5	Determinación de fibra cruda	32
3.7.6	Determinación de proteína cruda	34
3.7.7	Determinación de extracto libre de nitrógeno (ELN) o carbohidratos totales	36
3.7.8	Cuantificación de minerales	37
3.7.9	Determinación de contenido calórico (kcal).....	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1	Humedad (H.) y Materia Seca Total (M.S.T.).....	41
4.2	Cenizas Totales (C.T.).....	44

4.3	Extracto Etéreo (E.E.) o grasa	46
4.4	Proteína Cruda (P.C.)	47
4.5	Fibra Cruda (F.C.)	49
4.6	Carbohidratos (CHO)	51
4.7	Minerales	53
4.7.1	Hierro (Fe)	53
4.7.2	Sodio (Na)	55
4.7.3	Magnesio (Mg)	56
4.7.4	Potasio (K)	58
4.7.5	Calcio (Ca)	60
4.8	Contenido calórico (kcal/100 g)	61
5.	CONCLUSIONES	64
6.	BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de las determinaciones del análisis proximal.....	5
Figura 2. Esquema de extracción en equipo Soxhlet	9
Figura 3. Estructura general de los aminoácidos.	10
Figura 4 .Producción agrícola de México en el 2017	14
Figura 5. Proceso de nixtamalización tradicional	16
Figura 6. Tortilla de maíz nixtamalizado.....	17
Figura 7. Brócoli (<i>Brassica oleracea var. Itálica</i>)	19
Figura 8. Desinfección del brócoli	25
Figura 9. Pesado de la harina de brócoli	25
Figura 10. Masa con harina de brócoli	26
Figura 11. Cocimiento de las tortillas.....	26
Figura 12. Identificación de las tortillas	27
Figura 13. Tortillas adicionadas con brócoli deshidratadas	27
Figura 14. Recipientes identificados con las muestras secas de tortillas	28
Figura 15. Crisoles con muestras en estufa de aire caliente	29
Figura 16. Crisol en parrilla eléctrica	30
Figura 17. Matraces en aparato Soxhlet.....	31
Figura 18. Aparato de reflujo para determinar fibra cruda	32
Figura 19. Muestras filtradas.....	33
Figura 20. Matraces en aparato Kjeldhal	34
Figura 21. Destilación en aparato Kjeldhal	35
Figura 22. Matraces titulados.....	35
Figura 23. Espectrofotómetro de absorción atómica Varian.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del brócoli.....	19
Tabla 2. Composición nutricional de 100 g de una porción fresca comestible de brócoli (<i>Brassica oleracea var. Itálica</i>).....	20
Tabla 3. Equipos utilizados.....	21
Tabla 4. Materiales utilizados.....	22
Tabla 5. Reactivos utilizados	23
Tabla 6. Formulaciones del contenido de brócoli y de masa de maíz nixtamalizado	24
Tabla 7. Número de tratamientos en base a la concentración de harina de brócoli utilizada.....	40
Tabla 8. Comparación de medias por variables de estudio en base a concentración de brócoli.	41
Tabla 9. Porcentaje de humedad y materia seca total de cada uno de los tratamientos	42
Tabla 10. Comparación de tratamientos por contenido de materia seca total	43
Tabla 11. Comparación de tratamientos por contenido de cenizas totales	45
Tabla 12. Comparación de tratamientos por contenido de extracto etéreo	47
Tabla 13. Comparación de tratamientos por contenido de proteína cruda	49
Tabla 14. Comparación de tratamientos por contenido de fibra cruda	51
Tabla 15. Comparación de tratamientos por contenido de carbohidratos	53
Tabla 16. Comparación de tratamientos por contenido de Hierro	54
Tabla 17. Comparación de tratamientos por contenido de Sodio	56
Tabla 18. Comparación de tratamientos por contenido de Magnesio	57
Tabla 19. Comparación de tratamientos por contenido de Potasio	59
Tabla 20. Comparación de tratamientos por contenido de Calcio	61
Tabla 21. Comparación de tratamientos por Contenido Calórico	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.Comparación de medias de Materia Seca Total y Humedad en base a la concentración de harina de brócoli.	42
Gráfico 2.Comparación de medias de Cenizas Totales en base a la concentración de harina de brócoli.	44
Gráfico 3. Comparación de medias de Extracto Etéreo en base a la concentración de harina de brócoli	46
Gráfico 4.Comparación de medias de Proteína Cruda en base a la concentración de harina de brócoli.	48
Gráfico 5. Comparación de medias de Fibra Cruda en base a la concentración de harina de brócoli.....	50
Gráfico 6. Comparación de medias de Carbohidratos en base a la concentración de harina de brócoli.	52
Gráfico 7. Comparación de medias de Hierro (Fe) en base a la concentración de harina de brócoli.....	54
Gráfico 8. Comparación de medias de Sodio (Na) en base a la concentración de harina de brócoli.....	55
Gráfico 9. Comparación de medias de Magnesio (Mg) en base a la concentración de harina de brócoli	57
Gráfico 10. Comparación de medias de Potasio (K) en base a la concentración de harina de brócoli.....	58
Gráfico 11. Comparación de medias de Calcio (Ca) en base a la concentración de harina de brócoli.....	60
Gráfico 12. Comparación de medias de kilocalorías/100 g en base a la concentración de harina de brócoli	62

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 brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) en diferentes concentraciones para incrementar su valor nutritivo.

Se determinaron las concentraciones de harina de brócoli a utilizar para la elaboración de cada una de las tortillas, las cuales fueron, 0 g, 3 g, 5 g, 7 g y 10 g por cada 100 g de masa respectivamente.

Se llevó a cabo el análisis proximal de las tortillas con las siguientes variables: (% Humedad H, % Ceniza Total CT, % Extracto Etéreo EE, % Fibra Cruda FC, % Proteína Cruda PC, % ELN (carbohidratos), y Contenido calórico (kcal/100 g).

Se determinó el contenido de Potasio (K), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) de las diferentes muestras de tortillas.

Los resultados obtenidos indican que la mejor combinación para realizar una tortilla fue donde se utilizó una concentración de 10 % de harina de brócoli en la masa de maíz nixtamalizado. Donde sobresale el % de Proteína Cruda (16.59 %), % de Fibra Cruda (2.97 %), Magnesio (1.1 mg/g), Potasio (8.50mg/g) y Calcio (7.6 mg/g); también se notó una disminución significativa en el % de Carbohidratos (73.12 %) y el Contenido Calórico (388 kcal/100g) en comparación con la tortilla de maíz nixtamalizado tradicional.

Palabras claves: harina, brócoli, tortilla, nixtamalizado, proximal.

Ana Isabel Reyes Díaz

Correo electrónico: anareyes-ictaua@outlook.com

1. INTRODUCCIÓN

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 (Fernández, Morales y Gálvez, 2013).

La tortilla es el alimento más importante en México, por su consumo diario, sola o en múltiples y variadas formas de presentarla (Carballo y Zepeda, s.f.).

Alrededor de 94 % de los hogares incluyen a las tortillas en su dieta, de acuerdo con cálculos recientes del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, el consumo diario *per cápita* de tortilla es de 155.4 g en las zonas urbanas y hasta 217.9 g en las zonas rurales (Fernández, Morales y Gálvez, 2013).

Este alimento provee energía por su contenido alto de carbohidratos; además, aporta calcio, potasio, fósforo, fibra, proteínas y algunas vitaminas (Espejel *et al.*, 2016).

En las últimas dos décadas, México ha cambiado significativamente sus estadísticas de nutrición. Uno de los cambios más importantes que podemos encontrar es un alto índice de sobrepeso y obesidad en los estados del norte de la República, mientras que en los estados del sur y zonas con mayor densidad de población indígena se hace notorio el estado de desnutrición. Debido a esto, tanto la industria alimentaria de México como el gobierno, han realizado esfuerzos para aminorar estos problemas de salud mediante programas de fortificación de alimentos de alto alcance, como en la leche y principalmente, la tortilla de maíz nixtamalizado (Vázquez & Amaya, 2010).

El brócoli es también conocido por términos como brécol. Su nombre botánico es *Brassica oleracea* y pertenece a la familia crucífera, al igual que coles o coliflores.

Posee una forma similar a la coliflor pero con pedúnculos florares menos compacto, conformado un ramillete o cabeza irregular y abierta (Vázquez, 2013).

En la alimentación, el brócoli ocupa un lugar importante por su notable valor nutritivo debido a su alto contenido de vitamina C, potasio, hierro, beta-caroteno, entre otros elementos, se le considera una verdura de gran aporte benéfico para el organismo, y por su poder antioxidante, está considerada como la hortaliza de mayor valor nutritivo por lo que es imprescindible en la dieta alimentaria (Arroba, 2011).

1.1. Justificación

En la sociedad actual los problemas de alimentación a causa de la mala nutrición son cada vez más frecuentes, debido a esto la población demanda alimentos de alto valor nutritivo y de fácil acceso.

El maíz (*Zea mays L.*) en forma de tortilla, es uno de los principales componentes de la dieta del pueblo mexicano y la principal fuente de energía de la mayoría de la población. Desafortunadamente el maíz no es un alimento completo debido a que carece de proteína de buena calidad, hierro, zinc y vitaminas A, D, E y B12.

El contenido de Calcio (Ca) en el maíz es de apenas 0.03 mg/g, esta cantidad es baja comparada con los requisitos mínimos necesarios para una alimentación adecuada; sabiendo sobre todo que el Calcio es uno de los elementos principales en la composición de los huesos.

Además de una reducción en el tamaño de la partícula, durante la molienda del maíz ocurre un cambio en el contenido de carbohidratos, fibra, grasa, minerales, proteínas y vitaminas. Se presenta una pérdida importante de nutrimentos en la obtención de las harinas en comparación con los que están presentes en el grano original.

En México, a partir del año 2000 se han fortificado los cereales, la harina de trigo y maíz de acuerdo a porcentajes de ingesta diaria recomendada. También se han hecho estudios al adicionar soya, pasta de soya o harina de soya para mejorar los niveles de vitaminas, proteínas y minerales.

La fortificación de tortillas ha registrado avances importantes, sin embargo en algunos casos se cambian las características sensoriales del producto como son la firmeza, color, sabor y vida de anaquel, lo que trae consigo rechazo del consumidor.

En base a lo expuesto anteriormente este trabajo tiene como finalidad la obtención de una tortilla funcional a base de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) para incrementar su valor nutritivo.

1.2. Hipótesis

La adición de harina de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) a diferentes concentraciones a una tortilla de masa de maíz nixtamalizado incrementará su valor nutritivo.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una tortilla de masa de maíz nixtamalizado, adicionada con harina de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) a diferentes concentraciones y comparar sus condiciones nutricionales con las de una tortilla tradicional de masa de maíz nixtamalizado.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar las diferentes formulaciones de harina de brócoli que se añadirán a las tortillas.
- ✓ Comparar el valor nutritivo de una tortilla tradicional de maíz nixtamalizado con los resultados de una tortilla adicionada con 3, 5, 7 y 10 % de harina de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANÁLISIS PROXIMAL

Se da el nombre de Análisis Proximal (caracterización química) al conjunto de determinaciones que describen la composición nutritiva de una sustancia alimenticia. Comprende las determinaciones de humedad o sustancias volátiles a 105 °C, extracto etéreo o grasa bruta, cenizas o material mineral, fibra bruta, proteína bruta y extracto no nitrogenado como se muestra en la figura 1.

El término bruto aplicado a estas determinaciones, se explica porque en ellas se determinan grupos de sustancias que responden a ciertas características, pero no se identifican particularmente con cada una de ellas.

Este análisis fue ideado en la estación experimental agrícola de Weende a mediados del siglo XIX, como metodología para caracterizar alimentos para animales y si bien es cierto que esta es su principal aplicación, su uso se ha extendido a prácticamente todas las sustancias alimenticias que puedan reducirse al estado de harina (Bernal, 1998).

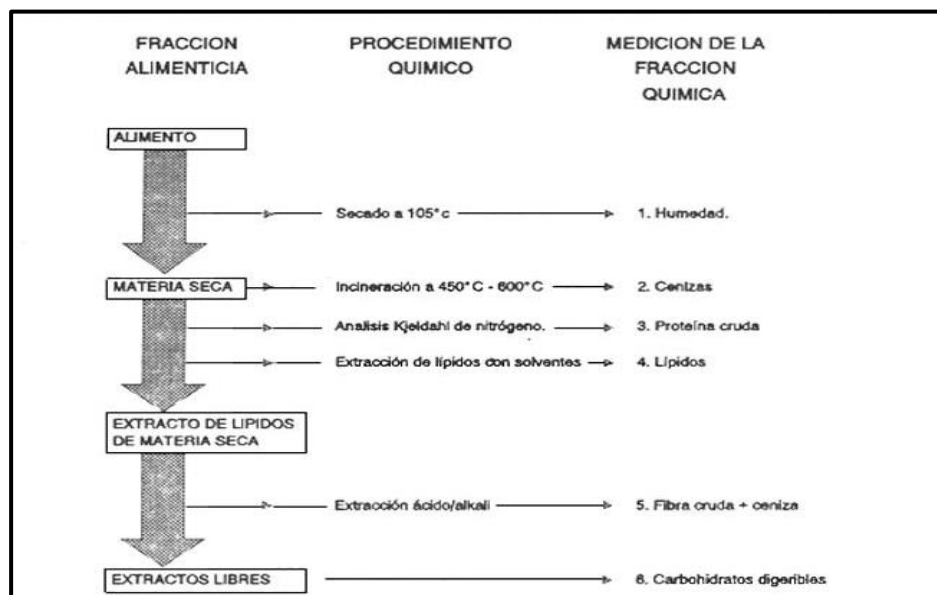


Figura 1. Diagrama de las determinaciones del análisis proximal

Fuente: <http://www.fao.org/3/AB492S/AB492S06.htm>

2.1.1 Humedad

El término contenido de agua de un alimento se refiere, en general, a toda el agua de manera global; en los alimentos naturales la cantidad de agua es de 60 a 95 %.

