

**RETENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA ELABORACIÓN
DE UN ALIMENTO TIPO SNACK CON POTENCIAL FUNCIONAL
A BASE DE MAÍZ MORADO NIXTAMALIZADO Y NO NIXTAMALIZADO**

RIBKA HUESA BELLO

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
Bogotá, D.C. (noviembre 2021)**

**RETENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA ELABORACIÓN DE
UN ALIMENTO TIPO SNACK CON POTENCIAL FUNCIONAL
A BASE DE MAÍZ MORADO NIXTAMALIZADO Y NO NIXTAMALIZADO**

RIBKA HUESA BELLO

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial para optar el título de:

Nutricionista Dietista

Andrés Giraldo Toro, PhD.

Director

Miriam Lucia Ojeda Arredondo

Codirectora

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
Bogotá, D.C. (noviembre 2021)**

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

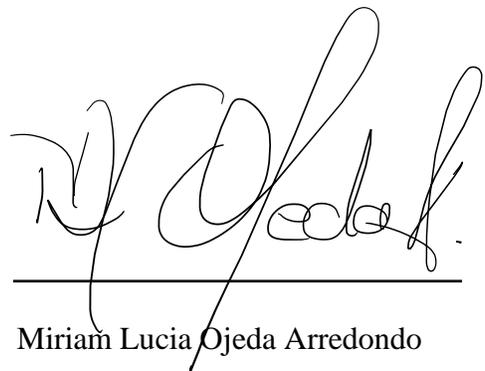
**RETENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA ELABORACIÓN DE
UN ALIMENTO TIPO SNACK CON POTENCIAL FUNCIONAL
A BASE DE MAÍZ MORADO NIXTAMALIZADO Y NO NIXTAMALIZADO**

RIBKA HUESA BELLO

APROBADO



Andrés Giraldo Toro
Ingeniero Agroindustrial, PhD
Director



Miriam Lucia Ojeda Arredondo
Nutricionista Dietista MSc. PhD.
Co-directora



Martha Patricia Tarazona Díaz
Ingeniera de Alimentos, PhD.
Jurado

**RETENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA ELABORACIÓN DE
UN ALIMENTO TIPO SNACK CON POTENCIAL FUNCIONAL
A BASE DE MAÍZ MORADO NIXTAMALIZADO Y NO NIXTAMALIZADO**

RIBKA HUESA BELLO

APROBADO

Alba Lucía Trespalacios Rangel
Microbióloga, PhD
Decana de Facultad

Luisa Fernanda Tovar Vargas
Nutricionista Dietista, MSc.
Dirección de Carrera

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi mayor soporte y permitirme cumplir un sueño más. A mi familia, por su amor y apoyo incondicional. A mis profesores, por instruirme en el conocimiento y motivarme a ser cada vez mejor en la profesión que amo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme vida, por ser mi mayor respaldo y ayudarme a superar cada obstáculo a lo largo de mi formación profesional, gracias por darme sabiduría e inteligencia, por estar en mi vida y acompañarme en cada paso que doy.

A mi familia, le doy gracias por su amor incondicional, por su apoyo constante, por soñar conmigo, por instruirme, por creer en mí, por enseñarme a creer que con Dios y ustedes nada es imposible, porque así es. Gracias por darme el mejor ejemplo de dedicación y fortaleza.

A mis amigos, gracias por apoyarme, confiar en mí, por motivarme, por las risas y lagrimas que han sido parte de este proceso de formación y gracias por su amistad incondicional.

A mis tutores, Andrés Giraldo y Miriam Ojeda quienes me guiaron y apoyaron durante todo el proceso de trabajado de grado. En especial a Andrés por ser un excelente director, profesor y persona y ofrecerme siempre su ayuda y dirección.

Por último, gracias a todas las personas que me han acompañado a lo largo de mi formación y me motivan a ser una futura profesional excelente para nuestra sociedad.

A todas y a todos, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Alimentos funcionales y prevención de enfermedades no transmisibles	2
2.2. Compuestos fenólicos	3
2.2.1. Estructura	3
2.2.2. Clasificación.....	4
2.2.3. Propiedades funcionales.....	4
2.2.4. Fuentes alimenticias	5
2.3. Maíz	5
2.3.1. Morfología del grano de maíz	5
2.3.2. Composición del grano de maíz.....	6
2.3.3. Productos elaborados a base de maíz	6
2.4. Maíz morado.....	6
2.4.1. Composición del maíz morado	7
2.5. Procesamiento y productos obtenidos a partir de maíz.....	7
2.5.1. Método de cocción tradicional	8
2.5.2. Nixtamalización	8
2.5.3. Fritura.....	9
2.6. Retención de compuestos fenólicos	9
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	12
4.1. Objetivo general	12
4.2. Objetivos específicos	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS	12

5.1. Materiales	12
5.1.1. Materia prima	12
5.2. Diseño experimental.....	13
5.2.1. Muestra de estudio	14
5.2.2. Variables de estudio	14
5.3. Métodos	15
5.3.1. Proceso de elaboración de tortillas chips	15
5.3.2. Cuantificación de compuestos fenólicos totales	16
5.3.3. Cuantificación de compuestos fenólicos totales con el método Folin – Ciocalteu	17
5.3.4. Análisis microbiológico	18
5.3.5. Análisis de textura.....	18
5.3.6. Análisis sensorial	19
5.4. Recolección de la información	19
5.5. Análisis estadístico	19
6. RESULTADOS.....	20
6.1. Contenido de compuestos fenólicos totales en maíz crudo, nixtamalizado, a cocción tradicional y prototipos de tortillas chips.	20
6.2. Análisis microbiológico de hongos y levaduras en los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado	21
6.3. Fracturabilidad de los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado	22
6.4. Contenido nutricional estimado de las tortillas chips de maíz morado nixtamalizadas y a cocción tradicional.....	23
6.5. Análisis sensorial de los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado	23
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	26

7.1.	Compuestos fenólicos totales en las diferentes etapas del proceso	26
7.2.	Fracturabilidad de las tortillas chips	28
7.3.	Hongos y levaduras en las tortillas chips	28
7.4.	Contenido nutricional de las tortillas chips de maíz morado.....	29
7.5.	Calidad sensorial de las tortillas chips	29
8.	CONCLUSIONES.....	30
9.	RECOMENDACIONES.....	31
10.	REFERENCIAS	32
11.	ANEXOS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución porcentual de los principales componentes del grano de maíz	6
Tabla 2. Composición química de maíz morado (g 100 g⁻¹)	7
Tabla 3. Variables de estudio	15
Tabla 4. Curva de calibración	17
Tabla 5. Resultados del análisis de hongos y levaduras (UFC/g)	21
Tabla 6. Repetición resultados del análisis de hongos y levaduras (UFC/g)	22
<u>Tabla 7. Información nutricional de las tortillas chips de maíz morado por 100g</u> ...	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los compuestos fenólicos.....	3
Figura 2. Diseño metodológico de la fase experimental.....	14
Figura 3. Diagrama de barras con desviación estándar del contenido de compuestos fenólicos totales^a (mg EAG/g) de las muestras.....	20
Figura 4. Diagrama de barras con desviación estándar de fracturabilidad por prototipo de tortillas chips de maíz morado nixtamalizado y de cocción tradicional	23
Figura 5. Diagrama de barras prueba escalar hedónica de las tortillas chips de cocción tradicional y nixtamalizadas.	24
Figura 6. Diagrama de barras comparativo entre las tortillas chips cocción tradicional a 100 °C por 10 minutos y tortillas chips nixtamalizadas a 100 °C por 10 minutos.....	25
Figura 7. Diagrama de barras de la prueba de actitud de compra de las tortillas chips	25
Figura 8. Resultados de la prueba de preferencia aplicada a las tortillas chips a cocción tradicional y nixtamalizadas	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Curva de calibración	39
Anexo2. Encuesta del análisis sensorial	39
Anexo 3. Balance de materia de tortillas chips nixtamalizadas.....	41
Anexo 4. Balance de materia de tortillas chips cocción tradicional.....	42

RESUMEN

En el transcurso de los años se ha venido promoviendo el consumo de frutas y verduras, con el fin de prevenir Enfermedades No Transmisibles; sin embargo, su consumo no ha aumentado significativamente pese a sus importantes aportes nutricionales. Razón por lo cual, la industria alimentaria ha introducido como una alternativa el desarrollo de alimentos funcionales utilizando como materia prima alimentos de alto consumo y fuente de compuestos biológicamente activos, como lo es el maíz morado fuente de compuestos fenólicos. Es por esto, que el presente estudio tiene como objetivo evaluar la estabilidad de los compuestos fenólicos totales en la formulación de un alimento tipo snack con potencial funcional a partir de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado. Para la elaboración de las tortillas chips se procedió a realizar dos pretratamientos (cocción tradicional y nixtamalización) y una vez obtenida la masa, se elaboraron las tortillas chips en fritura en aire caliente a dos tiempos (15 y 10 min) y temperaturas diferentes (80 y 100 °C), en el proceso se realizó la extracción y purificación de las muestras y finalmente se procedió a realizar la cuantificación por el método de Folin Ciocalteu. Se observó que el proceso de nixtamalización redujo significativamente la cantidad de compuestos fenólicos, mientras que la cocción tradicional permitió mayor retención de los mismos; el tiempo y temperatura que favoreció una mayor retención de compuestos fenólicos fue a 80 °C por 10 minutos, tanto en las tortillas chips nixtamalizadas como en las tortillas chips de cocción tradicional. En conclusión, una porción de 25 g de tortillas chips tradicionales aporta 114.3 – 74.8 mg EAG, lo cual es un aporte significativo y diferencial frente a otros productos.

ABSTRACT

Over the years, the consumption of fruits and vegetables has been promoted in order to prevent Non-Communicable Diseases; however, its consumption has not increased significantly despite its important nutritional contributions. For this reason, the food industry has introduced as an alternative the development of functional foods using high-consumption foods as raw material and a source of biologically active compounds, such as purple corn, a source of phenolic compounds. This is why the present study aims to evaluate the stability of total phenolic compounds in the formulation of a snack type food with functional potential from nixtamalized and non-nixtamalized purple corn. For the preparation of the tortilla chips, two pretreatments were carried out (traditional cooking and nixtamalization) and once the dough was obtained, the tortilla chips were made and fried using an air fryer at two times (15 and 10 min) and two different temperatures (80 and 100 °C), in the process the extraction and purification of the samples was executed and finally the quantification was carried out by the Folin Ciocalteu method. It was observed that the nixtamalization process significantly reduced the amount of phenolic compounds, while traditional cooking allowed greater retention of them; the time and temperature that favored a greater retention of phenolic compounds was at 80 °C for 10 minutes, in both cases (nixtamalized tortilla chips and traditionally cooked tortilla chips). In conclusion, a 25 g portion of traditional tortilla chips provides 74.8 – 114.3 mg EAG, which is a significant and differential contribution compared to other products.

1. INTRODUCCIÓN

Una alimentación saludable implica el consumo de todos los grupos de alimentos en una determinada proporción, siendo el de mayor porcentaje de consumo las frutas y verduras. Este grupo aporta gran cantidad de micronutrientes necesarios para el buen funcionamiento del organismo humano, y además su consumo adecuado contribuye en la prevención de Enfermedades No Transmisibles (ENT), al ser fuente principal de compuestos bioactivos, como los antioxidantes. Aún así, existe una problemática a nivel mundial entorno al bajo consumo de este grupo de alimentos.

