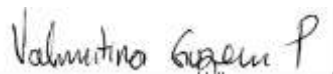


**EFFECTO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DEL MAÍZ MORADO SOBRE LA  
DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL ALMIDÓN UTILIZANDO AREPAS TÍPICAS  
COLOMBIANAS COMO ALIMENTO MODELO**

ANNY VALENTINA PLAZAS SÁNCHEZ

VoBo: 

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA  
Bogotá, D. C. (18 Noviembre 2021)

**EFFECTO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DEL MAÍZ MORADO SOBRE LA  
DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL ALMIDÓN UTILIZANDO AREPAS TÍPICAS  
COLOMBIANAS COMO ALIMENTO MODELO**

ANNY VALENTINA PLAZAS SÁNCHEZ

**TRABAJO DE GRADO**

Presentado como requisito parcial para optar el título de

Nutricionista Dietista

Andrés Giraldo Toro, PhD.

Director

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA  
Bogotá, D. C.(10 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”

**EFFECTO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DEL MAÍZ MORADO SOBRE LA  
DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL ALMIDÓN UTILIZANDO AREPAS TÍPICAS  
COLOMBIANAS COMO ALIMENTO MODELO**

ANNY VALENTINA PLAZAS SÁNCHEZ

**APROBADO**



Andrés González

---

Nombre  
Título profesional  
Director

---

Nombre  
Título profesional  
Director

---

Nombre  
Título profesional  
Director

**EFFECTO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DEL MAÍZ MORADO SOBRE LA  
DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL ALMIDÓN UTILIZANDO AREPAS TÍPICAS  
COLOMBIANAS COMO ALIMENTO MODELO**

ANNY VALENTINA PLAZAS SÁNCHEZ

**APROBADO**



Andrés Giraldo

---

Nombre  
Título profesional  
Decana de Facultad

---

Nombre  
Título profesional  
Director de Carrera

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero darle las gracias a toda mi familia por ser mi motor de vida e inspirarme a lo largo mi formación profesional; por darme todo su amor y hacer lo imposible para que pudiera cumplir mis sueños.

A mi hermana, mi gran ejemplo a seguir quien con su paciencia y dedicación me brindo todo el apoyo necesario para alcanzar cualquier meta que me propusiera.

A mis amigos quienes han estado en los peores momentos, así como en los buenos, porque pudimos culminar una etapa más y lograremos alcanzar muchos más sueños.

A mi director de tesis quien no solo fue un gran modelo de aprendizaje, sino que se convirtió en un muy buen amigo y gran persona. A la profesora Elizabeth Gil por tenerme paciencia y ayudarme en cualquier obstáculo que se me presentaba

Finalmente quiero agradecer a los auxiliares de laboratorio de bioquímica y procesamiento de alimentos, por brindarnos toda su colaboración y haber sido muy especiales durante estos últimos meses.

## RESUMEN

La aparición de enfermedades crónicas no transmisibles (ENT) como la Diabetes Tipo II se ha relacionado con el consumo prolongado de almidón presente en productos ultraprocesados, debido a que se generan respuestas glicémicas elevadas tras su consumo. Por lo que dentro de la industria alimentaria se ha estudiado el efecto del tipo de procesamiento y la presencia de algunos compuestos bioactivos para obtener fracciones digeribles de almidón con un proceso de liberación de glucosa más lento en función del tiempo. Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de los compuestos fenólicos del maíz morado sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón utilizando arepas típicas colombianas como alimento modelo. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido total de compuestos fenólicos en diferentes etapas del proceso. En el maíz morado se obtuvo un contenido de compuestos fenólicos totales de 14,4 EAG mg/g para lo cual se presentaron variaciones de este valor en el proceso de cocción tradicional (10,6 EAG mg/g) y la nixtamalización (6,8 EAG mg/g). En relación con la digestibilidad del almidón, se presentó un porcentaje de almidón digerido en menor proporción y menor tiempo representado en los porcentajes de almidón lentamente digerible (ALD) tanto para la cocción tradicional (47,3%) como en el proceso de nixtamalización (32,3%) Lo anterior resultó en el incremento de la fracción de almidón resistente (AR) en muestras de maíz morado sometidas a diferentes tipos de cocción. Lo anterior sugiere que la presencia de compuestos fenólicos del maíz morado se relaciona con la baja digestibilidad de las fracciones de almidón en las arepas. Los presentes resultados sugieren que la presencia de los compuestos fenólicos en el maíz morado utilizado para la elaboración de arepas tiene un efecto positivo sobre el índice glucémico del alimento, lo que podría ser una forma alternativa de consumo para promover el consumo de un alimento tradicional.