Sin embargo, en los tejidos animal y vegetal, el agua no está uniformemente distribuida por muchas razones, por ejemplo, debido a los complejos hidratados que se producen con proteínas, a los hidratos de carbono, a las diversas estructuras internas propias de cada tejido, etcétera.

Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando éste también influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas.

El agua se encuentra en los alimentos en dos formas: agua libre, es la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y el agua ligada, que se encuentra unida a la superficie sólida y no actúa por estar no disponible o inmóvil (Badui, 2006).

El porcentaje de agua en los alimentos es uno de los criterios más importantes para la conservación de su calidad y comercialización. Los alimentos en su estado natural están compuestos por materia seca y agua en cantidades específicas; por ejemplo, las carnes contienen del 43 al 70 % de agua, los huevos el 74 %, la leche del 86 al 90 %, las frutas del 50 al 95 % y las leguminosas del 58 al 77 % (Puerta, 2006).

Se entiende por humedad, la pérdida en peso que sufre un alimento al someterlo a las condiciones de tiempo y temperatura prescritos (NMX-F-083-1986).

La determinación de humedad es un paso obligado en el análisis de alimentos. Es la base de referencia que permite: comparar valores; convertir a valores de humedad tipo; expresar en base seca y expresar en base tal como se recibió (FAO, 1997).

2.1.2 Cenizas o minerales

Las cenizas (minerales) de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica; normalmente, no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes. Estos residuos inorgánicos representan menos del 5 % de la materia seca de los alimentos.

El valor principal de la determinación de cenizas (y también de las cenizas solubles en agua, la alcalinidad de las cenizas y las cenizas insolubles en ácido) es que supone un método sencillo para determinar la calidad de ciertos alimentos, por ejemplo en las especias y en la gelatina es un inconveniente un alto contenido en cenizas. Las cenizas de los alimentos deberán estar comprendidas entre ciertos valores, lo cual facilitará en parte su identificación (UNAM, 2007).

La determinación en seco es el método más común para cuantificar la totalidad de minerales en alimentos y se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, es eficiente ya que determina tanto cenizas solubles en agua, insolubles y solubles en medio ácido.

En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza (UAN, 2017).

El análisis de las cenizas debe estar enfocado a la determinación de calcio, fósforo, potasio, manganeso, hierro y demás elementos que tienen significado en alimentación animal y humana (Bernal, 1998).

Generalmente el contenido de macro minerales en los alimentos se analiza mediante espectrofotometría de absorción atómica o mediante colorimetría (Márquez, 2014).

2.1.3 Extracto etéreo o grasa cruda

Los lípidos son sustancias naturales insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos tales como éter, cloroformo, acetona y benceno. Este constituyente alimenticio consta de carbono, hidrógeno, oxígeno y algunas veces también fósforo y nitrógeno que determinan su elevada hidrofobicidad (Quispe y Argani, 2014).

La grasa, junto con las proteínas y carbohidratos, constituyen los principales componentes estructurales de los alimentos (UAN, 2017). Es un componente necesario de los tejidos vivos y es esencial en la nutrición humana. Debido a que puede almacenarse y movilizarse, es el principal material de reserva corporal. Las frutas y las hortalizas presentan normalmente muy bajas concentraciones de grasa, con algunas excepciones como el aguacate, las aceitunas y algunos tipos de nueces (Bernal, 1998).

El contenido de “grasa” (algunas veces llamado extracto etéreo o grasa cruda) se puede considerar como compuesto de lípidos “libres”, o sea aquéllos que pueden ser extraídos por disolventes menos polares como éter de petróleo y éter dietílico, mientras que los lípidos “combinados” necesitan disolventes más polares como alcoholes para su extracción (Badui, 2006).

El contenido total de lípidos se determina comúnmente por métodos de extracción con disolventes orgánicos por ejemplo Soxhlet, Goldfish, Mojonier.

El método de “Soxhlet” consiste en una extracción semi continua con un disolvente orgánico. En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente como se muestra en la figura 2. Posteriormente éste es sifoneado al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso (UAN, 2017).

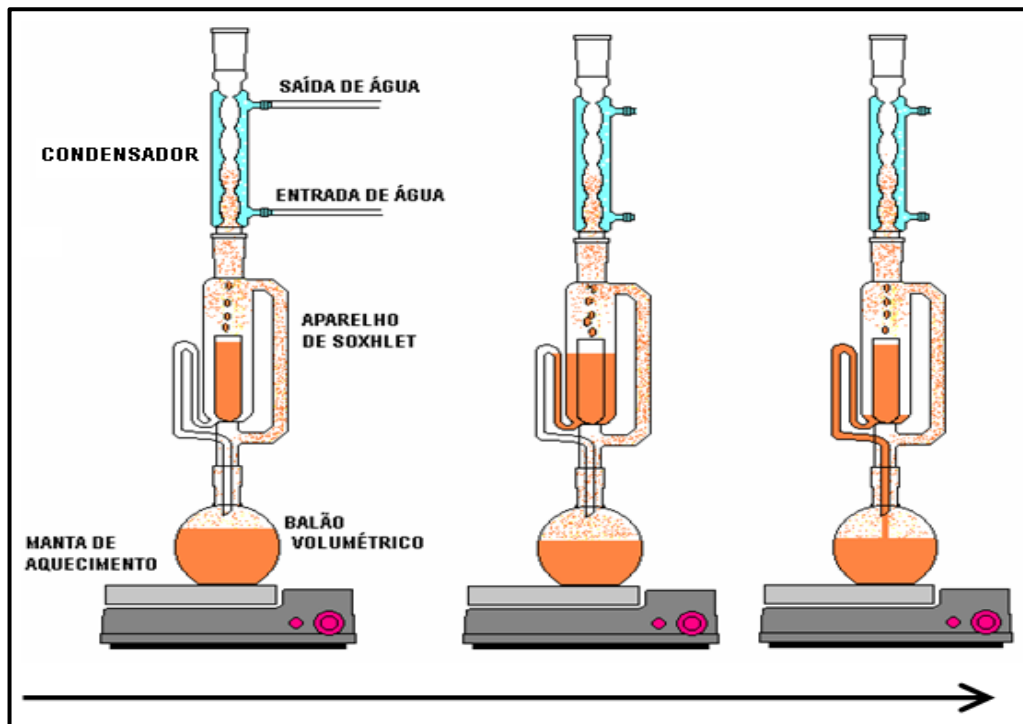


Figura 2. Esquema de extracción en equipo Soxhlet

Fuente: <https://www.slideshare.net/JaquelineAlmeida26/aula-de-bromatologia-sobre-lipdios-ou-extrato-etreo>

2.1.4 Proteína bruta o cruda

Las proteínas son moléculas de gran tamaño constituidas por carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Algunas poseen además azufre y fósforo, y en menor proporción, hierro, cobre y magnesio (Mabel y Sceni, 2009).

Estructuralmente las proteínas son polímeros cuyas unidades básicas son amino o aminoácidos (Bernal, 1998).

Los aminoácidos son moléculas más simples y se caracterizan por tener un grupo carboxilo y un grupo amino, unidos al mismo carbono. Poseen una cadena lateral, que es diferente para cada aminoácido (figura 3), además se unen entre sí a través de enlaces peptídicos que son enlaces covalentes entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro (Mabel y Sceni, 2009).

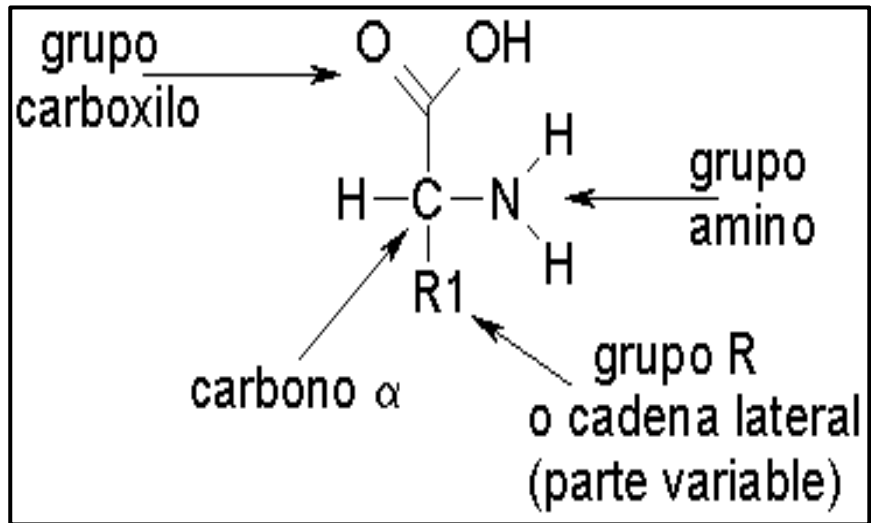


Figura 3. Estructura general de los aminoácidos.

Fuente: <http://depa.fquim.unam.mx/proteinas/estructura/EPamm1.html>

Debido a que hay tantos y diversos aminoácidos, existen múltiples configuraciones y por lo tanto muchas proteínas diferentes.

Para analizar el valor de una proteína en cualquier alimento, conviene saber cuánta proteína total posee, qué tipo de aminoácidos tiene, cuántos aminoácidos esenciales están presentes y en qué proporción (FAO, s.f.).

Puesto que el nitrógeno representa en la mayoría de las sustancias protéicas un porcentaje relativamente constante, alrededor del 16 %, su determinación sirve como medida del contenido protéico en los alimentos. Para su determinación se utiliza el método de Kjeldhal, el cual consiste en:

- a) La descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado.
- b) El registro de la cantidad de amoniaco obtenida de la muestra.
- c) La titulación del nitrógeno amoniaco con una disolución valorada de ácido, cuya normalidad dependerá de la cantidad de nitrógeno que contenga la muestra (UNAM, 2007).

2.1.5 Fibra cruda

La fibra está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas; también se incluye entre estos compuestos la lignina que, aun cuando no es un hidrato de carbono, sino más bien una cadena de compuestos fenólicos, siempre se encuentra asociada a ellos y es un compuesto no digerible por el tracto digestivo del humano.

Estos polímeros no se encuentran de manera natural en los alimentos de origen animal, ya que son exclusivos de los vegetales. La composición de dichas fibras es muy variada en los distintos alimentos y depende de muchos factores, entre los que destaca la madurez del producto (Badui, 2006).

El contenido de fibra en los vegetales de consumo habitual oscila entre 3 a 8 % de alimento comestible. Los alimentos más ricos en fibra son el salvado, las alcachofas, las habas, los espárragos, las espinacas, las judías verdes, las berenjenas, las acelgas, la col lombarda, los puerros, los tomates y otros muchos más de hojas verdes (Solís, 2019).

Aunque la fibra no posee un valor nutritivo apreciable, su función en el tracto intestinal es la de aumentar el volumen de las materias nutritivas y estimular el peristaltismo intestinal.

En los animales monogástricos, incluido el hombre, la mayor fibra bruta es indigerible, pues no poseen las enzimas adecuadas para degradarla convirtiéndola así en un vehículo del alimento a través del intestino.

El método empleado para la determinación de fibra cruda consiste en efectuar dos digestiones. La primera con ácido sulfúrico y la segunda con hidróxido de sodio. La finalidad del método es la de eliminar las proteínas, carbohidratos solubles, residuos de grasas, vitaminas y otros compuestos diferentes que interfieren en su

determinación. El fundamento del método es asemejar este proceso al que desempeña el organismo en su función digestiva (Bernal, 1998).

2.1.6 Carbohidratos

Los hidratos de carbono o carbohidratos son moléculas orgánicas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Según su estructura, se les pueden clasificar en monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Mabel y Sceni, 2009).

Son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, y también los más consumidos por los seres humanos (en muchos países constituyen entre 50 y 80 % de la dieta poblacional).

Los carbohidratos que provienen del reino vegetal son más variados y abundantes que los del reino animal; se originan como producto de la fotosíntesis y son los principales compuestos químicos que almacenan la energía radiante del sol (Badui, 2006).

En la dieta humana los carbohidratos proporcionan de 50 a 65 % de la energía total requerida por el organismo, los mismos proceden de vegetales, harinas, cereales, también del azúcar y de las conservas (Quispe y Argani, 2014).

El extracto libre de nitrógeno se estima por diferencia restando de 100 los porcentajes de humedad, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y materia mineral.

2.2 EL MAÍZ

Según Acosta (2009), 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.

2.2.1 Origen del maíz

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina.

La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América.

Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz. La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas (FAO, 1993).

2.2.2 Importancia del maíz en México

El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Actualmente en México, representa el componente más importante de la producción agrícola, ya que ocupa cerca de la mitad (47.2 %) de la superficie destinada a la agricultura, con 6.8 millones de hectáreas, que representan el 72.2 % del volumen de la producción agrícola (Pérez *et al.*, s.f.).