Los antioxidantes son compuestos que se encuentran naturalmente en los alimentos, estos cumplen funciones específicas en el organismo como evitar el estrés oxidativo a nivel celular, el cual tiene efectos perjudiciales en la salud como el envejecimiento prematuro, desarrollo de cáncer, aterosclerosis, insuficiencia renal aguda, diabetes mellitus, hipertensión arterial, cirrosis, insuficiencia hepática, entre otros.

Existe una tendencia actual en el desarrollo de alimentos funcionales los cuales apuntan a incorporar, aumentar, substituir, eliminar o simplemente contar con algún componente que los hacen tener un beneficio potencial para la salud más allá de la nutrición y contribuyen en la prevención de ciertas enfermedades. Por lo anteriormente mencionado, es necesario buscar alternativas nutricionales en la industria alimentaria que trabajen articuladamente en el desarrollo de productos funcionales que propendan por aumentar el consumo de antioxidantes usando materias primas de consumo masivo.

El maíz es consumido en una amplia diversidad de productos comercializados en el mercado. El maíz morado por ejemplo es una materia prima fuente de compuestos fenólicos (465 ± 9.8 mgEAG / 100 g), específicamente antocianinas (93.2 ± 1.1 mg cianidina-3-glucosido/100g), con una capacidad antioxidante significativa (~ 60 % de reducción del radical ABTS) (Lopez-Martinez *et al.*, 2009).

Es así, como un alimento tipo snack, con potencial funcional, hecho a partir de maíz morado, se convierte en el enfoque de este trabajo. Este busca en su desarrollo evaluar tanto la retención de compuestos fenólicos durante el proceso de elaboración de tortillas chips (usando como método de cocción la fritura en aire caliente) como las características texturales, sensoriales y microbiológicas del producto terminado.

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Alimentos funcionales y prevención de enfermedades no transmisibles

Hasta el momento no hay una definición universal para un alimento funcional. La primera vez que este término se introdujo fue en Japón a mediados de la década de 1980 y se refería a los alimentos procesados que contienen ingredientes que ayudan a funciones corporales específicas además de ser nutritivas (Paliyath & Jackson, 2011). Actualmente varios autores y organizaciones han proporcionado diferentes definiciones; la mayoría de estos los definen como alimentos con componentes dietéticos que proporcionan beneficios para la salud mas allá de la nutrición básica, los cuales cumplen el propósito de reducir o minimizar del riesgo de ciertas enfermedades y condiciones de salud, como las ENT (Aryee & Boye, 2015). Un alimento funcional puede ser aquel que por sí solo contiene una cantidad significativa de algún componente biológicamente activo, pero también puede ser aquel al cual se le haya modificado su composición, añadiendo, incrementando o eliminando algún componente. Sus características principales son (Beltrán de Heredia, 2016):

- Se debe presentar como un alimento de consumo diario.
- Su consumo no debe producir efectos nocivos para el consumidor.
- Tiene propiedades nutritivas y benéficas para la salud del consumidor.
- Disminuye y/o previenen el riesgo de padecer determinadas enfermedades.
- Debe poder demostrarse sus efectos benéficos dentro de las cantidades que se consumen normalmente.

Según la Organización Mundial de Salud (OMS) una dieta poco saludable es uno de los factores de riesgo que contribuyen al desarrollo de ENT. Múltiples estudios sugieren que muchos de los compuestos bioactivos en los alimentos como proteínas y péptidos, ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), fibra, carotenoides, vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, probióticos y prebióticos entre otros; pueden ejercer efectos antioxidantes, antitrombóticos, hipocolesterolémicos, antimicrobianos e inmunomoduladores. Es importante resaltar que la capacidad de los compuestos bioactivos en los alimentos para prevenir ENT, depende en gran medida de sus propiedades farmacocinéticas en la absorción y distribución al tejido blanco (Aryee & Boye, 2015).

2.2. Compuestos fenólicos

2.2.1. Estructura

Los compuestos fenólicos son moléculas que poseen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático (Figura 1) (Tsao, 2010). Su estructura les confiere mayor susceptibilidad a la descomposición oxidativa, fotodegradación e isomerización geométrica durante su exposición a factores como la temperatura, oxígeno, luz, enzimas oxidativas, ácidos, metales, y radicales libres.

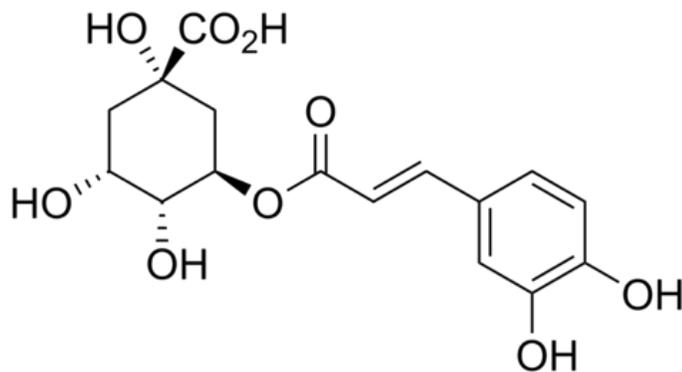


Figura 1. Estructura de los compuestos fenólicos

Fuente: Rojas, 2020

2.2.2. Clasificación

Una forma de clasificación de los compuestos fenólicos es según su diversidad estructural, en la cual hay dos grandes grupos, los flavonoides (fenoles no carboxílicos, ácidos fenoles) y los no flavonoides (antocianos; flaonas, flavonas, favanoles y falavanonoles; flavanoles, taninos condensados y lignanos) (Gimeno Creus, 2004). Otros grupos en los que se suelen clasificar son: fenoles ácidos; fenoles simples; ácidos hidroxibenzóicos; ácidos hidroxicinámicos; cumarinas; xanthonas, estilbenos y benzofenonas; quinonas: betacianinas; lignanos y ligninas; y flavonoides (Peñarrieta *et al.*, 2014a).

2.2.3. Propiedades funcionales

Los compuestos fenólicos han sido ampliamente estudiados debido a su capacidad para contrarrestar el estrés oxidativo toda vez que, el estrés oxidativo crónico esta relacionado con el desarrollo de ENT (Vuolo *et al.*, 2018).

Son conocidos por ser compuestos bioactivos con actividad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales. Estas propiedades antioxidantes son el motivo de sus implicaciones en la salud humana, como lo es en la prevención de ENT e incluso de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. De los compuestos fenólicos mencionados, los flavonoides son aquellos que tienen mayor actividad antioxidante, estudios epidemiológicos han mostrado tener un efecto a nivel del perfil lipídico, disminuyendo los valores de colesterol total y LDL. Por otro lado, pueden inhibir la ciclooxigenasa y lipooxigenasa dando como resultado la disminución en la formación de tromboxano y leucotrienos. Algunos fenoles cumplen la función de inhibir la agregación plaquetaria y estabilizar las fibras de colágeno en la pared arterial (Gimeno Creus, 2004).

Ademas, tienen un efecto positivo en la absorción del almidón, por su actividad inhibitoria de las enzimas digestivas (α -amilasa pancreática y α -glucosidasa intestinal),

y su capacidad para modular la actividad de los transportadores de carbohidratos; de esta manera pueden ser una estrategia sostenible para la prevención tratamiento y la reducción del riesgo de diabetes mellitus tipo 2 (Dueñas Martín *et al.*, 2018).

2.2.4. Fuentes alimenticias

Los compuestos fenólicos se encuentran naturalmente en alimentos como frutas, verduras, raíces y cereales (Peñarrieta *et al.*, 2014b; Gimeno Creus, 2004). La mayoría de plantas contienen compuestos fenólicos, su contenido varía en función de la especie, el grupo de compuesto y la parte de la planta (fruto, hoja o parte leñosa). Dicho lo anterior las fuentes alimenticias principales son vegetales (brócoli, tomate, pepino, remolacha, zanahoria, cebolla entre otros), frutas (manzana, fresa, frambuesa, uvas, arándanos), cereales (maíz morado, avena, centeno, trigo, cebada), legumbres, aceites, té verde y negro, cerveza y vino; (Jáuregui & Escudero, 2007).

2.3. Maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas o poáceas cuya descripción taxonómica, corresponde a una especie monocotiledónea de crecimiento anual (David *et al.*, 2013). Este cereal junto con el arroz y el trigo es uno de los más importantes en el mundo, aportando un componente energético importante al hombre; pero también es materia prima básica para la industria, ya que con este se produce almidón, aceites, proteínas, bebidas alcohólicas y edulcorantes alimenticios, entre otros productos (Benítez Cardoza & Perea Pfeiffer, 2006).

2.3.1. Morfología del grano de maíz

El grano y producto final de la planta de maíz está compuesto por cuatro estructuras primarias: el endospermo, el germen, el pericarpio y el pedicelo o piloriza (tapa de la punta), que constituyen el 83 %, 11 %, 5 % y 1 % del grano de maíz respectivamente (Gwartz & Nieves Garcia-Casal, 2014).

2.3.2. Composición del grano de maíz

En el endospermo se almacena el almidón como el componente mayoritario en el grano de maíz, junto con las vitaminas del complejo B en una menor proporción. La proteína del maíz se encuentra en el germen al igual que las grasas (aceite), mientras que el pericarpio se caracteriza por su alto contenido de fibra y antioxidantes como la vitamina E (David *et al.*, 2013) (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución porcentual de los principales componentes del grano de maíz

Composición	Grano entero (%)	Componentes en bases seca (%)			
		Endospermo	Germen	Pericarpio	Punta
Almidón	62.0	87.0	8.3	7.3	5.3
Proteína	7.8	8.0	18.4	3.7	9.1
Aceite	3.8	0.8	33.2	1.0	3.8
Ceniza	1.2	0.3	10.5	0.8	1.6
Otros ¹	10.2	3.9	29.6	87.2	80.2
Agua	15.0	-	-	-	-

Fuentes: Shukla & Cheryan, 2001, p. 172; Watson & Ramstad, 1987.

2.3.3. Productos elaborados a base de maíz

El maíz como alimento humano es usado en una gran variedad de formas. La mayor variación se encuentra en América Latina, principalmente en México y África Sub-Sahariana, donde es un alimento básico. Los productos alimenticios elaborados a base de maíz son múltiples y difieren según la región en la que es consumido, su cultura y el tipo de maíz y procesamiento utilizado. Es así como las mazorcas verdes se emplean como maíz tostado, y para elaborar sopas, gelatinas y jugos. Mientras que el grano maduro seco de maíz se usa para preparar potajes y para producir harinas gruesas o finas que se puede usar para elaborar pastas, pan, arepas y bizcochos. Por otro lado, el maíz nixtamalizado se usa para producir tortillas, tacos y envueltos (Paliwal *et al.*, 2001).

2.4. Maíz morado

El maíz morado (*Zea mays L.*) de la raza Kculli, se cultiva principalmente en los Andes Peruanos, se considera un alimento único ya que sus granos bracetos y coronta (tusa)

son de color morado a negro por las antocianinas que poseen. La cantidad de antocianinas que tienen depende de factores como el tipo de maíz (genotipo), del órgano de la planta y de las condiciones ambientales en las que es cultivado. Debido a estos compuestos, se reconoce que puede ser un alimento con potencial funcional, útil en el reemplazo de los colorantes artificiales en la industria alimentaria, en productos farmacéuticos y cosméticos (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

2.4.1. Composición del maíz morado

El maíz morado se caracteriza en su composición nutricional por un alto contenido de carbohidratos, y un bajo contenido de lípidos y proteínas (Tabla 2).