## ABSTRACT

The existence of chronic and non-transmitting diseases, such as diabetes type II, is related to the prolonged consumption of starch present in processed products. Due to the high glycemic reactions after ingesting. Resulting in food industry studies of effects of different food processing and the presence of some bioactive compounds to obtain portions of digestible starch fractions with a process in slow release of glucose in function of time. As previously mentioned, this study had the objective to determine the effect of phenolic compounds found in purple corn over the digestibility in vitro of starch using typical Colombian arepas as food models. The results showed significant statistical differences in total phenolic compound content at various stages of the process. Raw purple corn has a value of 14,4 EAG mg/g, which presents variations of this content in the value of traditional cooking and nixtamalization process. In addition, it was observed a percentage of hydro... In which resulted in an increment of the resistible starch portion in samples of purple corn subjected to different types of cooking. In relation to the digestibility of starch, a percentage of starch digested in a lower proportion and for a shorter time was presented, represented in the percentages of slowly digestible starch (ALD) both for traditional cooking (47.3%) and in the nixtamalization process (32.3%) The above resulted in an increase in the resistant starch fraction (AR) in purple corn samples subjected to different types of cooking. This suggests that the presence of phenolic compounds in purple corn is related to the low digestibility of starch fractions in arepas. The present results suggest that the presence of phenolic compounds in purple corn used for the preparation of arepas has a positive effect on the glycemic index of the food, which could be an alternative form of consumption to promote the consumption of a traditional food.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Compuestos fenólicos</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Clasificación</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Antocianinas</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Estructura</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Actividad antioxidante</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Factores que afectan la estabilidad de los polifenoles</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Fracción fenólica del maíz</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Influencia de los compuestos fenólicos sobre la digestibilidad del almidón</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Maíz morado</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Estructura</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Composición nutricional y química</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Tipo de procesamiento del maíz</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Usos alimentarios del maíz morado</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Almidón de maíz</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Fracciones digeribles del almidón</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Almidón resistente (AR)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Propiedades fisicoquímicas y funcionales</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Aplicaciones en la industria alimentaria</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Digestibilidad del almidón</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Métodos para evaluar la digestibilidad del almidón</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.7</b>	<b>Factores que pueden modular la digestibilidad del almidón</b> ..	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo general</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>28</b>

<b>6</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
6.1	Diseño de la investigación.....	28
6.2	Muestra población de estudio .....	¡Error! Marcador no definido.
6.3	Metodología de la investigación.....	28
6.4	Variables .....	29
6.5	Materiales.....	30
6.5.1	Materia prima .....	30
6.5.2	Enzimas.....	¡Error! Marcador no definido.
6.5.3	Reactivos .....	30
6.6	Análisis de compuestos fenólicos .....	31
6.7	Análisis de almidón total.....	32
6.8	Análisis de almidón digerible y almidón resistente .....	33
6.9	Nixtamalización del maíz.....	31
6.10	Cocción tradicional del maíz .....	31
6.11	Elaboración de arepas típicas .....	31
6.12	Análisis y recolección la de información.....	34
<b>7</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	34
7.1	Almidón total.....	¡Error! Marcador no definido.
7.2	Almidón digerible .....	36
7.3	Almidón resistente .....	37
7.4	Determinación del rendimiento de compuestos fenólicos .....	¡Error! Marcador no definido.
7.5	Contenido total de compuestos fenólicos .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>8</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	38
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	41

#### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Tipos y fuentes de almidón resistente.....	14
<b>Tabla 2.</b>	Curva de calibración.....	32
<b>Tabla 3.</b>	Rendimiento de extracción de compuestos fenólicos.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Anatomía del grano de maíz morado.....	16
<b>Figura 2.</b> Digestión del almidón.....	20
<b>Figura 3.</b> Gelatinización y retrogradación del almidón.....	23
<b>Figura 4.</b> Cálculo del índice glucémico de un alimento.....	21
<b>Figura 5.</b> Proceso de gelatinización y retrogradación del almidón.....	22
<b>Figura 6.</b> Diseño experimental.....	28
<b>Figura 7.</b> Contenido total de almidón.....	34
<b>Figura 8.</b> Digestibilidad in vitro del almidón de maíz en cocción tradicional.....	35
<b>Figura 9.</b> Digestibilidad in vitro del almidón de maíz nixtamalizado.....	36
<b>Figura 10.</b> Contenido total de compuestos fenólicos.....	37

## 1 INTRODUCCIÓN

Recientemente la gran disponibilidad de los alimentos ultraprocesados como resultado de los cambios en la regulación del mercado, el crecimiento económico y la urbanización; han llevado a que la población aumente su consumo. Este comportamiento afecta la calidad de la dieta de las personas, puesto que se prefiere el consumo de alimentos con baja densidad nutricional por encima de alimentos frescos y naturales.

El almidón es el carbohidrato con mayor presencia en este tipo de alimentos; su consumo prolongado se ha relacionado con la aparición de algunas enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes tipo II, debido a su capacidad para aumentar los niveles de glucosa en sangre tras su absorción intestinal. Dicha absorción es reconocida científicamente en fracciones digeribles, evaluadas por medio de métodos *in vivo* e *in vitro* que generan diferentes respuestas glicémicas durante la fase postprandial: almidón rápidamente digerible (ARD) que se ha relacionado con un mayor índice glucémico (IG) en los alimentos, almidón lentamente digerible (ALD) y almidón resistente (AR) son fracciones de interés nutricional debido a que se hidrolizan en mayor tiempo e incluso no llegan a ser hidrolizadas por las enzimas digestivas como es el caso del AR mejorando así la respuesta glucémica.

En la industria alimentaria dichas fracciones pueden ser modificadas de acuerdo con el tipo de procesamiento o por su interacción con algunos compuestos nutricionales presentes en las materias primas amiláceas, con el fin de aumentar el contenido de ALD y AR en los productos alimenticios y así mejorar el perfil nutricional para disminuir su impacto en salud.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que le otorgan el color morado-azul característico a muchos de los alimentos encontrados de forma natural en el mercado. Su función principal se relaciona con la disminución de los radicales libres, es decir, actúan como agentes antioxidantes dentro del organismo. Se han mencionado mecanismos por los cuales los compuestos fenólicos en especial las antocianinas pueden modificar la

digestibilidad del almidón, es por esta razón estos compuestos se convierten en el objeto de estudio de este trabajo con el fin de observar su impacto en las fracciones digeribles de almidón.