Con un consumo promedio per cápita al año de 196.4 kg de maíz blanco, especialmente en tortillas, representa el 20.9 % del gasto total en alimentos y bebidas realizado por las familias mexicanas.

La producción de maíz grano se divide en blanco y amarillo. El maíz blanco representa 86.94 % de la producción y se destina principalmente al consumo humano. Esa producción satisface la totalidad del consumo nacional.

El maíz amarillo se destina a la industria o a la fabricación de alimentos balanceados para la producción pecuaria. Esa producción satisface sólo 24 % de los requerimientos nacionales (SAGARPA, 2017).

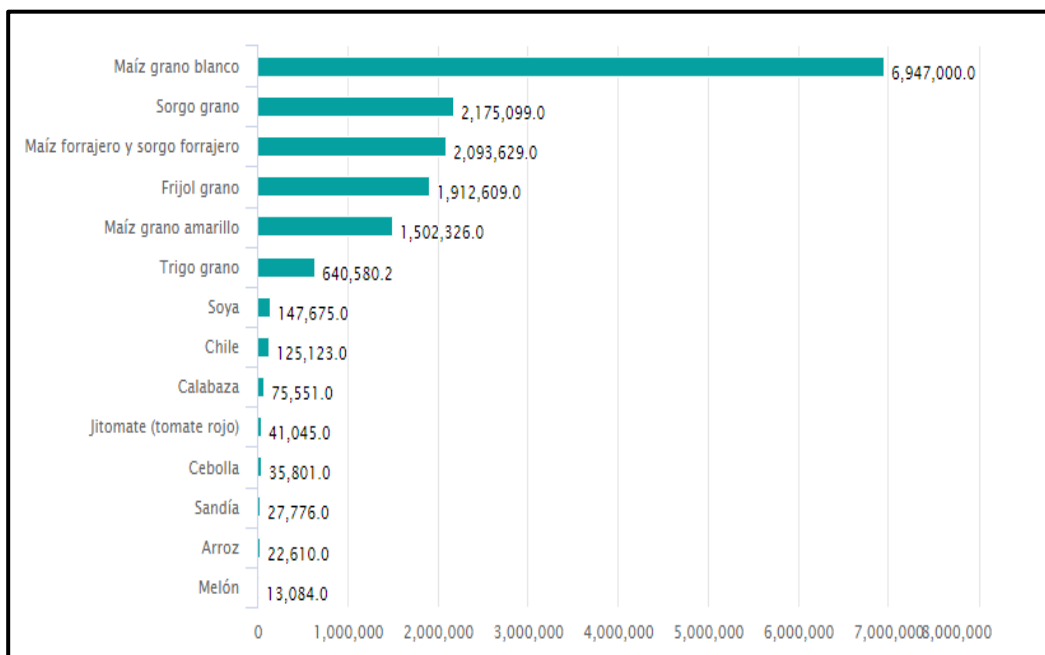


Figura 4 .Producción agrícola de México en el 2017

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>

2.2.3 Usos del maíz

En México las numerosas variedades de maíces (*Zea mays L.*) nativos se utilizan para elaborar 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, Morales y Gálvez, 2013).

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* (Sánchez *et al.*, 2016).

A nivel industrial el maíz es utilizado para la elaboración de alimentos balanceados, para la producción de botanas y cereales y para la producción del almidón y sus derivados (Massieu y Lechuga, s.f.).

2.3 NIXTAMALIZACIÓN

2.3.1 Definición

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 se define como maíz nixtamalizado o nixtamal, al maíz que ha sido sometido a cocción parcial con agua en presencia de hidróxido de calcio (cal, óxido de calcio).

2.3.2 Origen

La palabra nixtamalización proviene del vocablo náhuatl *nixtli*, cenizas, y *tamalli*, masa (Paredes, Guevara y Bello, 2009).

La nixtamalización es un proceso antiguo que data de la época prehispánica, que consistía en el cocimiento de este cereal en cenizas de leña, y que al mezclar con el agua se convertía en una lejía alcalina que modificaba las propiedades físicas, químicas y sensoriales del grano cocido (Vázquez, 2013).

2.3.3 Proceso de nixtamalización

El proceso de nixtamalización, consiste en el cocimiento del grano de maíz en una solución alcalina a temperaturas que oscilan de 80-100 °C por 30-45 minutos, para posteriormente dejar en reposo el grano en soluciones acuosas de hidróxido de calcio, por tiempos largos de 8-24 horas (Figura 5). La solución de cocción o nejayote es drenada y el grano es lavado, posteriormente el grano nixtamalizado es sometido a una molienda y secado para la producción de harina para la elaboración de tortilla y productos derivados como frituras, totopos, tostadas, etc. (Vázquez, 2013).

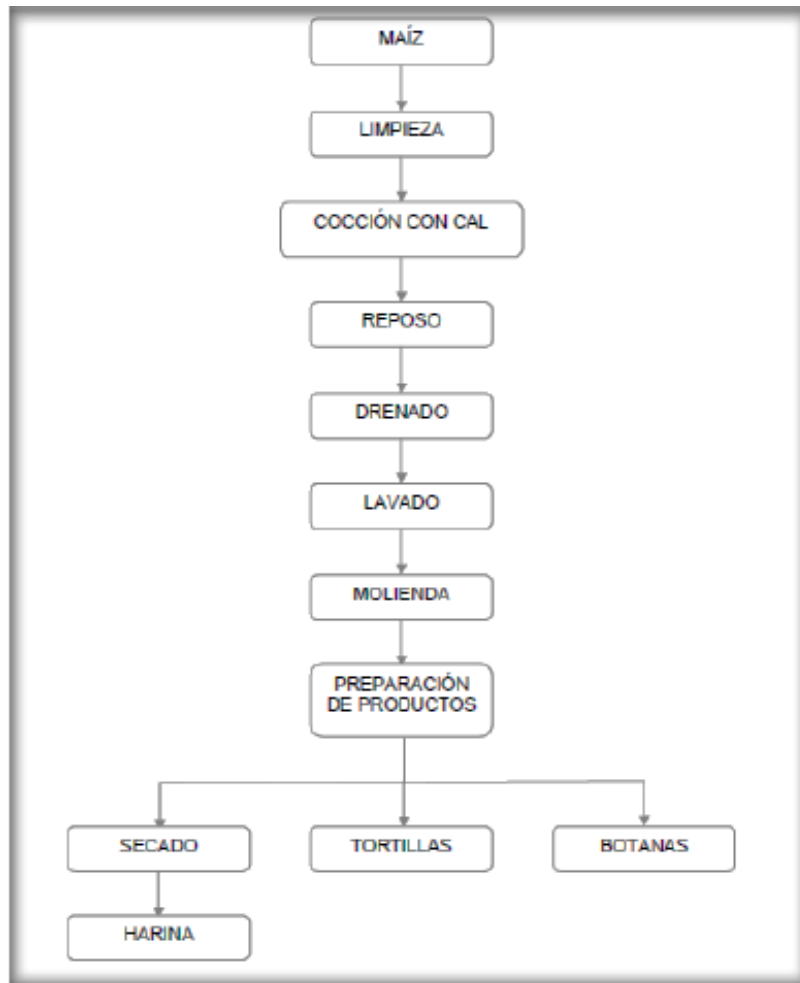


Figura 5. Proceso de nixtamalización tradicional

Fuente: <http://eprints.uanl.mx/3750/>

2.4 MASA

2.4.1 Definición

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 se define como masa, al producto obtenido de la molienda húmeda de granos de maíz nixtamalizado o pasta que se forma a partir de harina de maíz nixtamalizado, harina de trigo, harinas integrales o sus combinaciones y agua. Pudiendo estar mezclada con ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos.

2.4.2 Composición

La masa obtenida de la molienda del maíz nixtamalizado está formada por polímeros del almidón (la amilosa y la amilopectina) mezclados con gránulos de almidón gelatinizado, gránulos intactos, parte de lípidos y endospermo (Bello *et al.*, 2002).

2.5 TORTILLA

2.5.1 Definición

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 se define como tortilla (figura 6), al producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometido a cocción.



Figura 6. Tortilla de maíz nixtamalizado
Fuente: <https://gt.all.biz/tortilla-de-maz-g9455>

2.5.2 Generalidades de la tortilla

La tortilla es un alimento típico de Mesoamérica, que resulta de la cocción alcalina del maíz (nixtamalización), molienda húmeda, lavado del grano para obtener la masa y moldeado y cocción sobre una superficie caliente a temperaturas arriba de 180 °C por un tiempo aproximado de 5 minutos. La forma del producto final (tortilla) son discos de 10-20 cm de diámetro y de un espesor de 2 a 3 milímetros (FAO, s.f.).

2.5.3 Consumo en México

Carballo y Zepeda (s.f.) señalan que la tortilla es el alimento más importante en México, por su consumo diario, sola o en múltiples y variadas formas de presentarla; acompañando diversos platillos tradicionales.

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social indica que alrededor de 94 % de los hogares incluyen a las tortillas en su dieta y que el consumo diario *per cápita* de tortilla es de 155.4 g en las zonas urbanas y hasta 217.9 g en las zonas rurales.

México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, 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 (Cruz y Verdalet, 2007).

2.6 BROCÓLI

2.6.1 Generalidades

El brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*), también conocido como brócoli o bróculi, pertenece a la familia de las *Brassicaceae*, se caracteriza por sus abundantes cabezas florales carnosas comestibles de color verde, puestas en forma de árbol, sobre ramas que nacen de un grueso tallo (INECOL, s.f.).

El brócoli es originario del Mediterráneo, principalmente de Italia, en donde se ha encontrado la mayor diversidad genética (Coello, 2005).



Figura 7. Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*)
 Fuente: <http://www.pregonagropecuario.com/cat.php?txt=9951>

2.6.2 Taxonomía

Tabla 1. Clasificación taxonómica del brócoli

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Brassicales</i>
Familia:	<i>Brassicaceae</i>
Género:	<i>Brassica</i>
Especie:	<i>Oleracea</i>
Nombre Científico:	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i>

Fuente: <https://www.ecured.cu/Br%C3%B3coli>

2.6.3 Valor nutricional

Como el resto de las crucíferas, el brócoli tiene una gran importancia desde el punto de vista nutricional, ya que contiene una elevada cantidad de fibra, minerales, vitaminas (Fundación Española de la Nutrición, s.f.).

Por su bajo contenido en calorías ayuda a reducir la obesidad y todas sus enfermedades (Toapanta, 2006).

De entre todas las propiedades que se le adjudican, la que más llama la atención es su posible acción anticancerígena, gracias a distintas sustancias fotoquímicas, enzimas y antioxidantes que lo convertirían en un alimento preventivo o curativo.

El brócoli ha sido calificado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso de producto comestible (Arroba, 2011).

Tabla 2. Composición nutricional de 100 g de una porción fresca comestible de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*)

Nutriente	Valor
Agua (%)	91
Energía (kcal)	28
Proteína	3
Grasa (g)	0.4
Carbohidratos (g)	5.2
Fibra (g)	1.1
Calcio (mg)	48
Hierro (mg)	0.9
Sodio (mg)	27
Potasio(mg)	325
Ácido ascórbico (mg)	93.2
Tiamina(mg)	0.07
Riboflavina(mg)	0.12

Fuente: Haytowitz y Mattheews ,1984

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

3.2 Materia prima utilizada

Las materias primas utilizada fueron el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) y la masa de maíz nixtamalizado marca “Don Cayetano” adquiridos en un supermercado en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

3.3 Equipos utilizados

Los equipos utilizados durante este trabajo de investigación se describen a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Equipos utilizados

EQUIPO	MARCA	MODELO
Estufa de secado	Thelco	Modelo 27
Estufa de secado	Robertshaw	--
Balanza analítica	Ohaus	Explorer
Balanza digital	Ohaus	Scout Pro SP- 601
Mufla	Thermolyne	1500- FD 1535-M
Digestor Labconco	Labconco	--
Aparato Kjeldhal	Labconco	--
Extractor Soxhlet	Labconco	--
Aparato de reflujo	Labconco	30001
Plancha de calentamiento	Thermolyne	SP-46925
Espectrofotómetro de absorción atómica	Varian	AA-1275
Refrigerador	Hotpoint	--
Licuada	Oster	--

3.4 Materiales utilizados

Los materiales utilizados durante este trabajo de investigación, se describen a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Materiales utilizados

Dedales	Espátula de acero	Frascos
Matraces redondo de fondo plano	Pinzas para matraz	Tijeras
Pinzas para crisol	Matraz Erlenmeyer de 50,100 y 500 mL	Micropipeta
Desecador	Buretas	Tabla para picar
Perlas de vidrio	Vasos de Berzelius de 600 MI	Cuchillo
Papel filtro	Filtros de tela	Papel secante
Algodón	Embudos de vidrio	Maquina manual para tortillas
Crisoles de porcelana	Charolas de aluminio	Comal de teflón
Recipiente de plástico	Cartucho de celulosa	Vasos de Berzelius
Perlas de vidrio	Picetas	Vasos de precipitado
Matraz Kjeldhal	Probetas de 50,100,500 y 1000 mL	Agitadores
Matraz de aforación	Parrilla de gas	Puntillas
Cucharas	Bolsas de papel	Celdillas

3.5 Reactivos utilizados

Los reactivos utilizados durante este trabajo de investigación se describen a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Reactivos utilizados

Agua destilada	Hidróxido de sodio (NaOH) 45 %	Granallas de zinc
Agua purificada	Ácido bórico (H_3BO_3) 4 %	Anaranjado de metilo
Agua desionizada	Indicador mixto	Ácido perclórico ($HClO_4$)
Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.255 N	Mezcla de selenio	Ácido nítrico (HNO_3)
Hidróxido de sodio (NaOH) 0.313 N	Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado	Acetona
Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 N	Hexano	Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.102564 N

3.6 Etapa 1: Formulación y desarrollo de la tortilla

En esta etapa se determinaron 5 formulaciones en cuanto al contenido de brócoli y la cantidad de masa de maíz nixtamalizado que se le iba a adicionar a cada una de las tortillas. En la Tabla 6 se describen dichas formulaciones.