En el maíz morado se encuentran polifenoles, entre estos flavonoides y los más importantes como las antocianinas y glúcidos de las antocianidinas. La mazorca (olote y grano) está constituida en un 85 % por grano y un 15 % de olote. Este pigmento denominado antocianinas se encuentra en mayor cantidad en el olote que en el grano (Rabanal-Atalaya *et al.*, 2021).

Tabla 2. Composición química de maíz morado (g 100 g⁻¹)

Humedad	Proteínas	Cenizas	Lípidos	Carbohidratos	Referencia
9.8	8.2	1.1	3.7	77.2	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2005)
7.4	8.3	0.3	0.5	84.1	Utrilla <i>et al.</i> (2009)

Fuente: Bello-Pérez *et al.*, 2016

2.5. Procesamiento y productos obtenidos a partir de maíz

El maíz es transformado a través del uso de diferentes técnicas de procesamiento antes de ser ingerido por los seres humanos. Las técnicas de procesamiento más comúnmente usadas como pretratamiento en el grano de maíz son la molienda en seco, la cocción en agua, fermentación y nixtamalización. Posteriormente el grano procesado puede tener

una segunda transformación como una segunda molienda para producción de masas, extrusión y fritura. Estas técnicas de procesamiento adicionan características organolépticas específicas a cada producto, y adicionalmente generan alteraciones en la matriz alimentaria del maíz (Méndez Delgado, 2020). Actualmente se han desarrollado productos a base de maíz morado tipo bebidas, harina, pastas y snacks. Los alimentos tipo snack son una de las presentaciones más elegidas y consumidas en Colombia con una prevalencia del 51,3 % en la población (Encuesta Nacional de La Situación Nutricional, 2015).

2.5.1. Método de cocción tradicional

El maíz se somete a calentamiento (± 95 °C) en una olla con agua hasta que el grano fragmentado este blando dando por culminada la cocción. Seguidamente se elimina el agua y se deja enfriar hasta su consumo o para una segunda transformación (Torrenegra A *et al.*, 2013).

2.5.2. Nixtamalización

La nixtamalización (NT) es una manera efectiva para mejorar el valor nutricional del maíz, para consumo humano (como tortilla, principalmente) que está muy relacionado con la seguridad alimentaria. Es un proceso térmico que requiere de una combinación de temperatura y tiempo para lograr los cambios adecuados en los granos de maíz para su uso en la elaboración de alimentos. La NT tradicional reduce significativamente el contenido de antocianinas en los maíces pigmentados, debido a que gran cantidad de estos compuestos se solubilizan en el agua de cocción con pH elevado y temperatura extrema, lo que degrada a los compuestos. Además, otras estructuras químicas derivadas de los polifenoles son afectadas por el rompimiento de enlaces éster, y como consecuencia se liberan los fenoles. La mayor parte de estos compuestos se encuentran en el pericarpio del grano, y son eliminados durante el lavado del nixtamal (De la Parra *et al.*, 2007; Anayansi *et al.*, 2013).

2.5.3. Fritura

La fritura es un método de cocción tradicional que consiste en la inmersión completa de un producto alimenticio en aceite a temperaturas entre 160 °C y 200 °C (Ata Ximello & Bravo González, 2015). Este método de cocción es ampliamente usado en la industria alimentaria para la obtención de tortillas chips, otorgándole características organolépticas específicas, como lo es la crocancia, siendo ésta una de las características de mayor interés en los consumidores de tortillas chips.

Durante el proceso de fritura de alimentos fuente de antocianinas como la papa de pulpa morada (Kita *et al.*, 2013) reportó un porcentaje de pérdida de antocianinas entre el 38 % – 70 %. Además, Sepúlveda *et al.* (2019) reportó que la pérdida de compuestos fenólicos se encuentra directamente relacionada con las altas temperaturas y el tiempo de exposición.

2.5.3.1. Fritura en aire caliente

La fritura en aire caliente es una técnica alternativa de fritura, que permite superar las limitaciones de la fritura con alto contenido de grasa. Este método consiste en dejar circular aire sobrecalentado alrededor de los alimentos, en vez de sumergirlos en aceite. La freidora de aire caliente es una cámara de cocción que se calienta con un calentador y un extractor de aire, los cuales proporcionan el flujo de aire necesario para la freidora. En esta técnica se produce una deshidratación gradual del alimento hasta que los productos fritos se vuelven crujientes; este método puede reducir hasta en un 80 % el contenido de grasa en el producto final en comparación con el método convencional, sin embargo es necesario evaluar propiedades sensoriales como formación de costras, palatabilidad, color, brillo entre otros; las cuales se pueden ver influenciadas por el menor contenido de aceite (Fikry *et al.*, 2021).

2.6. Retención de compuestos fenólicos

La estabilidad de las antocianinas depende principalmente de la presencia de luz, oxígeno, pH, enzimas, iones metálicos (Ca^{2+}), carbohidratos y de la temperatura tanto

del procesamiento final como la de almacenamiento (Bordignon-Luiz *et al.*, 2007), y por ello los maíces que contienen estas biomoléculas son difíciles de procesar.

Respecto a la temperatura, el calentamiento a temperaturas bajas (~ 40 °C) durante máximo 3 días puede no ser perjudicial, pero el calentamiento a temperaturas más altas (60 – 125 °C) durante más de 8 horas, da como resultado una pérdida considerable de antocianinas (Fernandes *et al.*, 2019).

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Hace más de 20 años la OMS (Organización Mundial de Salud) ha venido promoviendo el consumo de una alimentación saludable, con el fin de prevenir las Enfermedades No Transmisibles (ENT). Sin embargo, el consumo de alimentos ultra – procesados, la creciente urbanización y los cambios de estilo de vida han dado lugar a inadecuados hábitos alimentarios. Actualmente las personas consumen en mayor proporción alimentos hipercalóricos, altos en nutrientes críticos en salud pública, grasa saturada, azúcares libres y sal/sodio. Por lo cual, es necesario que desde el Gobierno de cada país se establezcan políticas que permitan aumentar los incentivos a los productores y vendedores minoristas para la comercialización de diferentes grupos de alimentos que promuevan una alimentación saludable; y junto a esto, alentar industrialmente la formulación y reformulación de productos alimentarios con un potencial en salud (OMS, 2018).

Por lo anteriormente mencionado, el interés en desarrollar alimentos funcionales desde la industria alimentaria va en incremento. Un alimento funcional es aquel que contiene componentes biológicamente activos, los cuales tienen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo, resultando en una mejora de la salud y una disminución del riesgo de padecer determinadas enfermedades. Dentro de los componentes biológicamente activos se encuentran los ácidos grasos poliinsaturados, fitoesteroles, fibra dietética, antioxidantes, entre otros;

siendo sus fuentes alimentarias principalmente las frutas, verduras, raíces y cereales (Fuentes Berrio *et al.*, 2015).

Los antioxidantes han sido estudiados durante los últimos años, debido a su contribución al mantenimiento de la salud humana (Porrás Loaiza & López Malo, 2009) ya que contribuyen a retardar el envejecimiento celular a través de mecanismos específicos, y por sus propiedades farmacológicas al contrarrestar los efectos nocivos de los radicales libres, estrés oxidativo y carcinogénesis. Dentro de los antioxidantes se encuentran las vitaminas (A, D, C, E), minerales (Zinc y Selenio) y compuestos fenólicos que se encuentran ampliamente en frutas, verduras, aceites y cereales como el maíz morado.

El maíz morado (*Zea mays L*) se produce principalmente en Perú, México y Bolivia a nivel de Latinoamérica. En Colombia se produce principalmente en los departamentos de Tolima y Caldas. Este cereal reconocido por su color es un antioxidante natural, que en su extracto muestra alto contenido en compuestos fenólicos (~ 132,85 mg/g) específicamente en antocianinas (~ 40,25 mg/g) (Pedreschi & Cisneros-Zevallos, 2007); lo anterior demuestra que el maíz tiene un efecto potenciador sobre la actividad de la superóxido dismutasa (SOD), efectos potenciadores sobre la expresión de ARNm, propiedades antimutagénicas, efectos hipotensor, mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo (Guillén-Sánchez *et al.*, 2014). Solo me falta que menciones el efecto de los compuestos fenólicos en la absorción del almidón

El maíz al ser un alimento libre de gluten, permite que consumidores intolerantes al mismo puedan tener otra alternativa de alimentación en sustitución de otros cereales. Actualmente se han desarrollado productos a base de maíz morado tipo bebidas, harina, pastas y snacks. Los alimentos tipo snack son una de las presentaciones más elegidas y consumidas en Colombia con una prevalencia del 51,3 % (Encuesta Nacional de La Situación Nutricional, 2015), ya que permite al consumidor lograr un fraccionamiento adecuado de su dieta y ayuda a controlar el hambre. Por lo mismo, se encuentra la

necesidad de aumentar el desarrollo y venta de productos funcionales tipo snack con el fin de mitigar el consumo de snacks no saludables.

Dicho lo anterior, el tipo de procesamiento y variables como el tiempo y la temperatura de cocción son factores clave en la retención de compuestos fenólicos para un producto a base de maíz. Con base en este panorama, este estudio busca evaluar si en el desarrollo de un producto tipo snack a base de maíz morado se obtienen contenidos finales de compuestos fenólicos suficientes para contribuir en la prevención de ENT.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad de los compuestos fenólicos totales en la formulación de un alimento tipo snack con potencial funcional a partir de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado.

4.2. Objetivos específicos

- 1.** Desarrollar tortillas chips a partir de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado.
- 2.** Evaluar el impacto de la combinación tiempo y temperatura de cocción sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales en tortillas chips a partir de maíz morado.
- 3.** Determinar los compuestos fenólicos totales en tortillas chips a base de maíz morado en las diferentes etapas del proceso.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Materia prima

Se utilizaron 11 muestras las cuales se codificaron de la siguiente manera:

- CRUDO: grano de maíz morado crudo.
- TRAD: grano de maíz morado a cocción tradicional.
- NIXT: grano de maíz morado nixtamalizado.
- TT_100_15: tortilla chip con cocción tradicional, con fritura en aire caliente a 100°C por 15 minutos.
- TT_100_10: tortilla chip con cocción tradicional, con fritura en aire caliente a 100°C por 10 minutos.
- TT_80_15: tortilla chip con cocción tradicional, con fritura en aire caliente a 80°C por 15 minutos.
- TT_80_10: tortilla chip con cocción tradicional, con fritura en aire caliente a 80°C por 10 minutos.
- TN_100_15: tortilla chip nixtamalizada, con fritura en aire caliente a 100°C por 15 minutos.
- TN_100_10: tortilla chip nixtamalizada, con fritura en aire caliente a 100°C por 10 minutos.
- TN_80_15: tortilla chip nixtamalizada, con fritura en aire caliente a 80°C por 15 minutos.
- TN_80_10: tortilla chip nixtamalizada, con fritura en aire caliente a 80°C por 10 minutos.

5.2. Diseño experimental

El presente estudio es de tipo experimental factorial 2², correlacional, transversal; el cual fue llevado a cabo en dos fases (Figura 2). La fase 1 se enfocó en la elaboración de tortillas chips a base de maíz morado a dos pre – tratamientos diferentes (cocción tradicional y nixtamalización), y posteriormente fueron sometidas a fritura en aire caliente a dos tiempos (15 y 10 minutos) y temperaturas diferentes (80 °C y 100 °C), las cuales fueron seleccionadas tratando de tener una operación de cocción por debajo de la temperatura de fritura en aceite (160°C), y para mantener la estabilidad de las antocianinas en condiciones de calentamiento (hasta 101°C) (Rojano *et al.*, 2012) En

la fase 2 se realizó el análisis de textura, microbiológico y sensorial; y la cuantificación de compuestos fenólicos para cada prototipo de las tortillas chips.