El maíz es un cereal que hace parte de la alimentación en muchos hogares colombianos; el almidón ubicado en el endospermo de este cereal constituye la mayor parte de su composición nutricional (80 - 84%). Dentro de sus variedades, el maíz morado (*Zea mays* L) se destaca por la presencia de compuestos fenólicos ubicados principalmente en el pericarpio del grano de cereal, convirtiéndolo en objeto de estudio dadas las ventajas nutricionales tras su consumo.

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son sustancias químicas producto del metabolismo secundario de las plantas, encontrados mayoritariamente en frutas, verduras y el vino, (Gimeno,2004). Adicionalmente estos compuestos bioactivos son reconocidos por sus efectos protectores contra el estrés oxidativo, diabetes, inflamación, enfermedades microbianas y cáncer (Araujo *et al.* 2011).

#### **1.1.1 Clasificación**

Los compuestos fenólicos han sido clasificados de acuerdo a su estructura dentro de los cuales se encuentran: ácidos fenólicos, estilbenos, flavonoides, isoflavonas curcuminoides, chalconas, y lignanos. (Quiñones & Alexandrei, 2012). En el grupo de los flavonoides se encuentran las antocianinas, a quienes se les atribuye el color característico azul/morado de frutas y verduras, así como de algunas variedades de maíces pigmentados (Burgos, Jara & Quintar, 2015).

#### **1.1.2 Antocianinas**

Las antocianinas son pigmentos solubles sintetizados en la célula por la vía de los fenilpropanoides (López and González 2011). Tras su consumo son absorbidas en el estómago y en el intestino delgado en donde permanecen de forma intacta produciendo

diferentes efectos antioxidantes, antitumorales, antidiabéticos, desintoxicantes, y por lo tanto su influencia en diversas enfermedades como diabetes mellitus tipo 2, aterosclerosis, osteoporosis, hipertensión arterial, cáncer de próstata y fatiga crónica (Sánchez et al. 2017).

### **1.1.3 Actividad antioxidante**

Las antocianinas son reconocidas por modular el estrés oxidativo e inflamatorio aportando beneficios en la salud humana (Ferruzzi, Pernell, & Li, 2017). Uno de los mecanismos por los que las antocianinas pueden ejercer su función antioxidante es por medio del secuestro de radicales libres o especies reactivas de oxígeno y de radicales lipídicos peroxidados. Gracias a los grupos hidroxilos que posee en las posiciones 3 y 4 en su estructura, son capaces de estabilizar los radicales por medio de la transferencia de átomos de hidrógeno y la donación de electrones. Sin embargo, la mayoría de los compuestos fenólicos son hidrosolubles, por lo cual se debe tener en cuenta el medio acuoso como factor que puede disminuir el contenido de compuestos fenólicos en un alimento y por consiguiente su capacidad antioxidante (Kapcum, Uriyapongson, & Uriyapongson, 2021).

### **1.1.4 Factores que afectan la estabilidad de los compuestos fenólicos**

#### **1.1.4.1 pH**

Uno de los principales factores del medio que afecta la estabilidad de compuestos fenólicos como las antocianinas es el pH. Estas actúan como indicadores ácido-base, puesto que el color resultante está en función de la estructura que se encuentre en mayor proporción (Saha et al. 2020). En soluciones acuosas a valores de pH inferiores a dos, se encuentran en su forma más estable (ión oxonio o catión flavilio) de color rojo intenso, mientras que a valores superiores de 7 se presentan las formas quinoidales (A, A-) de color púrpura que se degradan rápidamente por oxidación con el aire (Garz 2008).

#### **1.1.4.2 Temperatura**

Debido a que estos se presentan en altas concentraciones en las partes externas de los alimentos, su contenido puede disminuirse hasta en un 75% tras la exposición a tratamientos térmicos de transformación. En el caso de las antocianinas las enzimas

involucradas en su síntesis son inactivadas a temperaturas mayores a 30°C (Castañeda,2010).

#### **1.1.4.3 Luz**

La luz es un factor determinante en la biosíntesis de compuestos fenólicos, a intensidades de luz altas, se produce un efecto negativo debido a que se disminuye el contenido de fenoles y antocianinas (Chávez,2014). Así entonces, cuando se almacenan en condiciones de oscuridad hay mejor conservación de su color y por lo tanto menor degradación (Morado and La 2014).

#### **1.1.5 Fracción fenólica del maíz**

Las antocianinas del grano de maíz se encuentran ampliamente distribuidas en el pericarpio, capa de aleurona, o en ambas estructuras (Harakotr et al. 2014). En la cáscara del maíz morado la concentración de antocianinas es diez veces mayor que en otros frutos; siendo la cianidina-3- $\beta$ -glucósido, pelargonidina-3-glucósido, peonidina-3- glucósido, cianidina-3-malonilglucósido, los pigmentos que se encuentran con mayor frecuencia (Otíz et al. 2011).