Tabla 6. Formulaciones del contenido de brócoli y de masa de maíz nixtamalizado

Brócoli	0 g	3 g	5 g	7 g	10 g
Masa de maíz nixtamalizado	100 g	97 g	95 g	93 g	90 g

3.6.1 Obtención de la harina de brócoli

Primero se comenzó por cortar el brócoli en trozos pequeños, tratando de que todos fueran del mismo tamaño (con el fin de que a la hora de llevarlo a la estufa el secado fuera homogéneo).

Posteriormente el brócoli fue lavado y desinfectado con cloro a una concentración del 2 %, para esto se agregó en un recipiente de plástico 3 litros de agua y 60 mL de cloro, se sumergió el brócoli y se dejó reposar durante 10 minutos; pasado este tiempo se le retiró el agua, se secó y se colocó en charolas de aluminio previamente pesadas e identificadas

Finalmente se llevó a la estufa (Robertshaw) a una temperatura de 55 °C a 65 °C durante 48 horas, transcurrido el tiempo se retiraron todas las charolas ,el brócoli se colocó en una licuadora (Oster) se molió hasta obtener una harina lo más homogénea posible, la harina obtenida fue colocada en un frasco de plástico previamente lavado, secado e identificado.



Figura 8. Desinfección del brócoli

3.6.2 Elaboración de las tortillas

Para la elaboración de las tortillas de maíz nixtamalizado, primero se pesaron las cantidades de harina brócoli descritas en la Tabla 6, es decir, 3 g, 5 g, 7 g y 10 g, mencionando que la muestra testigo es en donde se utilizó 100 g de masa de maíz nixtamalizado con 0 g de harina de brócoli. Con todas las porciones pesadas de harina brócoli, se procedió a pesar las cantidades de masa de maíz nixtamalizado, es decir 97 g, 95 g, 93 g y 90 g.



Figura 9. Pesado de la harina de brócoli

Una vez pesadas las muestras, se procedió a revolver la harina de brócoli con la masa de maíz nixtamalizado de cada una de las formulaciones, se mezcló hasta obtener una masa homogénea con una consistencia adecuada.

Se formaron testales y se pesaron para obtener 5 testales de 20 g cada uno, una vez obtenidos los testales de masa fueron llevados a una tortillera manual, la cual

tenía plástico en cada uno de sus lados, esto con el fin de que la masa no se adheriera a la tortillera, se realizó una presión suave para obtener la tortilla deseada.

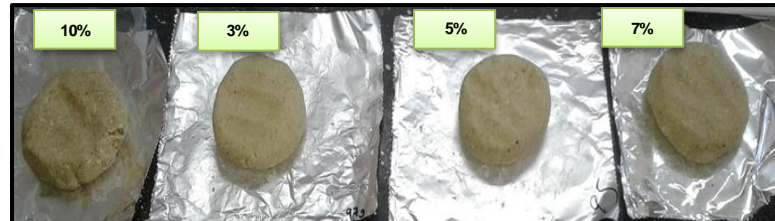


Figura 10. Masa con harina de brócoli

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 minutos, repartido de la siguiente manera: 30 segundos en la primera cara de la tortilla 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 11. Cocimiento de las tortillas

Terminado el proceso de cocimiento, las tortillas se identificaron de acuerdo a la concentración de brócoli utilizado (figura 12) para realizar los análisis correspondientes a este trabajo de investigación.



Figura 12. Identificación de las tortillas

3.7 Etapa 2: Caracterización química de la tortilla

Los análisis se hicieron por triplicado para cada una de las muestras de tortilla de masa de maíz nixtamalizado adicionadas con diferentes concentraciones de brócoli (0 %, 3 %, 5 %, 7 % y 10 %).

3.7.1 Preparación de las muestras para su análisis.

Las tortillas adicionadas con diferentes concentraciones de brócoli fueron colocadas en charolas de aluminio previamente pesadas e identificadas, para posteriormente ser pesadas en una balanza con capacidad de 200 g. Las muestras se mantuvieron por 24 horas a una temperatura de 55-60 °C en una estufa con circulación de aire forzado, una vez transcurrido el tiempo se retiraron las charolas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron.



Figura 13. Tortillas adicionadas con brócoli deshidratadas

Por último las muestras se molieron en una licuadora (Oster) y se colocaron en recipientes de plásticos limpios, sellados y previamente identificados (figura 14) para su uso en las siguientes pruebas.



Figura 14. Recipientes identificados con las muestras secas de tortillas

3.7.2 Determinación de materia seca total

Se empezó por colocar 15 crisoles de porcelana en la estufa a una temperatura de 80 a 110 °C durante 24 horas, transcurrido el tiempo, los crisoles fueron colocados en un desecador con ayuda de unas pinzas y se dejaron enfriar durante 20 minutos para después ser pesados.

Posteriormente se pesaron 2 g de cada muestra por triplicado en un papel limpio destarando el peso del papel y se colocaron en los crisoles.

Se colocaron los crisoles con ayuda de unas pinzas para crisol en una estufa de secado con circulación de aire a una temperatura de 100-105 °C durante 24 horas; pasado este tiempo se sacaron de la estufa y se dejaron enfriar en un desecador durante 20 minutos.



Figura 15. Crisoles con muestras en estufa de aire caliente

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

$$\% \text{ MST} = \frac{\text{peso del crisol} + \text{muestra seca} - \text{peso del crisol vacío}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% H = 100 - \% \text{ MST}$$

Dónde:

MST = Materia seca total

H = Humedad

3.7.3 Determinación de cenizas totales

Para esta prueba se utilizaron las muestras usadas en la determinación de materia seca total, las muestras se colocaron en parrillas eléctricas para su pre incineración retirándolas hasta que dejaron de emitir humos.



Figura 16. Crisol en parrilla eléctrica

Posteriormente fueron colocadas en la mufla a una temperatura de 600 °C durante 2-3 horas.

Una vez terminado el tiempo los crisoles fueron sacados de la mufla con ayuda de unas pinzas para crisol, se colocaron en el desecador y se dejaron enfriar durante 20 minutos.

Finalmente los crisoles fueron pesados en una balanza analítica, se registraron los datos y se realizaron los cálculos utilizando la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{\text{peso del crisol} + \text{cenizas} - \text{peso del crisol vacío}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Dónde:

C = Cenizas

3.7.4 Determinación de extracto etéreo o grasa total

Para esta prueba se comenzó por poner 15 matraces de bola fondo plano con tres perlas de vidrio en la estufa durante 12 horas para que estuvieran a peso constante.

En un papel filtro se pesaron 4 g de muestra de cada tratamiento por triplicado, se colocaron en un dedal de celulosa y se doblaron con mucho cuidado para no perder muestra.

Con las pinzas se sacaron los matraces de bola fondo plano con cuidado, se colocaron en el desecador, se dejaron enfriar durante 20 minutos y se pesaron. A cada matraz bola se le agregó 250 mL de hexano, después se colocó el dedal de celulosa en el sifón Soxhlet junto con el matraz bola y el refrigerante y se dejaron sifoneando durante 8 horas con la llave de agua abierta como se observa en la figura 17.



Figura 17. Matraces en aparato Soxhlet

Al finalizar la extracción se recuperó el solvente, los matraces se llevaron nuevamente a la estufa a una temperatura de 100 °C durante 12 horas, terminado el tiempo fueron sacados de la estufa con ayuda de unas pinzas para matraz, fueron colocados en el desecador y se dejaron enfriar durante 20 minutos para ser pesados.

Una vez registrados los datos, se utilizó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de extracto etéreo:

$$\% EE = \frac{\text{peso del matraz} + \text{grasa} - \text{peso del matraz vacío}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Dónde:

EE = Extracto Etéreo

3.7.5 Determinación de fibra cruda

Para esta determinación se pesaron 2 g de muestra desengrasada de cada tratamiento por triplicado y se utilizaron 15 crisoles a peso constante.

Los 2 g de muestras fueron colocados en un vaso de Berzelius de 600 mL y se les agregó 100 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.255 N. Se procedió a conectar el aparato de reflujo y se dejaron durante 30 minutos comenzando a contar desde que empezó la ebullición en las muestras (figura 18).



Figura 18. Aparato de reflujo para determinar fibra cruda

Una vez terminado el tiempo se procedió a filtrar a través de una tela de lino las muestras y se lavaron con 3 porciones de 100 mL de agua destilada caliente cada vaso.

Posteriormente se pasó la fibra que quedo en la tela de lino nuevamente a los vasos de Berzelius ahora agregando 100 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0.313 N y se conectó al aparato de reflujo por 30 minutos comenzando a contar a partir de que empezó la ebullición.

Transcurrido el tiempo se retiraron los vasos de Berzelius, se filtraron nuevamente a través de una tela de lino con 3 porciones de 100 mL de agua destilada caliente.



Figura 19. Muestras filtradas

Por medio de un espátula se retiraron las muestras (residuo) sobrante en la tela de lino, se colocaron en cada uno de los crisoles previamente pesados e identificados y se dejaron en la estufa durante 12 horas.

Posteriormente se sacaron los crisoles de la estufa, se colocaron en un desecador y se dejaron enfriar durante 20 minutos para ser pesados. Finalmente se colocaron los crisoles en la mufla durante 2 horas, se enfriaron en el desecador durante 20 minutos y se pesaron.

Una vez registrados los datos, se utilizó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de fibra:

$$\% FC = \frac{\textit{peso del crisol} + \textit{muestra seca} - \textit{peso del crisol} + \textit{cenizas}}{\textit{gramos de muestra desengrasada}} \times 100$$

Dónde:

FC = Fibra Cruda

3.7.6 Determinación de proteína cruda

La determinación de proteína se realizó mediante el método Kjeldhal, este método consiste en 3 etapas:

Digestión: En esta etapa se pesó 1 g cada muestra sobre un papel filtro en la balanza analítica, al papel filtro se le hizo dobleces con el fin de que la muestra no se saliera y se colocó en el fondo del matraz Kjeldhal.

Al matraz Kjeldhal se le agregaron 3 perlas de vidrio para que hubiera ebullición constante, una cucharada de muestra de selenio, 30 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, después los matraces fueron colocados en el aparato Kjeldhal para la digestión de las muestras, sin antes haber encendido el motor de aspirador de gases, los matraces fueron retirados hasta que las muestras tornaron un color verde claro.



Figura 20. Matraces en aparato Kjeldhal

Destilación: Los matraces fueron enfriados colocándolos a la llave de agua, lentamente se le agregaron 300 mL de agua destilada a cada uno.

A cada uno de los matraces Erlenmeyer de 500 mL se le agregaron 50 mL de ácido bórico (H_3BO_3) al 4 % y 5 gotas de indicador mixto y se conectaron a la parte destiladora del Kjeldhal.

A los matraces Kjeldhal se le agregaron 100 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 45 % y 5 gramos de zinc y se colocaron en la parte de arriba del aparato de destilación Kjeldhal, se encendió la parrilla, se abrió la llave de agua y se esperó hasta recibir en el matraz 250 mL del destilado.



Figura 21. Destilación en aparato Kjeldhal

Valoración: A los 250 mL de destilado de cada matraz Erlenmeyer se tituló con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.102564 N hasta un vire rosa pálido.



Figura 22. Matraces titulados

Con la lectura obtenida del gasto de ácido sulfúrico (H_2SO_4) se realizaron los cálculos para obtener el porcentaje de nitrógeno usando la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(mL \text{ gastados de muestra} - mL \text{ blanco})(N \text{ del ácido})(0.014)}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% PC = (\% N) (\text{factor de conversión})$$

Dónde:

N = Nitrógeno

PC = Proteína Cruda

N del ácido (H_2SO_4) = 0.102564 N

0.014 = mili equivalente del Nitrógeno

Factor de conversión para la tortilla = 6.25

3.7.7 Determinación de extracto libre de nitrógeno (ELN) o carbohidratos totales

Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente dentro del análisis proximal, constituido principalmente por carbohidratos digeribles.

La determinación del extracto libre de nitrógeno no se determina por análisis en el laboratorio, sino que se calcula por diferencia utilizando la siguiente fórmula:

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

Dónde:

ELN = Extracto Libre de Nitrógeno

C = Cenizas (ajustado)

PC = Proteína Cruda (ajustado)

EE = Extracto Etéreo (ajustado)

FC = Fibra Cruda (ajustado)

Para determinar el contenido de carbohidratos primero se ajustaron los datos a base seca del porcentaje de cenizas, proteína cruda, extracto etéreo y fibra.