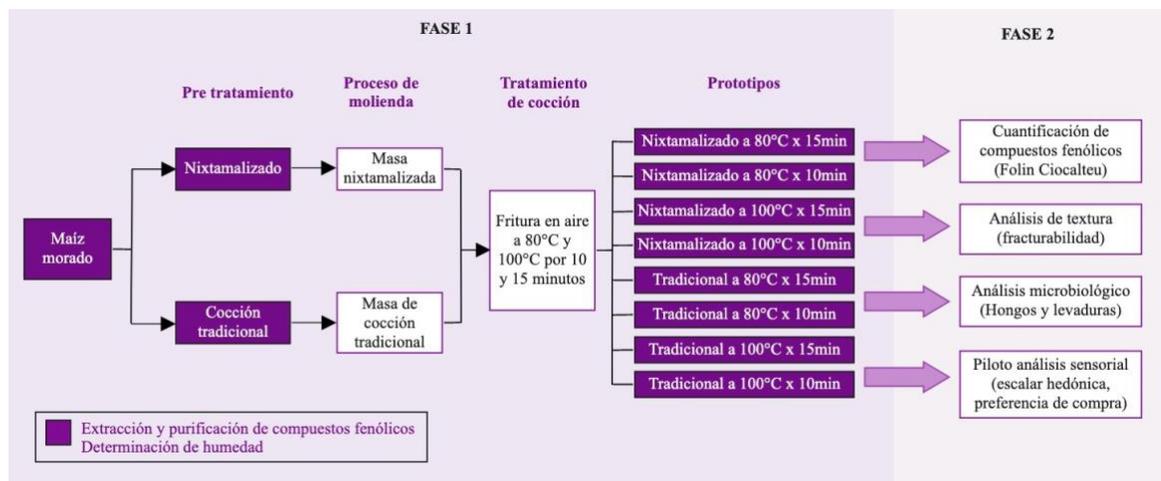


Figura 2. Diseño metodológico de la fase experimental.

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Muestra de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación es el maíz morado y su uso como materia prima fuente de compuestos fenólicos, para desarrollar un alimento tipo snack con potencial funcional. El maíz morado utilizado se compró en la plaza de mercado de Paloquemao en Bogotá Colombia. Posterior a la recepción de la materia prima, se almacenó a -40 °C hasta la elaboración de las tortillas chips. Una vez realizada la cuantificación de compuestos fenólicos las muestras de las tortillas y de los extractos de compuestos fenólicos se almacenaron a -40 °C.

5.2.2. Variables de estudio

Las variables de estudio de la presente investigación se presentan a continuación:

Tabla 3. Variables de estudio

Variable	Tipo	Medición / método	Unidades
Compuestos fenólicos	Dependiente	Folin Ciocalteu	Equivalentes de ácido gálico mg GAE/g
Pre tratamiento del maíz morado	Independiente	Nixtamalizado o no nixtamalizado	N/A
Temperaturas de cocción	Independiente	Termómetro	Grados Celsius
Tiempos de cocción	Independiente	Cronometro	Minutos

Fuente: Elaboración propia

5.3. Métodos

5.3.1. Proceso de elaboración de tortillas chips

Se elaboraron tortillas chips de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado. La nixtamalización del maíz se desarrolló con base en la metodología propuesta por Bello, *et al.*, (2015), con algunas modificaciones. Se ubicaron 300 g de granos de maíz morado en una olla pequeña de acero inoxidable con 1.5 L de agua destilada y 5250 mg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Luego las muestras se sometieron a ebullición a 95 °C por 44 minutos, al culminar este tiempo se dejó en reposo en una habitación oscura a temperatura ambiente durante 16 horas. Al finalizar este período de tiempo se realizó un lavado de las muestras dos veces para eliminar los residuos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presentes en la muestra. Para la cocción tradicional, se ubicaron 300 g de granos de maíz morado en una olla a presión con 1 L de agua a fuego medio durante 25 minutos.

Seguidamente en un molino convencional, se pasó a molienda cada muestra para lograr obtener una masa; se adicionó 5 mL de agua para formar una masa maleable, la cual se aplano con un rodillo hasta un grosor aproximado de 0.5 mm y se cortó con un molde para dar una forma triangular a los snacks. Para la cocción de las tortillas chips se utilizó una freidora de aire caliente (Oster CKSTAFLC-DM) a 80 °C 15 minutos, 80 °C 10 minutos, 100 °C 15 minutos y 100 °C 10 minutos. Es así como se obtienen las tortillas y se dejan en reposo a temperatura ambiente por 60 minutos.

5.3.2. Cuantificación de compuestos fenólicos totales

5.3.2.1.Extracción de compuestos fenólicos

Se pesó ~ 1.00 g (± 0.05) de muestra (maíz crudo, maíz con cocción tradicional, maíz nixtamalizado, prototipo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 de tortillas chips) finamente molida, se registró el peso, se depositó en un tubo falcon y se añadió 20 mL de solución 1 (85 % MeOH, 1.0 % ácido fórmico); seguidamente se agitó por 5 minutos en un agitador vórtex, se sonicó en un sonicador (BRANSON CPX5800H-E) por 30 minutos, y después se centrifugó a 3500 rpm durante 5 minutos. Este proceso se repitió 5 veces o más, hasta que la solución sobrenadante y sólido se tornaron incoloros, y se colectó el sobrenadante en un tubo Falcon para cada muestra. Después, se secó el extracto de polifenoles en un rotavaporador hasta la sequedad (el baño de agua se mantuvo a < 40 °C), se re – solubilizó en 3 mL de solución 1 y se filtró con filtro PTFE 0.45 μ m. Finalmente se almacenó el extracto de polifenoles no purificado en un congelador a $- 40$ °C.

5.3.2.2.Purificación del extracto crudo de compuestos fenólicos

5.3.2.2.1. Activación de cartuchos de purificación

Se colocaron tubos de vidrio dentro de la gradilla del colector al vacío Visiprep™ SPE y se conectó el sistema a una bomba de vacío. Posteriormente se añadió 3 mL de metanol (no diluido) sin dejar secar la resina del cartucho por completo, se realizaron ajustes a la bomba de vacío para que los líquidos fluyeran lentamente a través de los cartuchos. Finalmente se añadió 3 mL de agua destilada dejando que fluyera lentamente por el cartucho.

5.3.2.2.2. Eliminación de interferentes

Se pipeteó 1 mL de extracto polifenólico en los cartuchos, luego se añadió 3 mL de solución 2 (2 % ácido fórmico en agua) seguido de 3 mL de solución 3 (95:5, H₂O:Metanol); luego se removieron los tubos de vidrio del colector al vacío

Visiprep™ SPE y se desecharon los eluyentes colectados. Por último, se colocaron nuevos tubos de falcon de 15 mL etiquetados para recolectar el extracto purificado.

5.3.2.2.3. Elusión de polifenoles purificados

Se agregaron 3 mL de solución 4 (0.5 % ácido fórmico en metanol), se llevaron los tubos con los eluyentes a un concentrador de muestras con Nitrógeno (< 40 °C) para secar el metanol. Finalmente, los residuos se re-solubilizaron en 1 mL de solución 5 (0.5 % ácido fórmico en H₂O).

5.3.3. Cuantificación de compuestos fenólicos totales con el método Folin – Ciocalteu

Se etiquetaron los tubos Eppendorf de 2 mL con el respectivo No. de calibración (ver Tabla 4) y código asignado a cada muestra.

Tabla 4. Curva de calibración

No.	Ácido Gálico (mg/mL)	Stock de Ácido Gálico (μL)	H ₂ O 18MΩ (μL)
0	0	0	1 000
1	0.05	50	950
2	0.10	100	900
3	0.20	200	800
4	0.40	400	600
5	0.60	600	400
6	0.80	800	200
7	1.00	1 000	0

Fuente: Waterhouse, (2002)

Se adicionó a cada uno de los tubos 20 μL de cada solución de punto estándar, blanco y extracto purificado de polifenoles, 1.580 mL de H₂O 18 MΩ, 100 μL de solución Folin – Ciocalteu y 100 μL de la solución de carbonato de sodio. Se incubaron los tubos bajo la oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas. Transcurrido este tiempo, se transfirieron 300 μL de cada contenido de los tubos en una placa de 96 pozos por triplicado; posteriormente se leyó la absorbancia a 765 nm en el lector UV-microplaca/espectrofotómetro. Finalmente se graficó la curva de calibración para los

estándares y se utilizó para determinar la concentración total de polifenoles reportada en equivalentes de ácido gálico (EAG) en mg/g, junto con la siguiente fórmula.

$$\left(\frac{Abs_{765} - b}{m}\right) * \left(\frac{VE (mL)}{SW (g)}\right) * DF * \left(\frac{100}{DMC}\right) \quad (1)$$

- b y m son la intersección y la pendiente de la curva de calibración
- VE: volumen del extracto (mL)
- SW: peso de la muestra (g)
- DF: factor de dilución
- DMC: contenido de materia seca

5.3.4. Análisis microbiológico

Se desarrolló con base en la metodología propuesta en la norma ISO 21527-1:2008, ISO 7218:2008. Para el análisis se pesaron 10 g (± 0.20) de cada prototipo de tortillas chips por triplicado y se homogenizaron en 90 mL de agua peptonada 1 % (3M™ Buffered Peptone Water Broth ISO). A partir del homogenizado de cada muestra se realizaron diluciones seriadas 1:10¹, 1:10² y 1:10³; se sembró por inmersión dispensando 1 mL de muestra en cajas de petri y posteriormente se añadieron 20 mL de Agar Rosa de Bengala. Se incubaron las cajas a 25 °C \pm 1 °C durante cinco días en una incubadora de 150 L (MRC, Laboratory Instruments, ref. DNI-150). El recuento de mohos y levaduras se expresó como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) sobre gramo (g) de los productos terminados, según la NTC – 1363.

5.3.5. Análisis de textura

Para el análisis de textura se siguió la metodología propuesta por Torres González *et al.*, (2015) con modificaciones. Se realizó mediante un texturómetro TVT 6700. La prueba de fracturabilidad se desarrolló mediante una compresión, utilizando la sonda cilíndrica inoxidable TVT 25mm, N673005; con un diámetro de 5 mm y 49 mm de

altura. La fracturabilidad de las tortillas chips se midió 24 horas después de su cocción. Las tortillas tenían un grosor aproximado de 0.5 mm.

5.3.6. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó a escala piloto con base en lo descrito por (Lawless & Heymann, 2010) por medio de un documento digital en un formulario de google. Se convocó a 25 consumidores, y se empleó una prueba escalar hedónica de 7 puntos (7: me gusta mucho; 6: me gusta moderadamente; 5: me gusta poco; 4: ni me gusta ni me disgusta; 3: me disgusta un poco; 2: me disgusta moderadamente; 1: me disgusta mucho) en la cual se midió los atributos de color, textura, sabor, aroma y aceptación general; en el mismo documento se realizó una prueba de actitud de compra y prueba de preferencia. Las muestras fueron presentadas a los consumidores en platos desechables codificados con tres números aleatorios y se distribuyeron de manera aleatoria para disminuir los errores que pueden influir en la respuesta del consumidor. Entre las muestras, cada consumidor debía tomar agua para limpiar el paladar.

5.4. Recolección de la información

Para la recolección de los datos de compuestos fenólicos totales se utilizó el gráfico de la curva de calibración en Excel (ver Anexo 1). Respecto a los datos del análisis de textura se utilizó el libro office Tex Calc. Por otro lado, para el análisis microbiológico se realizó la lectura de las placas y el recuento de colonias; finalmente en el análisis sensorial se recolectaron los datos por medio de una encuesta en los formularios de google (ver Anexo 2). Todos los datos se exportaron a excel.