#### **1.1.6 Influencia de los compuestos fenólicos sobre la digestibilidad del almidón**

Algunos estudios han descrito que las antocianinas y el almidón pueden modificar la digestibilidad de este. Ferruzzi y colaboradores en el año 2017, mencionan dos mecanismos; el primero relaciona la interacción entre los compuestos fenólicos libres con las enzimas digestivas, pues se encontró que estos podían ocupar sitios catalíticos de las amilasas, amiloglicosidasas y/o invertasas para inhibir la hidrólisis del almidón.

Otro mecanismo hace referencia a los cambios estructurales que sufre el almidón; dicho proceso es generado mediante la unión entre compuestos fenólicos simples y moléculas de almidón a través de enlaces hidrófobos; en donde se pueden modificar las láminas cristalinas y amorfas de la amilopectina, para transformar su estructura en una similar al de la amilosa por medio de la reorganización de sus cadenas glucosídicas  $\alpha$ -1,4. Es por esto que, los compuestos fenólicos son un factor potencial para inhibir la hidrólisis del almidón. (Ferruzzi, Pernell, & Li, 2017).

Debido a los efectos en salud mencionados se han desarrollado extractos alimenticios de antocianinas de maíz morados incorporados como suplemento dietético. Por ejemplo, extractos de antocianinas de maíz morado han sido incorporados como un suplemento dietético antioxidante (Otíz et al. 2011).

## **1.2 Maíz morado**

El maíz morado (*Zea mays L*) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas, género *Zea* y especie *Zea Mays*. Es originario de Perú y México cuyas variedades se diferencian por el tamaño, la forma de las mazorcas y por el color del pericarpio de sus granos, siendo el Cuzco Morado, Arequipeño, y Morado Carreño (Burgos, 2015) las variedades tradicionales.

El maíz morado ha sido cultivado en algunas regiones de América del sur como Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina (Fermin,2019). Durante el año 2013 se exportaron 732 196,31 kg, y los principales destinos fueron Estados Unidos (46,65%), Chile (9,74%), Corea del Sur (8,61%), Ecuador (7,24%), España (6,64%), Japón (6,20%), Singapur (5,37%), y con porcentajes menores Italia, Venezuela y Colombia (Pinedo, 2015).

### **1.2.1 Estructura**

El grano de maíz se encuentra dividido en tres partes; la capa exterior denominada pericarpio, la cual le confiere dureza y está constituida principalmente por fibra (Figura 2). La capa del medio se denomina endospermo y constituye alrededor del 80-84% del peso del grano, funcionando como reserva energética durante el desarrollo de la planta. Por último, se encuentra el germen, el cual aporta del 9,5-12% del peso total y contiene dos partes principales en donde se almacenan vitaminas, minerales y metabolitos secundarios que se utilizan para la germinación denominados eje embrionario y escueto (Arhuire & Betancur, 2016).

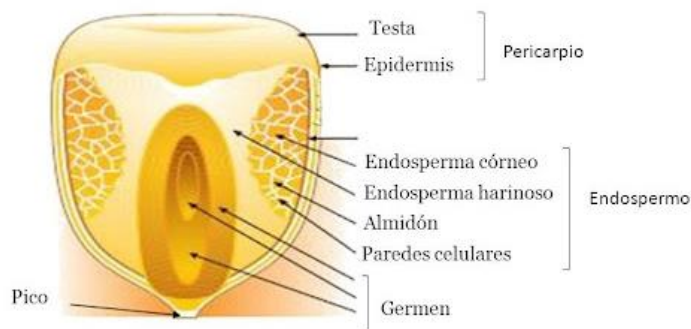


Figura 1 Anatomía del grano de maíz morado

Fuente: (Fuentes, 2012)

### 1.2.2 Composición nutricional y química

El maíz morado es fuente de carbohidratos, representan el 74.3% de su composición y se encuentran en su mayoría contenidos en el endospermo del grano de maíz (alrededor del 65%). Dentro del grupo de los carbohidratos complejos se identifican polisacáridos de reserva y de estructura; el primero, corresponde al almidón el cual provee la mayor energía debido a que ocupa gran parte del grano (Sánchez Yolanda 2012). Por otro lado, el oligosacárido de reserva como la fibra, está presente en el pericarpio del maíz morado y puede variar del 8 al 14% siendo en su gran mayoría fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) (Burgos, Jara, and Quintar 2015).

En relación con su contenido de proteínas, estas representan alrededor del 10% del grano de maíz (globulinas, albúmina, glutelinas y prolaminas) (Martín, Iriondo , and Dolores 2018). Sin embargo, la mayor parte de las proteínas presentes están compuestas por zeína, por lo que, en el maíz el contenido de algunos aminoácidos esenciales como lo son el triptófano y la lisina son bajos. (Velásquez,2013). Por otro lado, la mayoría de los lípidos son triglicéridos y se componen por los ácidos linoléico (50%), oléico (35%), palmítico (13%), esteárico (4%) y linolénico (3%) (Burgos, Jara & Quintar,2015).

Adicionalmente, dentro de su composición química las sustancias que se presentan en el maíz morado son: ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, azufre, fósforo y compuestos fenólicos (Velásquez,2013).