Para ajustar los datos a base seca se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Cenizas} = \frac{\% \text{ cenizas}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$\text{Proteína cruda} = \frac{\% \text{ Proteína cruda}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$\text{Extracto etéreo} = \frac{\% \text{ Extracto etéreo}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$\text{Fibra cruda} = \frac{\% \text{ Fibra cruda}}{\% \text{ MST}} * 100$$

3.7.8 Cuantificación de minerales

La determinación de minerales se llevó a cabo mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Modelo Varían (figura 23), los minerales que se cuantificaron fueron el Hierro (Fe), el Sodio (Na), el Potasio (K), el Magnesio (Mg) y Calcio (Ca).

Para la preparación de la muestra se pesaron 2 g de cada muestra en vasos de precipitados de 100 mL, a cada vaso se le agregó una mezcla de ácido perclórico ($HClO_4$) y ácido nítrico (HNO_3) en una relación 1:3; es decir, 150 mL de ácido perclórico ($HClO_4$) y 450 mL de ácido nítrico (HNO_3) agregándole 40 mL de mezcla a cada uno de los 15 vasos con muestra.

Posteriormente los vasos fueron tapados con vidrios de reloj y colocados en una parrilla de calentamiento hasta que el volumen bajara a 20 mL, el líquido resultante se filtró con ayuda de un papel filtro en un matraz de aforación de 100

mL, se aforó hasta la marca con agua desionizada y se colocaron en frascos de plásticos previamente lavados.

De cada frasco se tomó 1 mL de muestra con ayuda de una micropipeta y esta fue colocada en un matraz de aforación de 100 mL, nuevamente se aforó hasta la marca y se colocó en frascos de plástico limpios.

Finalmente se tomó la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica, se registraron los datos en partes por millón (ppm).



Figura 23. Espectrofotómetro de absorción atómica Varian

Una vez obtenidos los datos se convirtieron en mg/g usando la siguiente fórmula:

$$mg/g = (ppm \times 0.05) (100)$$

Dónde:

Ppm = partes por millón

0.05 = Factor de la primera dilución a 100 mL

100 = Factor de la segunda dilución

3.7.9 Determinación de contenido calórico (kcal)

Para determinar el contenido calórico (kcal) se utilizaron los porcentajes obtenidos de proteína cruda, de extracto etéreo y del extracto libre de nitrógeno.

Tomando en cuenta el aporte calórico por cada gramo en base al factor isodinámico de Wilbur Olin Atwater (FAO, 2003).

Extracto Etéreo = 9 kcal/g

Proteína Cruda = 4 kcal/g

Extracto Libre de Nitrógeno = 4 kcal/g

Se calculó el contenido calórico para cada uno de los tratamientos, para ello se realizaron las reglas de tres en cada nutriente.

Una vez obtenidos los cálculos se utilizó la siguiente fórmula para convertir el contenido calórico por cada 100 g.

$$\frac{kcal}{100\ g} = \left(EE \frac{kcal}{g} + PC \frac{kcal}{g} + ELN \frac{kcal}{g} \right) * 100$$

Dónde:

EE = Extracto etéreo

PC = Proteína cruda

ELN = Extracto libre de Nitrógeno

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de los datos de la presente investigación se utilizó el programa Start Plus: mac Pro versión 7.0.1.0 mediante un Análisis de Varianza (ANVA) en los resultados obtenidos en cada tratamiento, realizando una prueba de medias con el método de Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

Las variables de estudio que se analizaron fueron: % Materia Seca Total (MST), % Ceniza Total, % Extracto Etéreo (EE), % Proteína Cruda (PC), % Fibra Cruda (FC), % Extracto Libre de Nitrógeno o Carbohidratos (ELN), Aporte Calórico (kcal/100 g), Minerales tales como Potasio (K), Sodio (Na), Hierro (Fe), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

Se realizaron cuatro tratamientos y un testigo con tres repeticiones cada uno. En la Tabla 7 se muestra el número de tratamiento en relación con la concentración de brócoli utilizada en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

Tabla 7. Número de tratamientos en base a la concentración de harina de brócoli utilizada

Número de tratamiento	% de harina de brócoli en la tortilla de maíz nixtamalizado
Testigo	0
1	3
2	5
3	7
4	10

Los resultados de la comparación de medias de cada una de las variables de estudio en base a la concentración de brócoli se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación de medias por variables de estudio en base a concentración de brócoli.

CONCENTRACIÓN DE HARINA DE BRÓCOLI	0 %	3 %	5 %	7 %	10 %
% Ceniza Total	2.29 e	2.85 d	3.14 c	3.43 b	3.85 a
% Proteína Cruda	9.96 e	12.15 d	12.89 c	14.75 b	16.59 a
% Extracto Etéreo	3.24 a	3.36 a	3.24 a	3.36 a	3.46 a
% Fibra Cruda	1.20 d	1.80 c	2.05 c	2.58 b	2.97 a
% Extracto Libre de Nitrógeno	83.30 a	79.82 b	78.66 c	75.87 d	73.12 e
(kcal/100 g)	400.66 a	396.66 b	294 b	391 c	388 c
Hierro (Fe) (mg/g)	0.02 a	0.021 a	0.023 a	0.025 a	0.027 a
Sodio (Na) (mg/g)	0.75 a	0.66 b	0.75 a	0.75 a	0.75 a
Magnesio (Mg) (mg/g)	0.83 d	0.95 c	0.93 c	1.0 b	1.1 a
Potasio (K) (mg/g)	3.15 c	6.28 b	6.80 b	8.15 a	8.50 a
Calcio (Ca) (mg/g)	5.9 e	6.75 d	7.0 c	7.3 b	7.6 a

*Los valores promedios seguidos de la misma literal son estadísticamente iguales según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

4.1 Humedad (H.) y Materia Seca Total (M.S.T.)

La humedad se determinó por diferencia en base a la materia seca total como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de humedad y materia seca total de cada uno de los tratamientos

Tratamiento	% Humedad	% Materia Seca Total
T1 (0 g de harina de brócoli)	5.39 %	94.61 %
T2 (3 g de harina de brócoli)	5.51 %	94.49 %
T3 (5 g de harina de brócoli)	5.34 %	94.66 %
T4 (7 g de harina de brócoli)	5.75 %	94.25 %
T5 (10 g de harina de brócoli)	5.25 %	94.75 %

En el Gráfico 1 se muestra el contenido de materia seca total y humedad en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

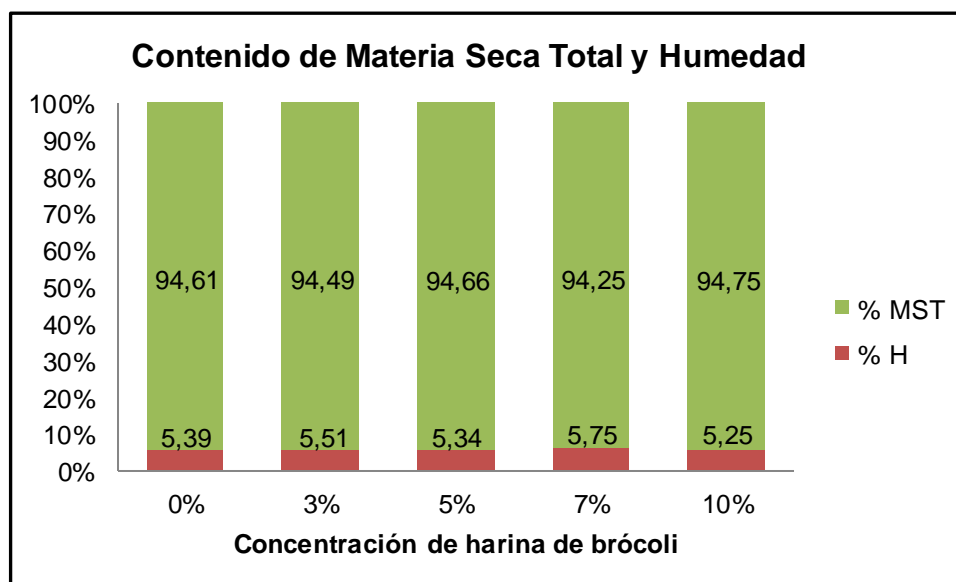


Gráfico 1. Comparación de medias de Materia Seca Total y Humedad en base a la concentración de harina de brócoli.

De acuerdo con Antuna *et al.* (2008) el contenido de humedad de las tortillas elaboradas con masa de maíz nixtamalizado oscila de 42.30 a 44.28 %, mientras que Escalante (2009) indica valores de humedad para tortillas elaboradas con masa de maíz nixtamalizado en un rango de 42.94 a 47.01 %.

El resultado de humedad obtenido en este estudio para la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 %) fue de 5.39 %, cabe mencionar que la determinación de humedad se hizo en base a la materia seca total en comparación a los estudios mencionados anteriormente.

Salinas *et al.* (2016) señalan que el contenido de humedad va a depender del uso de materias primas adicionadas a la harina de maíz nixtamalizado.

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos en base a la materia seca total.

Tabla 10. Comparación de tratamientos por contenido de materia seca total

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
7	3	94.25 d
3	3	94.49 c
0	3	94.61 bc
5	3	94.66 ab
10	3	94.75 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para él % Materia Seca Total y % Humedad se demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa en al menos uno de los tratamientos.

Las concentraciones de 3 y 5 % de harina de brócoli adicionadas a la tortilla de masa de maíz nixtamalizado muestran un comportamiento similar al testigo (0 %),

mientras que las mayores concentraciones de harina de brócoli (7 y 10 %) son estadísticamente diferentes.

4.2 Cenizas Totales (C.T.)

Como se puede observar en el Gráfico 2, entre mayor es la concentración de harina de brócoli, el contenido de cenizas aumenta considerablemente.

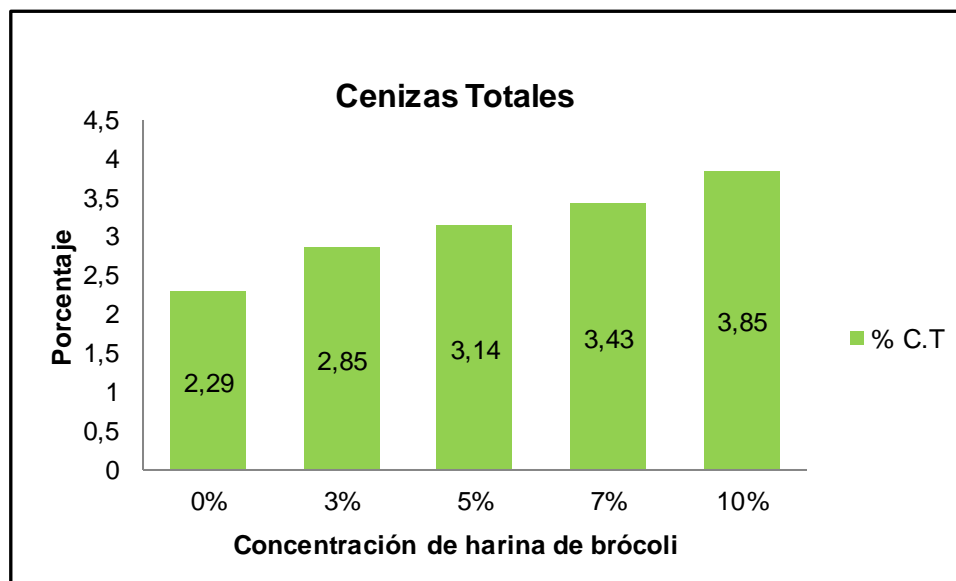


Gráfico 2. Comparación de medias de Cenizas Totales en base a la concentración de harina de brócoli.

La FAO señala que el contenido de cenizas en las tortillas de fabricación casera es de 0.8 %, mientras que el contenido de cenizas obtenido en este estudio para la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 %) fue de 2.29 %.

Laria *et al.* (2007) mencionan que la difusión del calcio al interior de los granos de maíz se define como un proceso dependiente de la temperatura y por consecuencia ocurren cambios fisicoquímicos en la estructura del maíz, entre estos cambios se involucran el incremento en el tamaño del grano, absorción de agua y ablandamiento.

De acuerdo a García (2004) durante la nixtamalización se pierden algunos nutrientes del maíz, sin embargo, dicho proceso hace que las tortillas tengan mayor calidad nutricional en cuanto a su aporte protéico y calcio.

La Fundación Española de la Nutrición señala que el brócoli contiene una elevada cantidad de minerales sobresaliendo el calcio, magnesio y potasio; esto comprueba que la concentración de harina de brócoli influye de manera considerable en el contenido de ceniza de la tortilla.

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de cenizas totales.

Tabla 11. Comparación de tratamientos por contenido de cenizas totales

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	2.29 e
3	3	2.85 d
5	3	3.14 c
7	3	3.43 b
10	3	3.85 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el % de Cenizas Totales se demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa en todos los tratamientos.

Todos los tratamientos muestran diferencia con relación al testigo (0 % de harina de brócoli). La concentración 10 % estadísticamente muestra mayor aportación de cenizas, mientras que el tratamiento 0 % muestra una menor aportación de cenizas.

Se mostró un incremento de 1.56 % del tratamiento que mostró mayor aportación de cenizas (10 % harina de brócoli) con relación al testigo (0 % harina de brócoli).