5.5. Análisis estadístico

Para el análisis de datos, se utilizó un diseño factorial de dos factores completamente aleatorios para investigar el impacto del procesamiento, la estabilidad de los compuestos fenólicos durante cada tratamiento, simultáneamente. Todos los datos fueron reportados como media \pm error estándar de la media (DE) usando triplicados

para análisis de compuestos fenólicos en cada una de las etapas. El análisis estadístico se realizó por medio del software IBM SPSS Statistics, versión 27.0 (5725 – A54). Para el análisis de datos del análisis sensorial se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis por medio del software Excel versión 16.54.

6. RESULTADOS

6.1. Contenido de compuestos fenólicos totales en maíz crudo, nixtamalizado, a cocción tradicional y prototipos de tortillas chips.

Se utilizó una línea comercial de maíz morado en el desarrollo del producto. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para compuestos fenólicos totales.

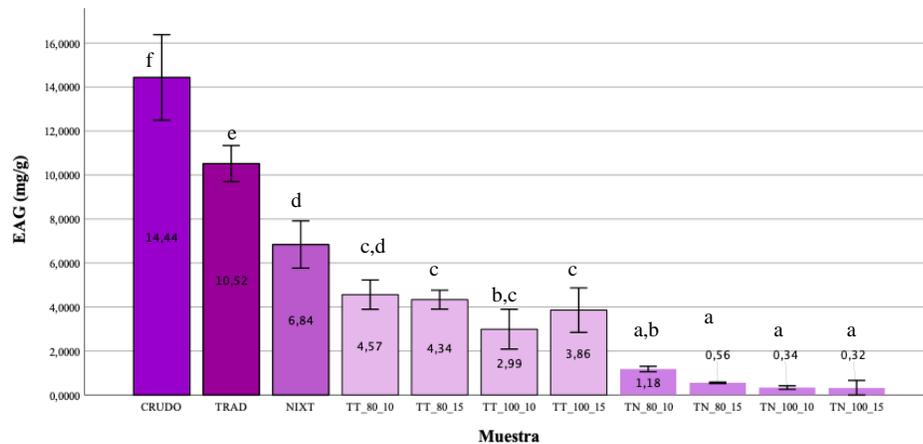


Figura 3. Diagrama de barras con desviación estándar del contenido de compuestos fenólicos totales^a (mg EAG/g) de las muestras

Los datos representan las medias \pm DE de n=3 observaciones independientes

^a Los valores sin letras en común son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Se observa que la muestra de maíz crudo reporta el mayor contenido con 14.44 mg EAG/g , mientras que la muestra TN_100_15 mostró el menor contenido con 0.32 mgEAG/g.

6.2. Análisis microbiológico de hongos y levaduras en los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado

La carga microbiana de hongos y levaduras en las muestras de las tortillas chips de maíz morado en un primer ensayo dieron resultados desfavorables, dando por resultado un incumplimiento de los requisitos microbiológicos establecidos en la NTC 1363 (Tabla 5). Esto debido a que se identificaron procesos incorrectos de buenas prácticas de manufactura (BPM) al almacenar el alimento antes de su análisis.

Tabla 5. Resultados del análisis de hongos y levaduras (UFC/g).

Muestra	Dilución 10^{-1}	Dilución 10^{-2}	Dilución 10^{-3}	Interpretación según NTC 1363
Totopos	220	200	<10	Incumple
nixtamalizados	30	<10	<10	
100 °C a 15 minutos	30	100	1 000	
Totopos	-	11 100	33 000	Incumple
nixtamalizados	-	8 200	11 000	
100 °C a 10 minutos	-	-	88 000	
Totopos	410	200	1 000	Incumple
nixtamalizados	1 270	1 400	1 000	
80 °C a 15 minutos	330	500	<10	
Totopos	-	-	180 000	Incumple
nixtamalizados	-	-	101 000	
80 °C a 10 minutos	-	-	103 000	
Totopos cocción	370	1 300	2 000	Incumple
tradicional 100 °C a	840	2 600	1 000	
15 minutos	-	3 500	1 000	
Totopos cocción	-	12 100	18 000	Incumple
tradicional 100 °C a	-	11 100	13 000	
10 minutos	-	5 200	13 000	
Totopos cocción	110	<10	<10	Incumple
tradicional 80 °C a	2 330	2 500	5 000	
15 minutos	600	400	2 000	
Totopos cocción	-	-	280 000	Incumple
tradicional 80 °C a	-	6 700	20 000	
10 minutos	-	-	544 000	

Por esta razón, se decidió realizar nuevamente el análisis microbiológico a las muestras de tortillas chips aplicando las BPM en cada proceso de su elaboración, dando como

resultado un producto que cumple con los requisitos microbiológicos establecidos por la NTC 1363 (Tabla 6).

Tabla 6. Repetición resultados del análisis de hongos y levaduras (UFC/g).

Muestra	Dilución 10 ⁻¹	Dilución 10 ⁻²	Dilución 10 ⁻³	Interpretación según NTC 1363
Totopos nixtamalizados 100 °C a 10 minutos	<10 10 <10	<10 <10 <10	<10 <10 <10	Cumple
Totopos nixtamalizados 80 °C a 15 minutos	110 <10 <10	100 <10 <10	<10 <10 <10	Cumple
Totopos cocción tradicional 100 °C a 10 minutos	30 <10 <10	<10 <10 <10	<10 <10 <10	Cumple
Totopos cocción tradicional 80 °C a 15 minutos	40 <10 <10	100 <10 <10	<10 <10 <10	Cumple

6.3. Fracturabilidad de los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado

Respecto a la fracturabilidad de los diferentes prototipos de tortillas chips, se encontró que aquella muestra que requirió mayor fuerza para su ruptura fue la muestra de cocción tradicional “TT_100_15” con un valor de 2.96 N y aquella que requirió menor fuerza fue “TN_80_10” con un valor de 1.92 N (Figura 4).

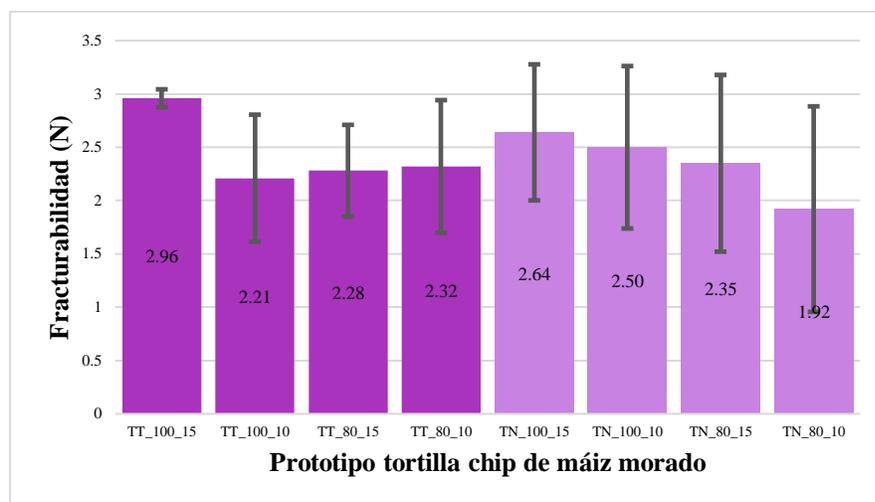


Figura 4. Diagrama de barras con desviación estándar de fracturabilidad por prototipo de tortillas chips de maíz morado nixtamalizado y de cocción tradicional. Los datos representan las medias \pm DE de n=3 observaciones independientes.

6.4. Contenido nutricional estimado de las tortillas chips de maíz morado nixtamalizadas y a cocción tradicional

El contenido de macronutrientes y micronutrientes de las tortillas chips se presentan con base en la información nutricional del maíz morado crudo y nixtamalizado reportada por Salinas Moreno *et al.*, (2017); Nascimento *et al.*, (2014), con un contenido bajo en sodio según los parámetros establecido en la Resolución 810 de 2021 (Tabla 7). Los valores se obtuvieron por medio de un balance de materia (Anexos 3,4).

Tabla 7. Información nutricional de las tortillas chips de maíz morado por 100g

Prototipo	Macronutrientes					Micronutrientes			
	Calorías (kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)	Sodio (mg)	Calcio (mg)	Hierro (mg)	Zinc (mg)
Nixtamalizadas	786	18	3	170	23	80	237	7.0	4.8
Cocción tradicional	546	13	3	118	16	80	17	4.9	3.3

6.5. Análisis sensorial de los prototipos de tortillas chips a base de maíz morado

En la prueba escalar hedónica realizada se encontró que de las tortillas chips de cocción tradicional la muestra con mayor puntaje en color, sabor, aroma y aceptación general

fue aquella con una temperatura de cocción de 100 °C y tiempo de 10 minutos; sin embargo, la muestra de 80 °C por 15 minutos tuvo el mayor puntaje en textura y sabor. Mientras que aquella muestra con menor puntaje de color, sabor, aroma y aceptación general fue a 80 °C por 10 minutos. Por otro lado, respecto a las tortillas chips nixtamalizadas aquella con mayor puntaje de color, textura, sabor, aroma y aceptación general fue a 100 °C por 15 minutos; y las muestras con puntajes más bajos fueron a 100 °C por 10 minutos y a 80 °C por 10 minutos (Figura 5). Aun así, al realizar la prueba de Kruskal Wallis se encontró que se acepta la H_0 , es decir que todas las muestras son iguales tanto las nixtamalizadas como las de cocción tradicional.

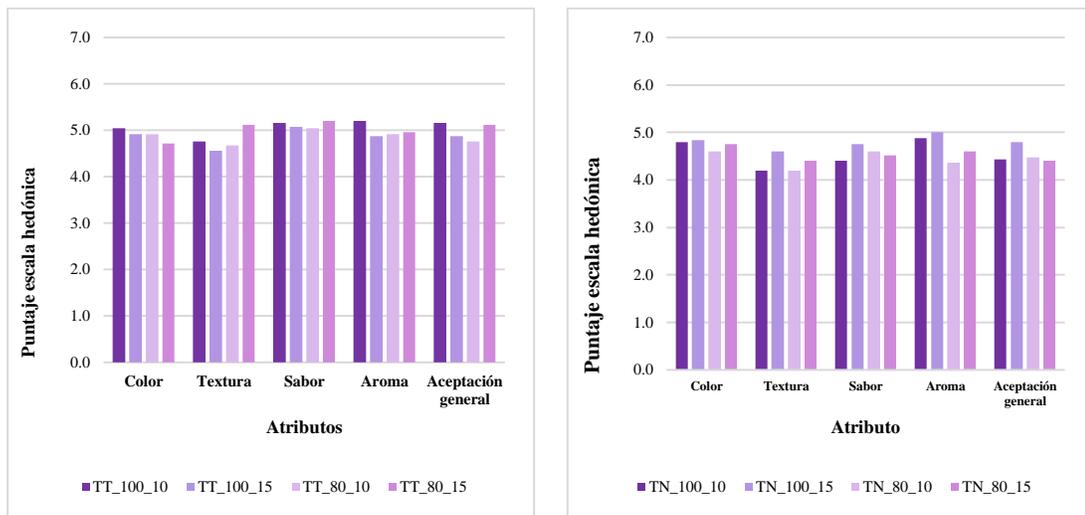


Figura 5. Diagrama de barras prueba escalar hedónica de las tortillas chips de cocción tradicional y nixtamalizadas.