### 1.2.3 Tipo de procesamiento del maíz

### **1.2.3.1 Nixtamalización**

La nixtamalización es un tratamiento que consiste en el cocimiento del maíz con sal en donde el hidróxido de sodio solubiliza la hemicelulosa de la pared celular del grano. Durante el proceso el maíz se deja en remojo por aproximadamente 16-18 horas; el subproducto de la nixtamalización es una solución alcalina, tradicionalmente conocida como "nejayote", y que a menudo se utiliza como aditivo alimentario en productos de panadería o bebidas a base de maíz con potencial antiinflamatorio (Buitimea, y otros, 2020). Este proceso puede producir cambios en la calidad nutricional del maíz, ya que al someter maíces pigmentados como el maíz morado al tratamiento térmico- alcalino, gran cantidad de antocianinas pueden ser solubilizadas durante el proceso (Moreno, Martínez & Marcos, 2003).

### **1.2.3.2 Fermentación**

Los procesos de fermentación en cereales son utilizados para generar alimentos con características organolépticas y de conservación mejoradas. Este proceso es comúnmente utilizado para elaborar chicha; una bebida hecha a partir del maíz fermentado, cuyos almidones y azúcares son transformados en alcohol por acción de levaduras, principalmente del género *Saccharomyces* (Betancourt, Bolívar, & Ramírez, 2013), aunque también se han identificado otras bacterias lácticas aisladas en masas de maíz fermentadas como *Lactobacillus plantarum*, conocida por su actividad amilolítica y proteolítica así como su capacidad para inhibir bacterias patógenas y hongos (Ara, Hurtado, Barnett, Saavedra, & Ramos, 2018).

### **1.2.3.3 Cocción tradicional**

Esta técnica es considerada como la primera aplicada por diversas culturas en Colombia, y que aun en la actualidad se sigue practicando de forma ancestral. La molienda seca del maíz se utiliza para la obtención de productos derivados del maíz, siendo las arepas el principal producto elaborado a partir de la harina o sémola de maíz como también bebidas, alimentos y cereales (Grande & Orozco, 2013).

### **1.2.4 Usos alimentarios del maíz morado**

En Colombia este tipo de maíz es utilizado para la preparación de chicha, mazamorra, sopas y arepas (Grupo Semillas, 2014). También se han realizado estudios utilizando harina de maíz morado como sustituto parcial de productos de panadería como galletas; en dicha investigación se presentan cambios en el perfil nutricional, encontrando un mayor aporte de proteínas, así como una mayor aceptabilidad sensorial (Burgos et al. 2015).

Dicho pigmento es usado a nivel industrial como insumo para la coloración de bebidas, productos lácteos, productos de panadería, productos vegetales, conservas de pescado, grasas, aceites, mermeladas, jaleas, frutas confitadas, frutas en almíbar (David and Cardona 2019).

### **1.3 Almidón de maíz**

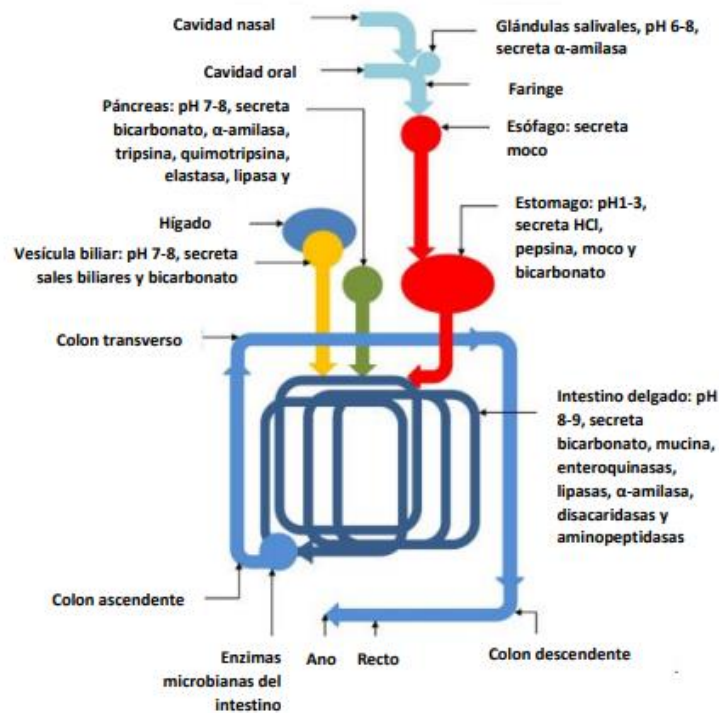
El almidón es el polisacárido de reserva en el maíz, conformado por polímeros de glucosa unidos mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1-4) y/o  $\alpha$ -D-(1-6), estos enlaces digeribles por las enzimas digestivas del organismo, este se dispone estructuralmente en forma de gránulos de diferentes formas y tamaños. Adicionalmente se compone de dos estructuras primarias: la amilosa y amilopectina con un peso relativo de 27% y 73% respectivamente, conformando así los gránulos del almidón.

#### **1.3.1 Digestión y absorción de almidón**

El almidón como fuente principal en las dietas de las personas, comienza su digestión en la boca por la acción de la amilasa salival o ptialina, esta se encarga de catalizar la hidrólisis de los enlaces  $\alpha$ -1,4 internos del almidón, pero no puede hidrolizar los enlaces ramificadores  $\alpha$ -1,6, obteniéndose en esta primera fase de digestión maltosa, maltotriosa principalmente (Amaya, 2010). En un tiempo relativamente corto, el bolo alimenticio es transportado por la peristalsis esofágica hasta el estómago. Una de las células claves en el estómago para la digestión del almidón es la célula parietal, que secreta HCl. Dado que, el pH del jugo gástrico es de 2,6 (figura 3) retrasa la acción de la  $\alpha$  – amilasa, sin embargo, aumenta la hidrólisis acida del almidón (Boron & Boulpaep, 2009; Dona et al., 2010).