4.3 Extracto Etéreo (E.E.) o grasa

En el Gráfico 3 se muestra el contenido de Extracto Etéreo en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

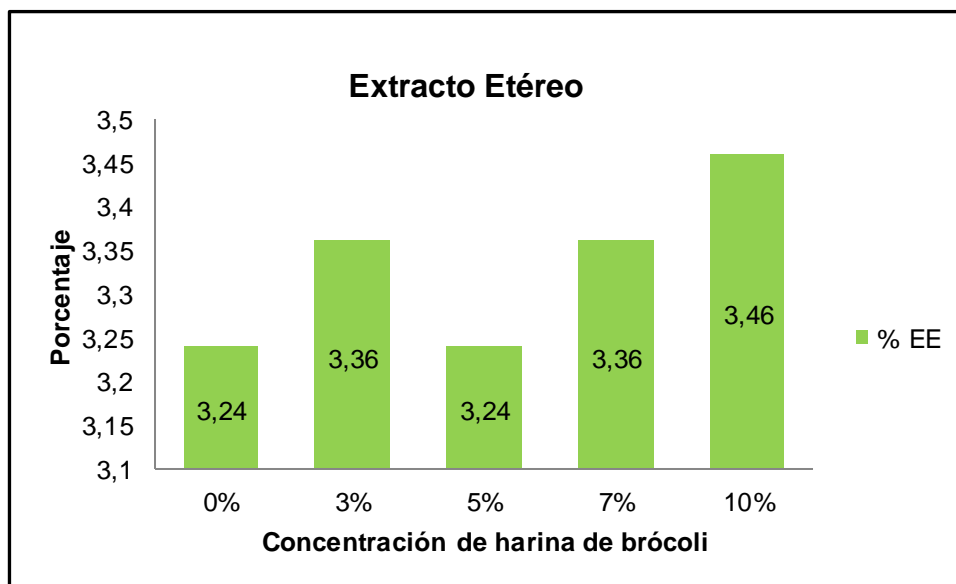


Gráfico 3. Comparación de medias de Extracto Etéreo en base a la concentración de harina de brócoli

Según Gómez *et al.* (1996) el contenido de extracto etéreo en una tortilla convencional de maíz nixtamalizado es de 3.94 %, señalan que el contenido de extracto etéreo disminuye durante el proceso tradicional de grano a masa, debiéndose principalmente a la pérdida del germen.

Figuroa *et al.* (2001) reportan un contenido de 4.36 % de extracto etéreo en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado, mientras que en el presente estudio se obtuvo un 3.24 % en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 % de harina de brócoli).

Haytowitz y Mattehews (1984) señalan que el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 0.4 % g de grasa por cada 100 g de porción comestible es por ello que el contenido de extracto etéreo no es estadísticamente significativo en los tratamientos ya que la cantidad de grasa en el brócoli es mínima.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de extracto etéreo.

Tabla 12. Comparación de tratamientos por contenido de extracto etéreo

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
5	3	3.24 a
0	3	3.24 a
7	3	3.36 a
3	3	3.36 a
10	3	3.46 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el % Extracto Etéreo se demuestra que no existe diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los tratamientos.

Esto quiere decir que las concentraciones de harina de brócoli añadidas a las tortillas de masa de maíz nixtamalizada no generan ningún impacto en cuanto al contenido de extracto etéreo o grasa en las tortillas, lo cual es un beneficio, ya que actualmente se cuidan las personas de tener una ingesta menor de calorías en su alimentación.

4.4 Proteína Cruda (P.C.)

Como se puede observar en el Gráfico 4, entre mayor es la concentración de harina de brócoli, el contenido de proteína cruda aumenta considerablemente.

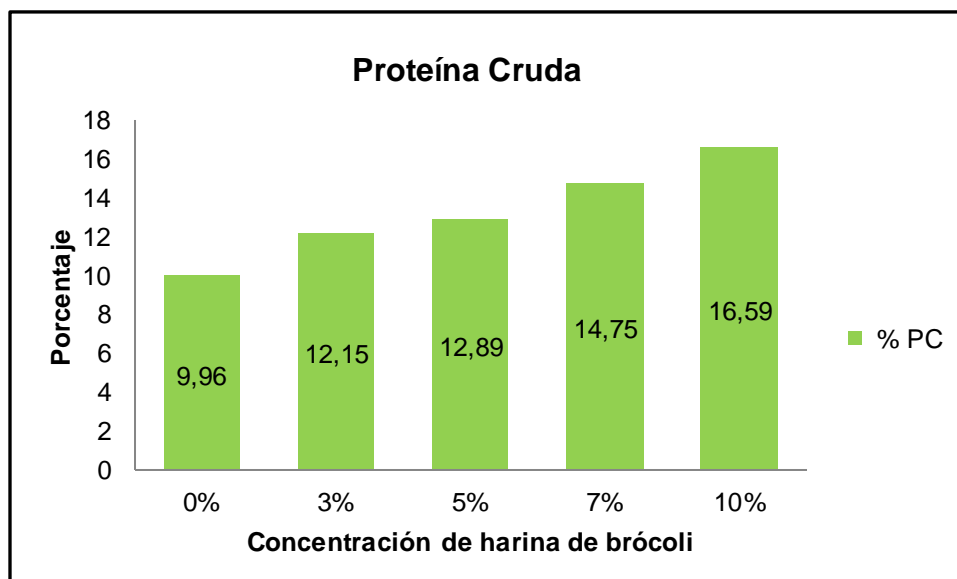


Gráfico 4. Comparación de medias de Proteína Cruda en base a la concentración de harina de brócoli.

Gómez *et al.* (1996) reportan un contenido de proteína cruda de 8.14 % en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado, mientras que Figueroa *et al.* (2001) señalan un 7.74 % de proteína cruda en la tortilla de nixtamal.

En el presente estudio se obtuvo 9.96 % de proteína cruda en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 % harina de brócoli) mientras que el tratamiento del 10 % de harina de brócoli mostró la mayor cantidad de proteína cruda.

Haytowitz y Mattheews (1984) reportan que el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 3.0 % de proteína por cada 100 g de porción comestible, esto comprueba que el aumento de proteína en la tortilla de nixtamal depende de la cantidad de harina de brócoli añadida.

Paredes *et al.* (2009) señalan que el contenido de proteína no se ve afectado sensiblemente después que el maíz ha sido nixtamalizado y se produce la tortilla ; la variabilidad en el contenido de proteína en los reportes existentes se debe a que hay diferencias en el contenido de proteína entre diferentes variedades de maíz.

En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de proteína cruda.

Tabla 13. Comparación de tratamientos por contenido de proteína cruda

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	9.96 e
3	3	12.15 d
5	3	12.89 c
7	3	14.75 b
10	3	16.59 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el % Proteína Cruda se demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa en todos los tratamientos.

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0 % harina de brócoli). La concentración 10 % estadísticamente muestra mayor aportación de proteína cruda, mientras que el tratamiento 0 % muestra una menor aportación de proteína cruda.

Se mostró un incremento de 6.63 % del tratamiento que mostró mayor aportación de proteína (10 % harina de brócoli) con relación al testigo que aportó la menor cantidad de proteína (0 % harina de brócoli).

4.5 Fibra Cruda (F.C.)

Como se puede observar en el Gráfico 5, entre mayor es la concentración de harina de brócoli, el contenido de fibra cruda aumenta.

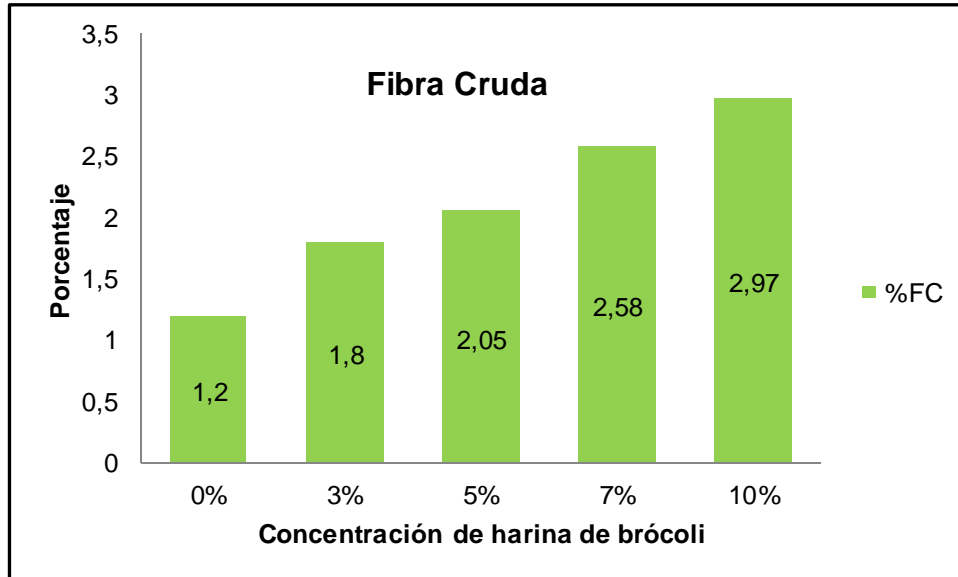


Gráfico 5. Comparación de medias de Fibra Cruda en base a la concentración de harina de brócoli.

Figuroa y colaboradores (2001) reportan 1.87 % de fibra cruda en un estudio realizado a la tortilla de nixtamal, en el presente estudio se obtuvo 1.20 % de fibra cruda en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 % de harina de brócoli).

Según García y Méndez (2004) hay una reducción de fibra cruda durante la nixtamalización al desprenderse gran parte del pericarpio del grano del maíz, el cual es eliminado en la etapa de lavado.

Haytowitz y Mattheews (1984) reportan que el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 1.1 g de fibra cruda por cada 100 g de porción comestible, esto comprueba que el aumento de la fibra en la tortilla de nixtamal depende de la concentración de harina de brócoli añadida.

En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de fibra cruda.

Tabla 14. Comparación de tratamientos por contenido de fibra cruda

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	1.20 d
3	3	1.80 c
5	3	2.05 c
7	3	2.58 b
10	3	2.97 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el % Fibra Cruda se demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa en al menos uno de los tratamientos.

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0% harina de brócoli). La concentración 10 % estadísticamente muestra mayor aportación de fibra cruda, mientras que el tratamiento 0 % muestra una menor aportación de fibra cruda.

Se mostró un incremento de 1.767 % del tratamiento que mostró mayor aportación de fibra (10 % harina de brócoli) con relación al testigo (0 % harina de brócoli).

Las concentraciones de 3 y 5 % muestran igualdad estadísticamente esto quiere decir que generan el mismo impacto en cuanto al contenido de fibra cruda en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

4.6 Carbohidratos (CHO)

Como se puede observar en el Gráfico 6, entre mayor es la concentración de harina de brócoli, el contenido de carbohidratos disminuye considerablemente.

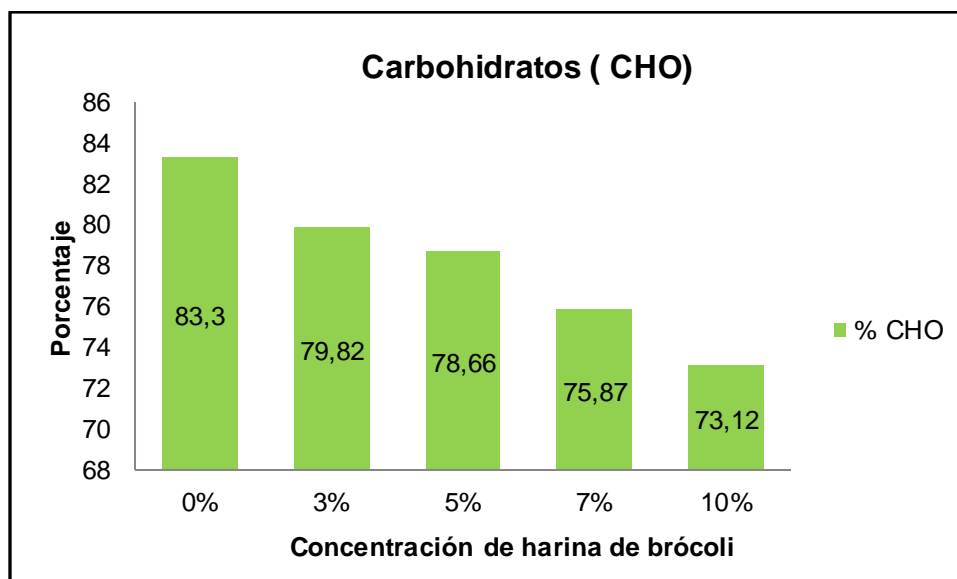


Gráfico 6. Comparación de medias de Carbohidratos en base a la concentración de harina de brócoli.

Gómez y colaboradores (2001) reportan un 84.13 % de carbohidratos en la tortilla de maíz nixtamalizado, en el presente estudio se obtuvo un contenido de 83.3 % en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 % de harina de brócoli).

Moreira *et al.* (2013) reportan que el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 5.2 g de carbohidratos por cada 100 g de porción comestible, esto comprueba que la cantidad de hidratos de carbono en la tortilla de nixtamal depende de la concentración de harina de brócoli añadida, ya que es mínima la cantidad de carbohidratos que aporta comparada con la que aporta una tortilla de nixtamal convencional.

En la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de carbohidratos.

Tabla 15. Comparación de tratamientos por contenido de carbohidratos

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
10	3	73.12 e
7	3	75.87 d
5	3	78.66 c
3	3	79.82 b
0	3	83.30 a

Todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa con relación al testigo (0 % de harina de brócoli). La concentración 10 % estadísticamente muestra menor aportación de carbohidratos, mientras que la concentración 0 % muestra una mayor aportación de carbohidratos.