Cabe destacar, que el tiempo y temperatura con mayor puntaje fue de 100 °C y 10 minutos para ambas muestras. Al comparar las tortillas chips de mayor puntaje tanto de cocción tradicional como nixtamalizadas, se encontró que la muestra a cocción tradicional tiene mayores puntajes en los atributos evaluados (Figura 6).

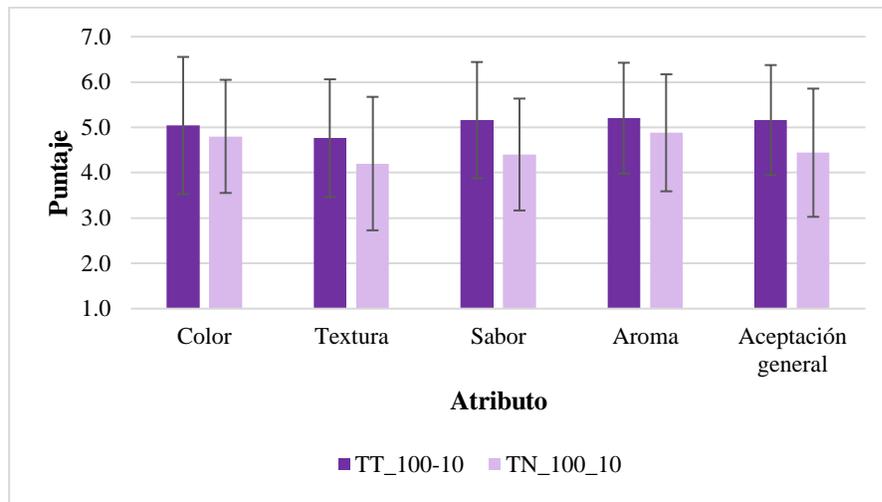


Figura 6. Diagrama de barras comparativo entre las tortillas chips cocción tradicional a 100 °C por 10 minutos y tortillas chips nixtamalizadas a 100 °C por 10 minutos.

En la prueba de actitud de compra se evidenció que, al comparar los tipos de cocción, un mayor porcentaje de consumidores compraría las muestras a cocción tradicional; y dentro de estas muestras la de mayor porcentaje de actitud de compra (72 %) fue “TT_80_15”, mientras que la de menor porcentaje (48 %) fue “TT_100_15”. En cuanto a las muestras nixtamalizadas, las de mayor porcentaje de actitud de compra (36 %) fueron “TN_80_10” y “TN_80_15”. Es importante mencionar, que las muestras con menor temperatura de cocción fueron aquellas que tuvieron mayor porcentaje de actitud de compra para ambos tipos de cocción (Figura 7).

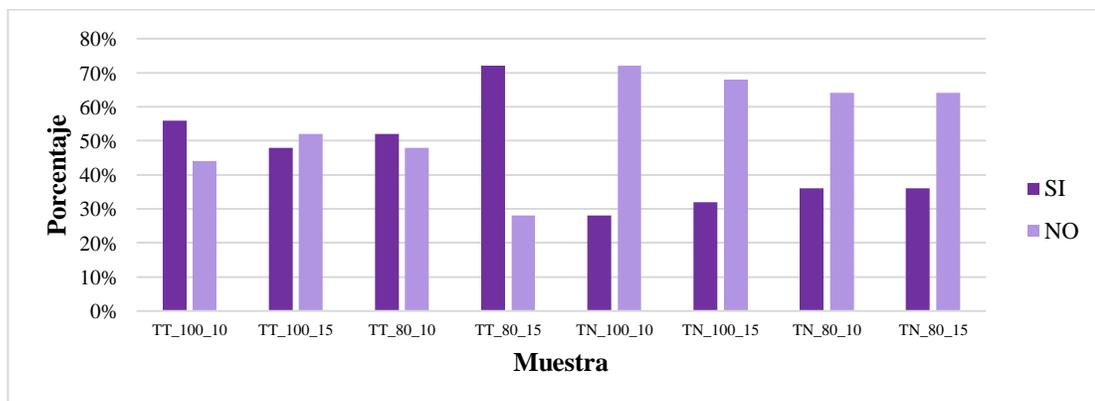


Figura 7. Diagrama de barras de la prueba de actitud de compra de las tortillas chips

En la prueba de preferencia, la muestra a cocción tradicional con mayor porcentaje de preferencia fue “TT_80_15”, mientras que las nixtamalizadas fue “TN_80_15” (Figura 8), coincidiendo tanto en el tiempo como en la temperatura de fritura en aire caliente.

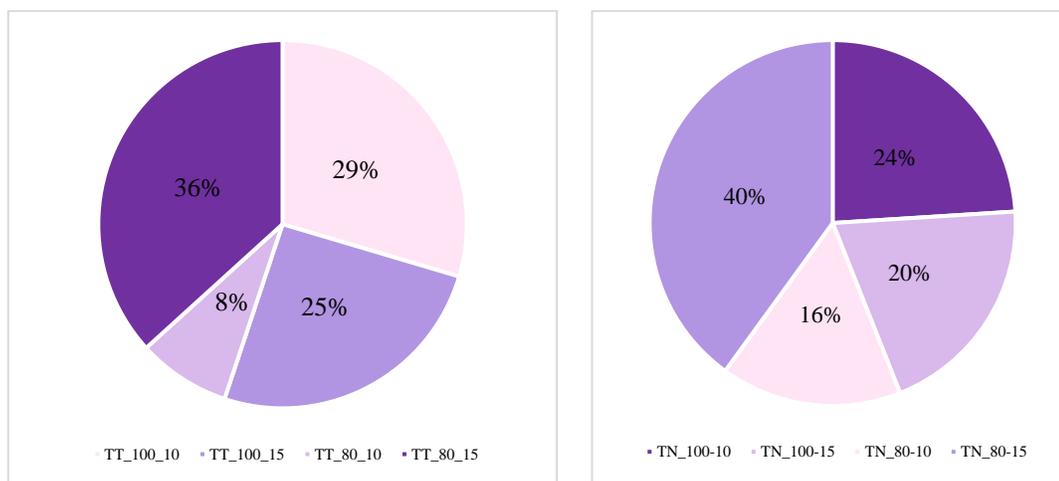


Figura 8. Resultados de la prueba de preferencia aplicada a las tortillas chips a cocción tradicional y nixtamalizadas

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Compuestos fenólicos totales en las diferentes etapas del proceso

El análisis de ANOVA para el contenido de fenoles reportó un $p = 0.001$ (a un nivel de significancia del 5%) por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de las muestras son diferentes. De aquí, se pudo observar que la cantidad de compuestos fenólicos totales en el grano de maíz morado crudo difiere de lo reportado por Quispe Jacobo *et al.*, (2011) y Gorriti Gutierrez *et al.*, (2009), Del Pozo Insfran *et al.*, (2007) con un contenido significativamente menor al reportado; pero similar al reportado por Urias Lugo *et al.*, (2015), Álvarez Mex *et al.*, (2013). Esta diferencia sugiere que es indispensable el conocimiento del origen exacto de la materia prima utilizada, dado que, los factores edafoclimáticos tales como: temperatura, humedad relativa, luminosidad, precipitación, altitud, características del suelo pueden influir

directamente en la calidad nutricional del maíz. Por otro lado, la metodología utilizada en estos estudios difiere con la utilizada en la presente investigación, en determinados aspectos como lo son el método de extracción, purificación y cuantificación variando los volúmenes, la curva de calibración, los reactivos y materiales utilizados. Además, las condiciones de almacenamiento de la materia prima pudieron haber influido en estos resultados.

Como se ha mencionado anteriormente, las antocianinas son compuestos muy inestables y susceptibles a su degradación por un aumento en la temperatura (Flores Aguilar *et al.*, 2018), es por esto que se encontraron valores menores tanto en el maíz morado cocido a presión como en el nixtamalizado. Respecto al proceso de nixtamalización, los valores encontrados tanto en la masa del maíz (maíz nixtamalizado molido) como en las tortillas chips, fueron mayores a los reportados por Lopez Martinez *et al.*, (2011); esto debido a que en su metodología se utilizó harina de maíz morado lo cual agrega una operación térmica más al proceso de elaboración. En otro estudio realizado por Bello Pérez *et al.*, (2015) la cantidad de compuestos fenólicos reportada en la masa fue similar; sin embargo, difiere en las tortillas debido al método de cocción empleado (a la plancha); lo cual permite señalar que la fritura en aire caliente induce a una mayor pérdida de fenoles. Pero, en comparación con las tortillas chips estudiadas por De La Parra *et al.*, (2007) las cuales fueron sometidas a fritura en aceite, se observa que hay una menor pérdida de fenoles en la fritura en aire caliente.

Al comparar la cocción tradicional con la nixtamalización, se observa que hay una mayor retención de compuestos fenólicos en la cocción tradicional, esto se puede explicar por la eliminación del pericarpio en el nixtamal, siendo una de las partes del grano de maíz que con una alta cantidad de compuestos fenólicos. Por tal razón, aunque en el proceso de nixtamalización al agregar Ca(OH)_2 se incrementa el contenido nutricional de los productos, aumentando el aporte de calcio y la biodisponibilidad de la proteína; no se consideraría un proceso ideal para favorecer la retención de fenoles.

7.2. Fracturabilidad de las tortillas chips

La fracturabilidad de las tortillas chips mostró resultados desfavorables respecto a la textura instrumental del alimento, específicamente de la fuerza de ruptura, debido a que al ser catalogado como un producto tipo snack debería tener valores mayores a los obtenidos. En un estudio realizado por Liu *et al.*, (2020) en el que se realizaron papas con fritura en aire se obtuvieron resultados entre 24.21 – 656.23 N, valores que variaron en función del nivel y patrón relleno, mientras que en un estudio realizado por Torres González *et al.*, (2015) con galletas se obtuvieron valores de 3.58 – 10.27 kg.m².s² valores que cambiaron en función del espesor del producto; por otro lado Salinas, (2011) en un estudio realizado con snacks a base de maíz reportaron valores de 7 – 10.2 N mm, los cuales son mayores a los obtenidos en la presente investigación.

En cuanto a los datos de fracturabilidad de las tortillas chips de maíz morado, estos mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con un valor de $p=0,298$, y la muestra que requirió mayor fuerza para empezar a quebrarse fue la tradicional a 100 °C, probablemente esto se deba a la presencia del pericarpio en el producto.

7.3. Hongos y levaduras en las tortillas chips

La calidad microbiológica de las tortillas chips es aceptable para el consumo humano según lo establecido en la NTC 1363. Sin embargo, es importante evaluar el porque uno de los triplicados obtuvo mínimos resultados de hongos y levaduras; ya que en las tortillas nixtamalizadas se reduce el pH y por ende en esas condiciones no debería haber crecimiento de hongos ni levaduras. Resultados similares reportó Sánchez Readi, (2013) en unos snacks desarrollados a base de naranja, en los cuales hubo crecimiento mínimo de hongos y levaduras que se puede explicar porque la temperatura de deshidratación y la actividad de agua son un factor importante en la proliferación de estos microorganismos. Es importante mencionar que en el manejo de estos tipos de

alimentos se debe cumplir con las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para obtener un producto inocuo, ya que como se evidenció tiene una alta susceptibilidad a contaminación por microorganismos.

7.4. Contenido nutricional de las tortillas chips de maíz morado

Respecto a lo reflejado en la información nutricional estimada (Tabla 7) de los productos, se evidencia que las tortillas nixtamalizadas tienen mayor densidad nutricional comparado con las de cocción tradicional. Sin embargo, como se ha mencionado a lo largo del presente estudio, las tortillas nixtamalizadas no son una fuente significativa de compuestos fenólicos que es lo que se está buscando.