A los 10 minutos de llegar al duodeno, el almidón se ha convertido totalmente en oligosacáridos. La digestión posterior de estos oligosacáridos se realiza por enzimas ubicadas en el borde en cepillo del epitelio del duodeno y el yeyuno (Diao et al. 2017) Las principales oligosacaridasas del borde en cepillo son la lactasa la sacarasa (que divide la sacarosa en glucosa y fructosa), la isomaltasa y la glucoamilasa (Amaya, 2010).

Estos monosacáridos pasan después a través de la membrana de la célula epitelial por transporte activo secundario, en el cual la glucosa comparte un transportador de membrana con el Na<sup>+</sup>. Finalmente, la glucosa se segrega desde las células epiteliales a los capilares sanguíneos en el interior de las vellosidades intestinales (Villarreal Silva et al. 2015).



**Figura 1.** Digestión del almidón

### 1.3.2 Fracciones digeribles del almidón

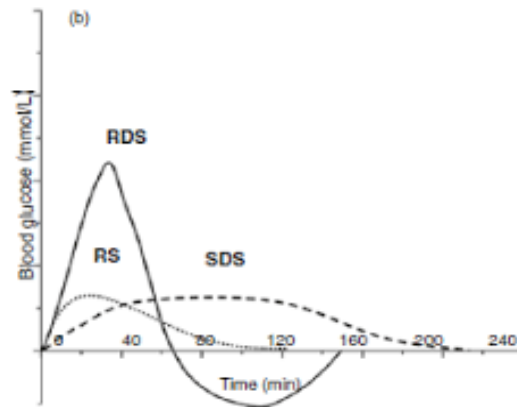
Basado en su velocidad de hidrólisis, se pueden distinguir tres fracciones digeribles de almidón que pueden ser analizadas utilizando métodos *in vitro* e *in vitro* (Figura 4):

a). Almidón rápidamente digerible (ARD): su estructura es principalmente amorfa y dispersa; tras su absorción intestinal los niveles de glucosa en sangre incrementan durante los primeros 20 minutos (David and Cardona 2019). El ARD se encuentra en altas cantidades en alimentos amiláceos cocinados por calor húmedo como pan y papas (Villarreal et al. 2018).

b). Almidón lentamente digerible (ALD): es digerido en el intestino delgado de manera significativamente más lenta (Sánchez, 2018). Permite la liberación de glucosa con bajo

índice glucémico; dicho mecanismo está asociado con efectos fisiológicos en relación con la prolongación de la saciedad. (David and Cardona 2019)

c). Almidón resistente (AR): es la fracción que resiste a la hidrólisis enzimática en el intestino delgado y que por lo tanto después de los 120 minutos de digestión no es hidrolizado (Villaruel et al. 2018).



**Figura 2.** Respuesta glucémica de las fracciones de almidón

Fuente: (Huang et al. 2018).

### 1.3.3 Almidón resistente (AR)

Tras su consumo esta fracción permanece intacta en el intestino delgado y se fermenta en el intestino grueso resultando en la producción de productos de fermentación como dióxido de carbono, metano, hidrógeno, ácidos orgánicos y ácidos grasos de cadena corta (AGCC) tales como: ácido acético, propiónico y butírico (Alexander, 2012). De acuerdo con lo anterior, se han descrito diferentes efectos fisiológicos relacionados con la ingesta del almidón resistente como la disminución de la glucemia, mejoramiento de la respuesta glucémica, incremento de la absorción de micronutrientes, mayor saciedad, y la regulación del perfil lipídico (Nugent, 2005).

Adicionalmente, el almidón resistente ha sido clasificado en cinco tipos (Tabla 1) que por su estructura tienen la capacidad de resistir a la hidrólisis enzimática.

Tipo de almidón	Características	Fuente de alimento
Tipo 1 (AR1)	Gránulos de almidón rodeados por una matriz indigerible y por lo tanto físicamente inaccesible a las enzimas digestivas.	Granos y legumbres parcialmente molidas.
Tipo 2 (AR2)	Almidón resistente a la digestión enzimática. Se encuentra en forma granular dentro de los gránulos de almidón crudo.	Papa cruda y plátano verde.
Tipo 3 (AR3)	Almidón retrogradado (principalmente amilosa retrogradada) proveniente de un proceso de gelatinización.	Papas, pan y cereales cocidos y enfriados.
Tipo 4 (AR4)	Almidón químicamente modificado, donde se forman nuevos enlaces químicos a través de esterificación, reticulación o transglucosilación.	Se usan como aditivos en los productos alimentarios para mejorar la viscosidad y otras características tecnológicas y sensoriales.
Tipo 5 (AR5)	Almidón capaz de crear complejos amilosa-lípidos.	Fración del complejo amilosa-lípido del almidón