Se mostró un incremento de 10.176 % del tratamiento que mostró menor aportación de carbohidratos (10% harina de brócoli) con relación al testigo que aportó mayor cantidad de este nutriente (0 % harina de brócoli).

4.7 Minerales

4.7.1 Hierro (Fe)

En el Gráfico 7 se muestra el contenido de Hierro (mg/g) en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

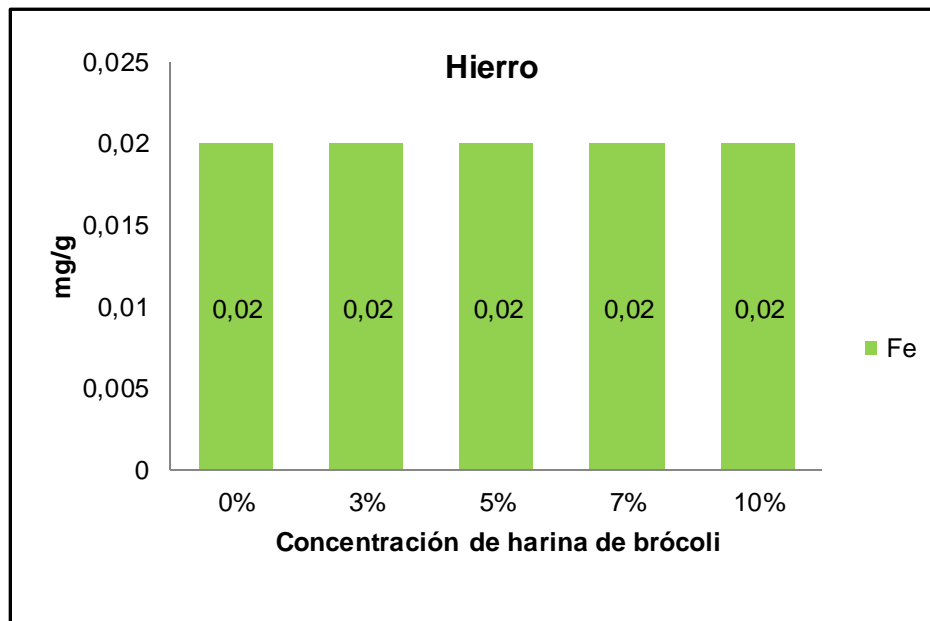


Gráfico 7. Comparación de medias de Hierro (Fe) en base a la concentración de harina de brócoli.

Como se puede observar en el gráfico anterior no hubo incremento en el contenido de Hierro en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado.

Figuroa *et al.* (2001) reportan 2.9 mg de Hierro por cada 100 g de tortilla nixtamalizada, similar a lo obtenido en el presente estudio que es 2.0 mg de Hierro por cada 100 g de tortilla de masa de maíz nixtamalizado (testigo 0 %).

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Hierro.

Tabla 16. Comparación de tratamientos por contenido de Hierro

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	0.02 a
3	3	0.021 a
5	3	0.023 a
7	3	0.025 a
10	3	0.027 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el contenido de Hierro se demuestra que no existe diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos, en otras palabras, las concentraciones de harina de brócoli añadidas a las tortillas de masa de maíz nixtamalizado no generan ningún impacto en cuanto al contenido de Hierro.

4.7.2 Sodio (Na)

En el Gráfico 8 se muestra el contenido de Sodio (mg/g) en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

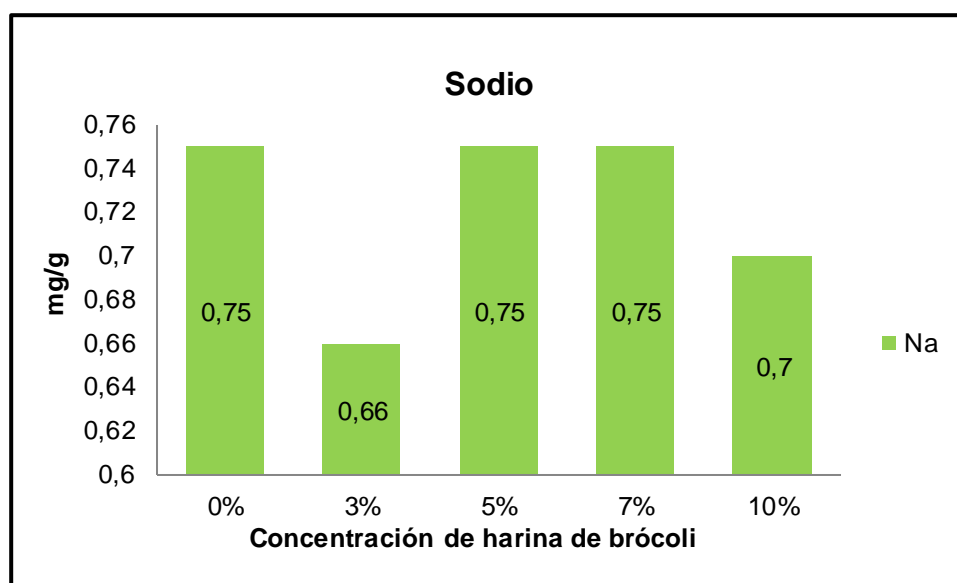


Gráfico 8. Comparación de medias de Sodio (Na) en base a la concentración de harina de brócoli.

En el Gráfico anterior se puede observar que todos los tratamientos a excepción el de 3% de harina de brócoli muestran un comportamiento similar al testigo (0 %).

El contenido de Sodio para la tortilla de masa de maíz nixtamalizado sin harina de brócoli (testigo) fue de 75 mg por cada 100 g de tortilla nixtamalizada, similar al 71 mg de Sodio por cada 100 gramos de tortilla de nixtamal que señala la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Haytowitz y Mattheews (1984) reportan que el brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 27 mg de Sodio por cada 100 g de porción comestible, un valor menor comparado con la cantidad de Sodio que aporta el testigo (75 mg/100 g).

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Sodio.

Tabla 17. Comparación de tratamientos por contenido de Sodio

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
3	3	0.66 b
10	3	0.70 ab
0	3	0.75 a
5	3	0.75 a
7	3	0.75 a

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANVA) para el contenido de Sodio las concentraciones de 5 % y 7 % son estadísticamente igual al testigo (0 %), mientras que la concentración de 3 % muestra una diferencia significativa con este, y a la vez parecida con la concentración de 10 % de harina de brócoli.

4.7.3 Magnesio (Mg)

En el Gráfico 9 se muestra el contenido de Magnesio en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli, se puede observar un incremento de Magnesio conforme aumenta la concentración de harina de brócoli en la tortilla de nixtamal.

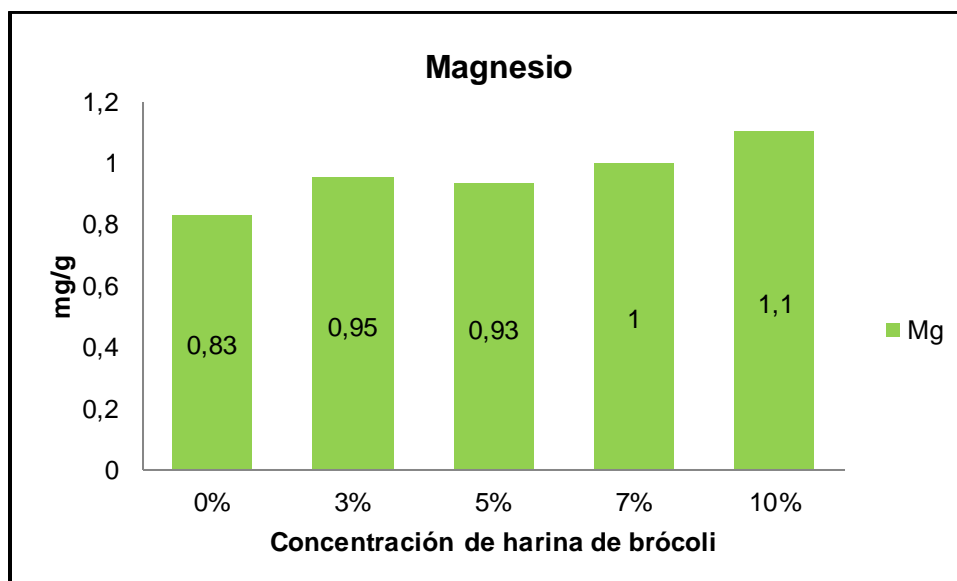


Gráfico 9. Comparación de medias de Magnesio (Mg) en base a la concentración de harina de brócoli

El contenido de Magnesio en la tortilla de nixtamal testigo (0 %) es de 83 mg por cada 100 g de tortilla, aproximado a lo reportado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (72 mg/100 g).

En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Magnesio.

Tabla 18. Comparación de tratamientos por contenido de Magnesio

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	0.83 d
5	3	0.93 c
3	3	0.95 c
7	3	1.0 b
10	3	1.1 a

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0 % de harina de brócoli). La concentración de 10 % estadísticamente muestra mayor aportación de Magnesio, mientras que el tratamiento testigo muestra una menor aportación.

Se mostró un incremento de 0.27 mg del tratamiento que mostró mayor aportación Magnesio (10 % harina de brócoli) con relación al testigo (0 % harina de brócoli).

Las concentraciones de 3 y 5 % muestran igualdad estadísticamente esto quiere decir que generan el mismo impacto en cuanto al contenido de Magnesio en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

4.7.4 Potasio (K)

En el Gráfico 10 se muestra el contenido de Potasio en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

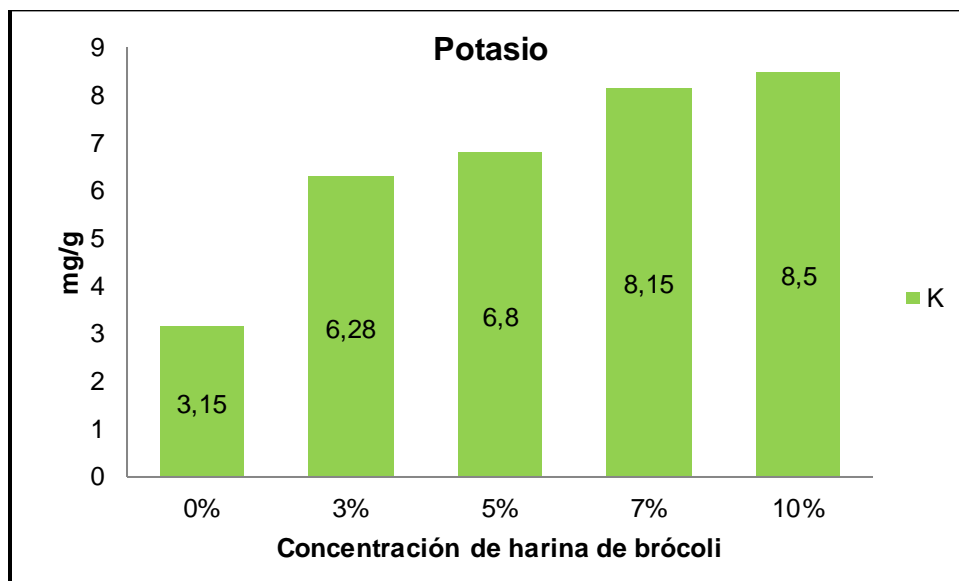


Gráfico 10. Comparación de medias de Potasio (K) en base a la concentración de harina de brócoli

En el gráfico anterior se puede observar que conforme aumenta la concentración de harina de brócoli en la tortilla de nixtamal hay un incremento de Potasio.

El contenido de Potasio en la tortilla testigo (0 %) es de 315 mg por cada 100 g de tortilla, mientras que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación reporta 273 mg por cada 100 g de tortilla nixtamalizada.

El brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) aporta 325 mg de Potasio por cada 100 g de porción comestible (Haytowitz y Mattheews, 1984), un valor semejante comparado con la cantidad de Potasio que aporta el testigo (315 mg/100 g).

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Potasio.

Tabla 19. Comparación de tratamientos por contenido de Potasio

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	3.15 c
3	3	6.28 b
5	3	6.80 b
7	3	8.15 a
10	3	8.50 a

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0 % de harina de brócoli). Las concentraciones de 3 % y 5 % muestran igualdad estadísticamente, al igual que las concentraciones de 7 % y 10 %, esto quiere decir que generan el mismo impacto en cuanto al contenido de Potasio en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

4.7.5 Calcio (Ca)

En el Gráfico 11 se muestra el contenido de Calcio en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

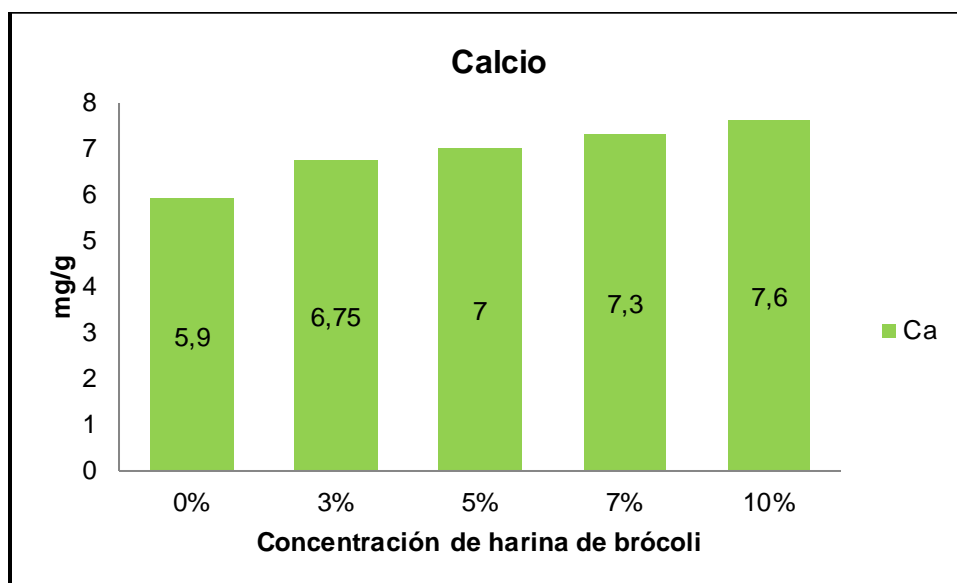


Gráfico 11. Comparación de medias de Calcio (Ca) en base a la concentración de harina de brócoli

Figuroa y colaboradores (2001) reportan 114 mg de Calcio por cada 100 g de tortilla nixtamalizada, en el presente estudio se obtuvieron 590 mg/100 g en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 % de harina de brócoli).