Por otro lado, aunque no se ha establecido con exactitud una cantidad de ingesta mínima requerida de compuestos fenólicos, se conoce que la ingesta media de polifenoles de diferentes poblaciones es: 1193.0 mg/día (franceses), 863.0 mg/día (finlandeses), 663.7 mg/día (sicilianos), 680.0 mg/día (españoles). Reportando una asociación entre un consumo de polifenoles procedentes de la dieta > 600 mg/día con una mayor concentración de polifenoles en la orina, y a su vez, con una reducción de la mortalidad en poblaciones mayores de 65 años (Navarro González *et al.*, 2017).

De manera que, las tortillas chips de maíz morado a cocción tradicional podrían considerarse como un alimento potencialmente funcional, respecto a su aporte de compuestos fenólicos en la dieta y su papel en la prevención y tratamiento de ENT.

7.5. Calidad sensorial de las tortillas chips

El análisis sensorial piloto realizado con el propósito de conocer la percepción del producto por parte de los consumidores, obtuvo puntajes entre un rango de 4 – 5 puntos en los atributos evaluados, lo que equivale a un grado de aceptación “me gusta un poco” y “ni me gusta ni me disgusta”. Lo cual indica que se debe mejorar el producto tanto en color, como en olor, sabor, textura y aroma; con el fin de obtener resultados con un

grado más alto de aceptación para el consumidor. Las muestras de mayor preferencia para los consumidores tanto nixtamalizadas como de cocción tradicional fueron aquellas preparadas a 100 °C durante 10 minutos, lo cual muestra que a una temperatura mayor con un tiempo mínimo puede haber buena aceptación y estos deberían ser los prototipos contemplados para reevaluar sus características organolépticas.

Por otro lado, los resultados de textura se pudieron ver influenciados por el tiempo de reposo de los mismos, ya que se elaboraron 1 hora antes y aun conservaban una textura blanda no característica de los alimentos tipo snack. En el color de los prototipos de cocción tradicional se obtuvieron resultados mayores en comparación a los nixtamalizados, debido a que estos aún conservan el color característico del maíz morado, mientras que los nixtamalizados se tornan oscuros con un color café. Respecto al sabor, también hubo mayor aceptación en las tortillas de cocción tradicional, lo cual puede verse influenciado porque el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ otorgaba un sabor peculiar en las tortillas nixtamalizadas que no suele ser usual para los consumidores Colombianos.

En relación a la prueba de actitud de compra la muestra con mayor porcentaje (72 %) fue la tortilla chip tradicional a 80 °C por 15 minutos. Lo anterior resulta positivo para la presente investigación, ya que como se mencionó anteriormente las tortillas chips tradicionales son las que retienen mayor cantidad de compuestos fenólicos y las cuales se podrían considerar como un producto con potencial funcional.

8. CONCLUSIONES

El tipo de procesamiento mostró tener un efecto sobre los compuestos fenólicos totales; en la nixtamalización hay una mayor pérdida, pese a ser un método utilizado para aumentar el valor nutricional de los alimentos, mientras que en la cocción tradicional hay mayor retención de compuestos fenólicos.

El método de cocción utilizado, fritura en aire, favoreció una menor pérdida de compuestos fenólicos en comparación con el método de fritura tradicional en aceite. El tiempo y temperatura que favoreció una mayor retención de compuestos fenólicos fue a 80 °C por 10 minutos, tanto en las tortillas chips nixtamalizadas como en las tortillas chips de cocción tradicional.

Se encontró que en una porción de 25 g de tortillas chips tradicionales hay 74.8 – 114.3 mg EAG, lo cual puede ser una cantidad significativa que aporte en la prevención de ENT.

Las tortillas chips a base de maíz morado se consideran un producto apto para consumo el cual cumple con los requisitos establecidos por la normatividad colombiana NTC 1363.

9. RECOMENDACIONES

Para posteriores estudios se recomienda:

- Analizar el contenido de antocianinas en las tortillas chips, debido a que con este valor se podría evaluar específicamente el potencial funcional del producto terminado.
- Realizar un estudio que determine el impacto del uso de otras técnicas de procesamiento, que mejoren la textura y contribuyan en la retención de compuestos fenólicos.
- Realizar un estudio que utilice un modelo de bioaccesibilidad *in vitro* para este producto.
- Realizar estudios de vida útil de las tortillas chips a base de maíz morado.

10. REFERENCIAS

- Álvarez Mex, R., Fernández Bolívar, N., Quen Garma, P., Heredia Tut, J., & Guillén Romero, K. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(6), 558–571. www.blacpma.usach.cl
- Anayansi, E.-A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Barrón-Hoyos, J. M., Figueroa-Cárdenas, J. de D., & López-Cervantes, J. (2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 429–437. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Aryee, A. N. A., & Boye, J. I. (2015). Role and Importance of Health Claims in the Nutraceutical and Functional Food Markets. In *Nutraceutical and Functional Food Processing Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118504956.ch12>
- Ata Ximello, L. E., & Bravo González, L. A. (2015). Fritura profunda. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 4(7). <https://doi.org/10.29057/icea.v4i7.204>
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., Utrilla-Coello, R. G., Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Nutraceutic aspects of pigmented maize: digestibility of carbohydrates and anthocyanins. *Agrociencia*, 50(8), 1041–1063. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801041&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Bello Pérez, L. A., Flores Silva, P. C., Camelo Méndez, G. A., Paredes López, O., & De Figueroa Cárdenas, J. D. (2015). Effect of the nixtamalization process on the dietary fiber content, starch digestibility, and antioxidant capacity of blue maize tortilla. *Cereal Chemistry*, 92(3), 265–270. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-14-0139-R>
- Beltrán de Heredia, M. R. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*, 30(3),

- 12–14. <http://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionales-X0213932416546681>
- Benítez Cardoza, C. G., & Perea Pfeiffer, H. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*, 15–20. <https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf#page=19>
- Bordignon-Luiz, M. T., Gauche, C., Gris, E. F., & Falcão, L. D. (2007). Colour stability of anthocyanins from Isabel grapes (*Vitis labrusca* L.) in model systems. *LWT - Food Science and Technology*, 40(4), 594–599. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2006.02.022>
- David, C., Tovar, G., Sthepani, B., Colonia, O., Grande, C. D., & Químico, T. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia - Corn Processing and Production in Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11(1).
- De La Parra, C., Serna Saldivar, S. O., & Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4177–4183. <https://doi.org/10.1021/JF063487P>
- Del Pozo Insfran, D., Serna Saldivar, S. O., Brenes, C. H., & Talcott, S. T. (2007). Polyphenolics and Antioxidant Capacity of White and Blue Corns Processed into Tortillas and Chips. *Cereal Chemistry*, 84(2), 162–168. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-2-0162>
- Dueñas Martín, M., Iriondo-Dehond, A., Dolores, M., & Castillo Bilbao, D. (2018). Efecto de los compuestos fenólicos en el metabolismo de los carbohidratos. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 24(1).
- Fernandes, I., Marques, C., Évora, A., Faria, A., Calhau, C., Mateus, N., & de Freitas, V. (2019). Anthocyanins: Nutrition and Health. In *Reference Series in Phytochemistry*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_79
- Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Ismail, K. A., & Dabbour, M. (2021). Optimization of the frying Temperature and Time for Preparation of Healthy Falafel Using Air Frying Technology. *Foods*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112567>

- Flores Aguilar, E., Flores Rivera, E. del P., Flores Aguilar, E., & Flores Rivera, E. del P. (2018). Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa* sp). *Información Tecnológica*, 29(2), 175–184. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200175>
- Fuentes Berrio, L., Acevedo Correa, D., & Gelvez Ordoñez, M. (2015). Alimentos funcionales: Impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad Colombiana. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)140-149)
- Gimeno Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm*, 23(6), 80–84. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>
- Gorriti Gutierrez, A., Arroyo Acevedo, J., Negron Ballarte, L., Jurado Teixeira, B., Purizaca Llajaruna, H., Santiago Aquisé, I., Taype Espinoza, E., & Quispe Jacobo, F. (2009). Anthocyanins, total phenolic compounds and antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L) cobs: Extraction method | Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 8(6), 509–518.
- Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S., & Paucar-Menacho, L. M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211–217. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2014.04.05>
- Gwartz, J. A., & Nieves Garcia-Casal, M. (2014). Processing maize flour and corn meal food products. *Ann. N.Y. Acad. Sci*, 1312(1), 66–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>
- Jáuregui Ana María, M., & Escudero Fernando, R. (2007). *Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales - Phenolics compounds of the diet and his biomedical properties*. 7, 23.
- Kita, A., Bakowska-Barczak, A., Hamouz, K., Kułakowska, K., & Lisińska, G. (2013).

- The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(2), 169–175. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2013.09.006>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food* (D. R. Heldman (ed.); 2nd ed.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Liu, Z., Dick, A., Prakash, S., Bhandari, B., & Zhang, M. (2020). Texture Modification of 3D Printed Air-Fried Potato Snack by Varying Its Internal Structure with the Potential to Reduce Oil Content. *Food and Bioprocess Technology*, 13(3), 564–576. <https://doi.org/10.1007/S11947-020-02408-X/FIGURES/8>
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.10.010>
- Lopez Martinez, L. X., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2011). Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 66(1), 41–47. <https://doi.org/10.1007/S11130-011-0210-Z>
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L., Chávez-Cabrera, A., Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A., & Chávez-Cabrera, A. (2020). Purple corn (*Zea mays* L.) crop in the Peruvian Highlands: Adaptation and identification of high-yield and high anthocyanin content cultivars. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291–299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Méndez Delgado, C. A. (2020). *Retención de carotenoides en híbridos experimentales de maíz biofortificado durante la elaboración de tortillas chips*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Encuesta Nacional de la Situación Nutricional, 335 (2015).
- Nascimento, A. C., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A. S., Gimenez, A., Lobo, M., Samman, N., & Castanheira, I. (2014). Characterisation

- of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*, 148, 420–426. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.155>
- Navarro González, I., Periago, M. J., García Alonso, F. J., Navarro González, I., Periago, M. J., & García Alonso, F. J. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320–326. <https://doi.org/10.14306/RENHYD.21.4.357>
- OMS. (2018). *OMS Alimentación sana*. WHO - World Health Organization. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., D.Violic, A., & Marathée, J. P. (2001). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. <http://www.fao.org/3/x7650s/x7650s08.htm>
- Paliyath, G., & Jackson, C. C. (2011). Functional Foods And Nutraceuticals. In *Functional Foods, Nutraceuticals, and Degenerative Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1002/9780470960844.ch2>
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014a). Phenolic compounds in food. *Bolivian Journal of Chemistry*, 31(2), 68–81.
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014b). PHENOLIC COMPOUNDS IN FOOD. *Bolivian Journal of Chemistry*, 31(2), 68–81.
- Porras Loaiza, A. P., & López Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 121–134. [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf)
- Quispe Jacobo, F., Arroyo Condorena, K., & Gorriti Gutiérrez, A. (2011). Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (*Zea mays* L.) en Arequipa - Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(3),

205–217. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Rabanal-Atalaya, M., Medina-Hoyos, A., Rabanal-Atalaya, M., & Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>

Rojano, M. B., Isabel, I., Zapata, C., Farid, C., & Cortes, B. (2012). Estabilidad de antocianinas y valores de capacidad de absorbanza de radicales oxígeno (ORAC) de extractos acuosos de corozo (*Bactris guineensis*). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(3), 244–255. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962012000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Rojas, P. (2020). *Los compuestos fenólicos, esos pequeños desconocidos*. Universidad Autónoma de Madrid. <https://cobcm.net/blogcobcm/2021/02/22/compuestos-fenolicos-desconocidos/>

Salinas Moreno, Y., Hernández Martínez, V., Trejo Téllez, L. I., Ramírez Díaz, J. L., Iñiguez Gómez, O., Salinas Moreno, Y., Hernández Martínez, V., Trejo Téllez, L. I., Ramírez Díaz, J. L., & Iñiguez Gómez, O. (2017). Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1483–1496. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000701483&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Salinas, N. (2011). Characterization extruded snacks of taro-corn enriched with partially refined palm oil as a functional ingredient. *An Venez Nutr*, 24(2), 72–77.