**Tabla 1** Tipos y fuentes de almidón resistente

*Fuente: Nugent, 2005*

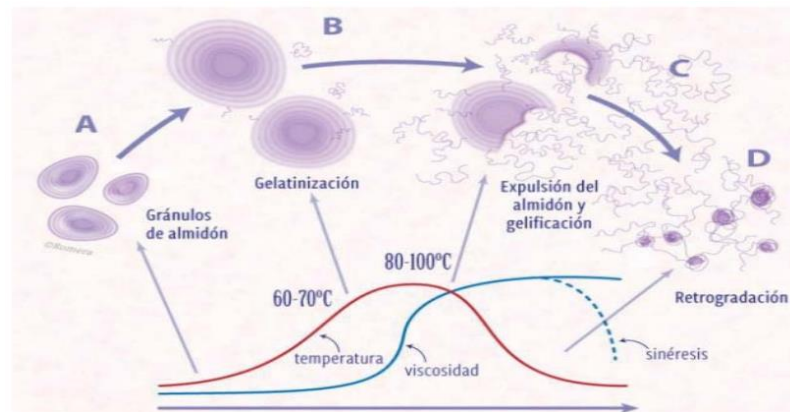
### 1.3.4 Propiedades fisicoquímicas y funcionales

El almidón por su estructura granular y molecular, le permite actuar en diferentes sistemas como: espesante, estabilizante, gelificante, agente de retención de agua, etc. (Hernández et al,2017).

#### 1.3.4.1 Gelatinización y retrogradación

El procesamiento de los alimentos induce cambios físicos en el almidón que pueden modificar su hidrólisis. En un primer momento, cuando el producto amiláceo es sometido a procesos de cocción, el gránulo experimenta un proceso de hinchamiento que genera la pérdida de su estructura y de la cristalinidad, proceso que se le denomina gelatinización que resulta en una estructura inestable.

Sin embargo, con el enfriamiento y almacenamiento del producto las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan recuperando la estructura semi cristalina del almidón (retrogradación) (Sanchez,2018).



**Figura 3.** Proceso de gelatinización y retrogradación del almidón

*Fuente: ROMERA (2016).*

#### 1.3.4.2 Sinéresis

Es el proceso mediante el cual el almidón gelatinizado empieza a exudar agua durante el almacenamiento en frío, donde ocurre una organización de tipo cristalino de la amilosa; dicho mecanismo se refleja mediante la pérdida de agua del gel. Lo anterior se puede observar en productos como cremas de pastelería, yogures, salsas o purés (Andino,2008).

#### 1.3.4.3 Comportamiento reológico

Los almidones sometidos a un tratamiento hidrotérmico previo tienen la capacidad de absorber agua e hincharse en suspensiones acuosas a temperatura ambiente (Andino,2008). En el maíz y otros cereales, los picos máximos de viscosidad se obtienen al calentar los gránulos de almidón cuando se alcanza la temperatura de gelatinización. Así mismo su viscosidad disminuye durante el mantenimiento de la temperatura producto de la ruptura de los gránulos del almidón (Mora et al,2019).

#### 1.3.5 Aplicaciones en la industria alimentaria

En la industria de alimentos se utilizan como materia prima principal o como aditivos en la elaboración de diversos tipos de alimentos procesados. En los alimentos procesados los almidones pueden ser utilizados principalmente como espesantes o estabilizantes. Estas funcionalidades del almidón dependen de la estructura y de la proporción entre la amilosa y la amilopectina.

### **1.3.6 Digestibilidad del almidón**

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino (Giraldo, Velasco, and Villada 2008).

### **1.3.7 Métodos para evaluar la digestibilidad del almidón**

#### **1.3.7.1 Métodos in vivo**

La metodología más utilizada consiste en evaluar el almidón no digerido al final del ileum en modelos humanos sanos (McCleary, 2013). En estos análisis se evalúan determinados biomarcadores como reflejo de las interacciones metabólicas del organismo. Así pues, este método directo se utiliza para determinar la respuesta glucémica de un alimento o IG (índice glucémico); parámetro por el cual los alimentos son clasificados: a) IG bajo <55 (relacionado con la disminución de la absorción de glucosa a nivel intestinal); b) IG intermedio (56 y 70); c) IG alto >70, y de allí que su evaluación sea importante dentro de la caracterización de las propiedades nutricionales de los alimentos amiláceos (Ferrer, 2015).

#### **1.3.7.2 Métodos in vitro**

La finalidad de estos procesos es simular cada una de las fases de digestión: fase oral, gástrica e intestinal, implementando ciertas condiciones fisiológicas sobre el método como: modo de duración de la digestión gástrica, variedad de enzimas amilolíticas, temperatura de incubación y el pH (Horianski, 2019); dicho método se basa en la determinación del almidón disponible y el almidón resistente en una cantidad de muestra específica. A través este método es posible determinar el grado de hidrólisis del almidón mediante la estimación de sus fracciones digeribles: almidón lentamente digerible (ALD), almidón rápidamente digerible (ARD) y almidón resistente (AR). (Ferrer, 2015).

### **1.3.8 Índice glucémico**

Es la medida de la velocidad de absorción de los carbohidratos en el torrente sanguíneo y representa el grado de liberación de azúcar en la sangre; este valor resulta de dividir el área bajo la curva de la respuesta glicémica del alimento en cuestión por el área bajo la curva de la respuesta glicémica de un alimento estándar, típicamente pan blanco o glucosa (Redan et al. 2016).