Según Bressani (1990) durante la elaboración de tortilla de maíz por medio de nixtamalización ocurren cambios en el contenido de disponibilidad de los nutrientes, entre los cambios más importantes se encuentra el aumento en el contenido de Calcio, el cual se ve favorecido por los niveles de cal utilizados, las temperaturas de cocción y reposo, y por las características del grano.

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) aporta 48 mg de Calcio por cada 100 g de porción comestible (Haytowitz y Mattheews, 1984).

En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Calcio.

Tabla 20. Comparación de tratamientos por contenido de Calcio

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
0	3	5.90 e
3	3	6.75 d
5	3	7.00 c
7	3	7.30 b
10	3	7.60 a

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0 % de harina de brócoli).

Se mostró un incremento de 1.70 % del tratamiento que mostró mayor aportación de Calcio (10 % harina de brócoli) con relación al testigo (0 % harina de brócoli).

4.8 Contenido calórico (kcal/100 g)

En el Gráfico 12 se muestra el contenido de kilocalorías en las tortillas de masa de maíz nixtamalizado en las diferentes concentraciones de harina de brócoli.

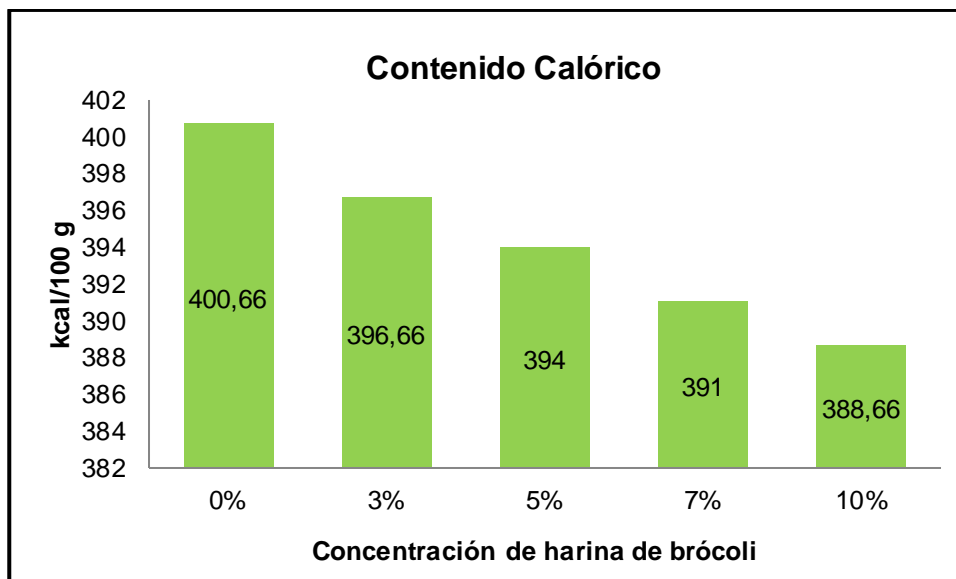


Gráfico 12. Comparación de medias de kilocalorías/100 g en base a la concentración de harina de brócoli

La FAO señala que el contenido calórico en las tortillas de fabricación casera es de 212 kcal/100 g, mientras que el contenido en este estudio para la tortilla de masa de maíz nixtamalizado testigo (0 %) fue de 400.66 kcal/100 g.

Como se puede observar en el gráfico anterior, entre mayor es la concentración de harina de brócoli en la tortilla de masa de nixtamal, el contenido calórico disminuye considerablemente, cómo lo señala Talalay (1998) el brócoli es una hortaliza baja en contenido calórico.

En la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de los tratamientos por contenido de Contenido Calórico.

Tabla 21. Comparación de tratamientos por Contenido Calórico

Concentración de harina de brócoli (%)	Repeticiones	Media
10	3	388.66 c
7	3	391.00 c
5	3	394.00 b
3	3	396.66 b
0	3	400.66 a

Todos los tratamientos muestran diferencia significativa con relación al testigo (0 % de harina de brócoli).

Las concentraciones de 3 % y 5 % muestran igualdad estadísticamente, al igual que las concentraciones de 7 % y 10 %, esto quiere decir que generan el mismo impacto en cuanto al Contenido calórico en la tortilla de masa de maíz nixtamalizado.

5. CONCLUSIONES

Se elaboró una tortilla de masa de maíz nixtamalizado, adicionando harina brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) a diferentes concentraciones.

Se determinaron las diferentes formulaciones de harina de brócoli para la elaboración de las tortillas de masa de nixtamal las cuales fueron 0, 3, 5,7 y 10 %.

Se comparó el valor nutritivo de una tortilla tradicional de maíz nixtamalizado (0 %) con los de una tortilla adicionada con 3, 5, 7 y 10 % de harina de brócoli, obteniéndose que la formulación de 10 % de harina de brócoli fue la mejor concentración en base al contenido nutricional, con un 3.85 % de Cenizas Totales, 16.59 % de Proteína Cruda, 2.97 % de Fibra Cruda, 73.12 % de Extracto Libre de Nitrógeno, un Contenido calórico de 388.66 kcal/100 g, 1.1 mg/g de Magnesio, 8.50 mg/g de Potasio y 7.6 mg/g de Calcio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. (2009). Cultivos Tropicales. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. Recuperado el 03 de diciembre de diciembre de 2019 en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf>.
- Arroba, B.C. (2011). Aprovechamiento de las propiedades nutritivas del brócoli (*Brassica oleracea*) para generar un aporte nutricional en pastas alimenticias de tipo pre cocido a partir del extracto vegetal. Pp.17-162. (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Badui, D.S. (2006). Química de los alimentos (cuarta edición) [archivo PDF]. Ciudad de México. Pearson educación. Recuperado el 08 de noviembre de 2019 en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf.
- Bello, P. L. A., Osorio, D. P., Agama, A. E., Núñez, S. C., & Paredes, L.O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado.
- Bernal, R. I. (1998). Análisis de Alimentos. Pp.1 y 2. Recuperado el 07 de noviembre de 2019 en: <https://accefyndspace.metabiblioteca.org/bitstream/001/54/1/ACCEFVN-AC-spa-1998-Analisis%20de%20alimentos.pdf>.
- Bressani, R. (1990). Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food.
- Carballo, C. A., & Zepeda, B. A. (s.f.). Híbrido de maíz para los Valles altos Centrales de México, con valor agregado por atributos de calidad en la masa y la tortilla.
- Coello, B. G. F. (2005). "Evaluación de cuatro productos orgánicos en el combate de plagas y enfermedades para la producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) en Yaruqui". Pp. 8. (Tesis de licenciatura) Escuela Politécnica del Ejército, Salgolqui, Ecuador.
- Cruz, H. E., & Verdalet, G. I. (2007). Tortillas de maíz: una tradición muy nutritiva.

- Departamento de Alimentos y Biotecnología. (2007). Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos. México: Universidad Autónoma de México. Recuperado el 08 de noviembre de 2019 en:
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTECNICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf.
- Departamento de Nutrición. (2017). Manual de Prácticas de la Unidad de Aprendizaje de Bromatología. Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit. Recuperado el 12 de noviembre de 2019 en:
<https://www.ecorfan.org/textbooks/L-Manuals/LM%20TII/LM%20TII>. Pdf.
- Espejel, G.M., Mora, F.J., García, S.J., Pérez, E.S., & García, M.R. (2016). Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 13 (3).
- FAO. (1989). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. Recuperado el 07 de noviembre de 2019 en:
<http://www.fao.org/3/AB492S/AB492S06.htm>.
- Fernández, S.R., Morales, C., L. & Gálvez, M. A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Pp. 1-9.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/w0073s/W0073S01.pdf>.
- Fundación Española de la Nutrición. (s.f.). Verduras y hortalizas. Recuperado el 22 de diciembre de 2019 en:
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/brecol.pdf>.
- Instituto de Ecología A. C. de México. (s.f.). Brócoli. Recuperado el 09 de diciembre de 2019 en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/735-brocoli>.
- Mabel, R.F., & Sceni, P. (2009). La química en los alimentos (primera edición) [archivo PDF]. Buenos Aires, Argentina. Artes Gráficas Rioplatense S. A. Recuperado el 27 de noviembre de 2019 en:
http://www.ifdcvm.edu.ar/tecnicatura/Ciencias_Nat_y_las_Matematicas/11.pdf.

- Márquez, S.B.M. (2014). "Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, definiciones y explicaciones". Pp.10-63. (Tesis de licenciatura) Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Massieu, T. Y., & Lechuga, M.J. (s.f.). Revista Análisis Económico. El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. Recuperado el 03 de diciembre de 2019 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41303610>.
- NMX-F-083-1986. (s.f.) Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002. (2002). Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba. México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1997). Métodos analíticos para la determinación de humedad, alcohol, energía, materia grasa y colesterol en alimentos. Capítulo 14. Recuperado el 08 de noviembre de 2019 en: <http://www.fao.org/3/AH833S16.htm>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). El maíz en la nutrición humana. Recuperado el 03 de diciembre de 2019 en:
<http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm#Origen%20del%20maiz>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s.f.). Procesados de cereales. Recuperado el 07 de diciembre de 2019 en: <http://www.fao.org/3/a-au166s.pdf>.
- Paredes, L. O., Guevara, F., & Bello, P.L.A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz.
- Pérez, B., Peña, J. L., Cruz, O.A., & Calderón, A. (s.f.). Estudio de la composición química de pericarpio de maíz con las técnicas XPS y EDAX P.
- Pérez, B.P., Peña, J. L., Cruz, O.A., & Calderón, A. (s.f.). Estudio de la composición química de pericarpio de maíz con las técnicas XPS y EDAX.

- Pérez, S.V. (2013). Proceso y fabricación de harina de subproductos del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) y su implementación parcial en un producto de panificación. Pp. 3-80.
- Puerta, Q.G.I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Pp.1-2.
- Quispe, R. D., & Argani, O. (2014). Revista de actualización Clínica. Fundamentos de Bromatología. Recuperado el 25 de noviembre de 2019 en:
http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230437682014000200001&lng=es&nrm=iso.
- Rosado, L. J., Camacho, S. R., & Bourges, H. (1999). Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. Pp.3-8.
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Pp 2. Recuperado el 03 de diciembre de 2019 en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sicoMa_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf.
- Sánchez, M.R., Figueroa, C.J., Suketoshi, T., Reyes, V.M., Rincón, S.F., & Mendoza, G.A. (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 27, núm. 3, pp. 213-222.
- Sánchez, P.M., Esmer, S.M., Martínez, V.L., Varela, G. N., Valdez, L.R., Torres, S.R., López, O.R., & Villarreal, P. J. (2011). Efecto del consumo de harina de maíz fortificada con ácido fólico sobre los niveles de folatos sanguíneos en mujeres de edad fértil. Pp. 2-8.
- Solís, C.E.R. (2019). Determinación de la cantidad de proteína, fibra cruda y hierro en hojas de bleo *Amaranthus hybridus* antes y después de dos tratamientos térmicos (escaldado y cocción por vapor). Pp.15-16. (Tesis de licenciatura) Universidad de San Carlos de Guatemala, Mazatenango, Guatemala.
- Tejada, H. I., Barruecos, J. M., & Merino. (s.f.). Análisis bromatológico de alimentos empleados como ingredientes en nutrición animal.

- Toapanta, T.W.A. (2006). "Mejoramiento del valor nutricional del brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) mediante controles biológicos (ají, ruda, ortiga)". Pp.14 (Tesis de licenciatura) Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Úrsula, D.G. (2017). Elaboración de una tortilla de maíz nixtamalizado adicionada con espinaca (Spinacea oleracea L.) para incrementar su valor nutritivo. Pp. 3-40. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.
- USDA. (2020).Tortilla de maíz. Recuperado el 10 de abril de 2020 en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/784721/nutrients>
- Vázquez, R. J. A. (2013). Desarrollo de tortillas de maíz fortificadas con fuentes de proteína y fibra y su efecto biológico en un modelo animal. Pp.13-16. (Tesis de doctorado) Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Vázquez, R.J., & Amaya, G.C. (2010). Evaluación sensorial de tortillas de maíz fortificadas con harina de amaranto, frijol y nopal.