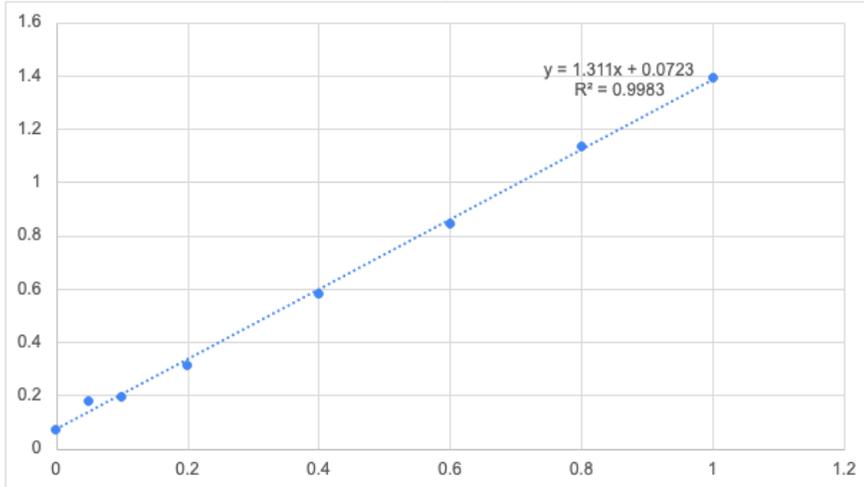
Sánchez Readi, T. (2013). *Diseño y elaboración de un snack saludable de naranja para escolares* [Universidad de Chile]. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148288/Readi-Diseño_y_elaboración_\(2013\).pdf?sequence=1](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148288/Readi-Diseño_y_elaboración_(2013).pdf?sequence=1)

Sepúlveda, C. T., Zapata, J. E., Sepúlveda, C. T., & Zapata, J. E. (2019). Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y

- la Actividad Antioxidante del Extracto de Bixa orellana L. *Información Tecnológica*, 30(5), 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
- Torrenegra A, E. M., Granados C, C., Acevedo C, D., Guzmán C, L. E., Alvarez C, I., & Padilla C, N. (2013). CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BOLLO LIMPIO Y DE MAZORCA EN VILLANUEVA BOLIVAR-COLOMBIA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2).
- Torres González, J. D., Torres Gallo, R., Acevedo Correa, D., & Gallo García, L. A. (2015). Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. *Vector*, 10, 14–25. http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector10_3.pdf
- Tsao, R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2, 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
- Urias Lugo, D. ., Heredia, J., Serna Saldivar, S. ., & Valdez Torres, J. (2015). Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Food*, 13(3), 336–339. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.980324>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2018). Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Waterhouse, A. L. (2002). Determination of Total Phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 6(1), 11.1.1-11.1.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.FAI0101S06>

11. ANEXOS

Anexo 1. Curva de calibración



Anexo2. Encuesta del análisis sensorial

Sección 1 de 3

Análisis sensorial de totopos de maíz morado (2)

A continuación encontrará una serie de preguntas correspondientes al análisis sensorial que se enmarca en el trabajo de grado "Retención de compuestos fenólicos en la elaboración de un alimento tipo snack con potencial funcional a base de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado".

La prueba le tomará un tiempo estimado de 8 minutos. Teniendo en cuenta que este es un ejercicio académico y con base en la Ley 1581 de 2012 "Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales", sus respuestas serán confidenciales y los resultados serán reportados para su posterior análisis y uso netamente académico, le agradecemos responder de manera sincera.

Si decide participar por favor marque "sí".

111

¿Acepta participar?

Sí

No

Evaluación de color, textura, aroma, sabor y aceptación general

Tiene 4 muestras codificadas con tres números cada una.

1. Deguste las muestras en el orden indicado y califique cada uno de los atributos según la escala de 7 puntos que se presenta a continuación.
2. En el intermedio de cada prueba tome un poco de agua y manténgalo en su boca hasta que pierda el sabor de la muestra. A continuación, pruebe la siguiente hasta completar las ocho.
3. Entre una muestra y otra intente consignar su primera impresión, no vuelva sobre las muestras ya evaluadas.
3. Seguido de ello por favor responda la pregunta correspondiente a una prueba de actitud de compra.

Escala de 7 puntos

VALOR	GRADO DE ACEPTACIÓN
7	Me gusta mucho
6	Me gusta moderadamente
5	Me gusta poco
4	Ni me gusta ni me disgusta
3	Me disgusta un poco
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

Califique la muestra 199 según sus atributos *

	7	6	5	4	3	2	1
Color	<input type="checkbox"/>						
Textura	<input type="checkbox"/>						
Sabor	<input type="checkbox"/>						
Aroma	<input type="checkbox"/>						
Aceptació...	<input type="checkbox"/>						

¿Compraría el producto que se le esta presentando? (199) *

- Sí
- No

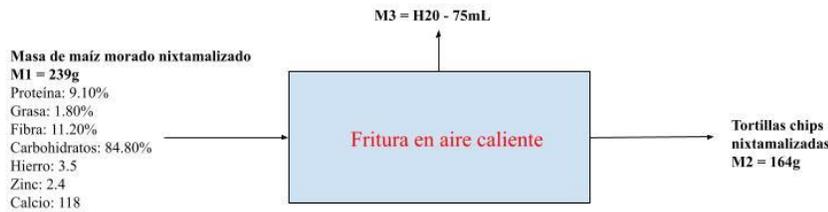
Prueba de preferencia

Descripción (opcional)

¿Cuál muestra le gustó más?

- 199
- 739
- 623
- 301

Anexo 3. Balance de materia de tortillas chips nixtamalizadas



Balance global
 $M1 = M2 + M3$

Balance composicional

Proteína

$M1 (Prot1) = M2 (Prot2)$
 $Prot2 = M1 (Prot1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.091) = 164\text{g} (Prot2)$
 $Prot2 = 29.94 / 164\text{g}$
 $Prot2 = 0.18 * 100 = 18.26\text{g}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 4.6g

Fibra

$M1 (Fibra1) = M2 (Fibra2)$
 $Fibra2 = M1 (Fibra1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.112) = 164\text{g} (Fibra2)$
 $Fibra2 = 36.85 / 164\text{g}$
 $Fibra2 = 0.23 * 100 = 22.47\text{g}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 5.6g

Grasa

$M1 (Grasa1) = M2 (Grasa2)$
 $Grasa2 = M1 (Grasa1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.018) = 164\text{g} (Grasa2)$
 $Grasa2 = 5.92 / 164\text{g}$
 $Grasa2 = 0.04 * 100 = 3.61\text{g}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 0.9g

Hierro

$M1 (Fe1) = M2 (Fe2)$
 $Fe2 = M1 (Fe1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.035) = 164\text{g} (Fe2)$
 $Fe2 = 11.52 / 164\text{g}$
 $Fe2 = 0.07 * 100 = 7.02\text{mg}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 1.8mg

Calcio

$M1 (Ca1) = M2 (Ca2)$
 $Ca2 = M1 (Ca1) / M2$
 $329 \text{ g} (1.18) = 164\text{g} (Ca2)$
 $Ca2 = 388.22 / 164\text{g}$
 $Ca2 = 2.37 * 100 = 236.72\text{mg}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 59.2mg

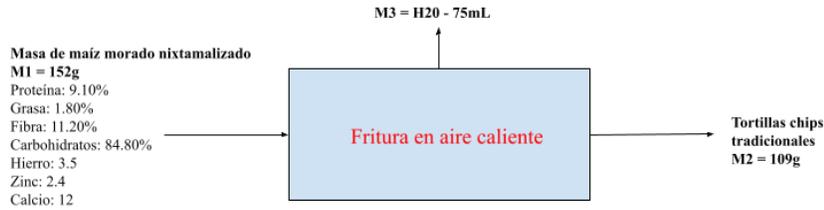
CHOS

$M1 (Chos1) = M2 (Chos2)$
 $Chos2 = M1 (Chos1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.848) = 164\text{g} (Chos2)$
 $Chos2 = 278.99 / 164\text{g}$
 $Chos2 = 1.70 * 100 = 170.1\text{g}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 42.5g

Zinc

$M1 (Zn1) = M2 (Zn2)$
 $Zn2 = M1 (Zn1) / M2$
 $329 \text{ g} (0.024) = 164\text{g} (Zn2)$
 $Zn2 = 7.90 / 164\text{g}$
 $Zn2 = 0.05 * 100 = 4.81\text{g}/100\text{g}$
 En porción de 25g = 1.2mg

Anexo 4. Balance de materia de tortillas chips cocción tradicional



Balance global
 $M1 = M2 + M3$

Balance composicional

Proteína

$M1 (Prot1) = M2 (Prot2)$
 $Prot2 = M1 (Prot1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.091) = 109 \text{ g} (Prot2)$
 $Prot2 = 13.83 / 109 \text{ g}$
 $Prot2 = 0.13 * 100 = 12.67 \text{ g}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 3.2g

Fibra

$M1 (Fibra1) = M2 (Fibra2)$
 $Fibra2 = M1 (Fibra1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.112) = 109 \text{ g} (Fibra2)$
 $Fibra2 = 17.02 / 109 \text{ g}$
 $Fibra2 = 0.16 * 100 = 15.62 \text{ g}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 3.9g

Grasa

$M1 (Grasa1) = M2 (Grasa2)$
 $Grasa2 = M1 (Grasa1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.018) = 109 \text{ g} (Grasa2)$
 $Grasa2 = 2.74 / 109 \text{ g}$
 $Grasa2 = 0.03 * 100 = 2.51 \text{ g}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 0.6g

Hierro

$M1 (Fe1) = M2 (Fe2)$
 $Fe2 = M1 (Fe1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.035) = 109 \text{ g} (Fe2)$
 $Fe2 = 5.32 / 109 \text{ g}$
 $Fe2 = 0.05 * 100 = 4.88 \text{ mg}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 1.2mg

Calcio

$M1 (Ca1) = M2 (Ca2)$
 $Ca2 = M1 (Ca1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.12) = 109 \text{ g} (Ca2)$
 $Ca2 = 18.24 / 109 \text{ g}$
 $Ca2 = 0.17 * 100 = 16.73 \text{ mg}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 4.2mg

CHOS

$M1 (Chos1) = M2 (Chos2)$
 $Chos2 = M1 (Chos1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.848) = 109 \text{ g} (Chos2)$
 $Chos2 = 128.90 / 109 \text{ g}$
 $Chos2 = 1.18 * 100 = 118.25 \text{ g}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 29.6g

Zinc

$M1 (Zn1) = M2 (Zn2)$
 $Zn2 = M1 (Zn1) / M2$
 $152 \text{ g} (0.024) = 109 \text{ g} (Zn2)$
 $Zn2 = 3.65 / 109 \text{ g}$
 $Zn2 = 0.03 * 100 = 3.34 \text{ g}/100 \text{ g}$
 En porción de 25g = 0.8mg