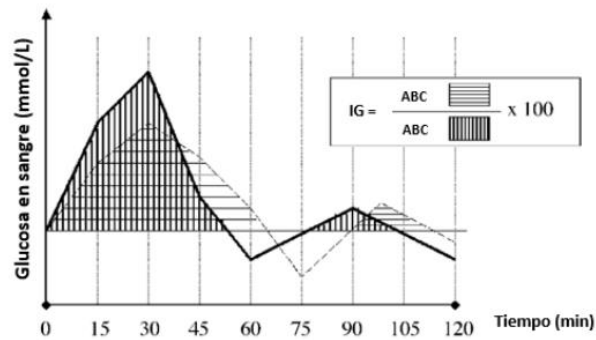


Figura 4. Determinación del índice glucémico.

Fuente: Eliasson, 2004

### 1.3.9 Factores que pueden modular la digestibilidad del almidón

#### 1.3.9.1 Lípidos

Los lípidos pueden formar complejos con la amilosa del almidón; los cuales pueden dar lugar a cambios significativos en el comportamiento del almidón, dependiendo del tipo de ácido graso unido, incluyendo el aumento de la temperatura de gelatinización, retrogradación retardada y resistencia a la acción de las enzimas digestivas (Castillo,2016). Es así como algunos estudios mencionan que los ácidos grasos monoinsaturados reducen la respuesta glicémica en comparación con los ácidos grasos insaturados y poliinsaturados.

#### 1.3.9.2 Proteína

El contenido de proteína está relacionado con la disminución de la hidrólisis enzimática del almidón, puesto que se ha encontrado que las proteínas del gluten como las gluteninas forman un complejo con el almidón que resulta en una estructura protectora a la acción de las enzimas amilolíticas (Castillo,2016).

### **1.3.9.3 Relación amilosa/ amilopectina**

Las enzimas digestivas hidrolizan de manera diferente sobre las estructuras del almidón, de manera que las regiones amorfas (amilosa) son más susceptibles a la hidrólisis en comparación las regiones cristalinas (amilopectina)(Grajales,2010). Es así como en alimentos con una mayor proporción de amilosa, el contenido de almidón resistente (AR) es mayor, relacionándose con índice glucémico bajo (Rodríguez, 2020).

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

La OMS estima que para el año 2019 la Diabetes Mellitus Tipo II (DM2) fue la causa directa de 1,5 millones de defunciones, de igual manera para ese mismo año en Bogotá se presentaron 325 muertes con una tasa de mortalidad de 4,1 (Segura and Castro 2020) . La alimentación juega un papel importante sobre la incidencia de esta enfermedad; el almidón es la principal fuente de energía de las personas, aportando del 58% - 60% de las calorías totales y por el cual se ha relacionado la incidencia de esta enfermedad con su consumo prolongado.

El almidón representa del 80-84 % de la composición del grano de maíz, aportando un suministro de glucosa importante en la dieta de los consumidores tras su absorción a nivel intestinal. Dicha absorción es estimada por medio de tres fracciones digeribles de almidón conocidas como: almidón rápidamente digerible (ARD) y almidón lentamente digerible (ALD), las cuales se relacionan con los niveles de glucosa en sangre, es decir, disminuyen o aumentan el índice glicémico (IG); y almidón resistente (AR) que corresponde a una fracción indigerible y que está relacionado con procesos de fermentación a nivel del colon y producción de ácidos grasos de cadena corta (Villaroel, Gómez, Vera, & Torres, 2018).

Las guías alimentarias basadas en alimentos (GABA) utilizadas como herramienta informativa sobre la alimentación en Colombia establecen que el consumo de granos de cereales con alto contenido de fibra dietética presenta una fuerte evidencia sobre el mejoramiento de la sensibilidad de la insulina y está asociado a una menor incidencia de DM2(ICBF,2015). El maíz es un alimento que pertenece al grupo de los cereales y es la base de la alimentación en muchos hogares, aportando el 9% del suministro diario de energía en la dieta. Su consumo ha ido incrementando en un 56% desde 1996 hasta el 2015 y su promedio de ingesta en Colombia se encuentra alrededor de los 30 kg al año a través de alimentos como arepas, mazamoras y tortillas (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2019).

Sin embargo, existen diferentes variedades de maíz encontradas en América Latina dentro de las cuales se encuentra el maíz morado, en la cual se identifican compuestos bioactivos con actividad antioxidante conocidos como compuestos fenólicos tales como: antocianinas. Algunos estudios han observado que, dependiendo del tipo y la cantidad de compuestos fenólicos, estos tienen la capacidad de modular la digestibilidad del almidón, lo cual permite modificar las tasas de absorción de la glucosa en el organismo, observadas al obtener diferentes valores de las fracciones digeribles (López, López, Gutiérrez, & Fernández, 2014).

Lo anterior resulta relevante, ya que este estudio permite a futuro presentar una propuesta alternativa de consumo de maíz morado, que contribuya al mejoramiento del estado nutricional de las personas en relación a la absorción de la glucosa. Por lo tanto, esta investigación está basada en determinar el efecto de los compuestos fenólicos del maíz morado sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón utilizando una arepa típica colombiana como alimento modelo.

Finalmente, este trabajo se encuentra en el marco del proyecto denominado “Evaluación de estrategias para modular la digestibilidad *in vitro* del almidón de maíz usando arepas típicas colombianas como alimento modelo” (ID20017); a cargo del profesor Andrés Giraldo Toro, ingeniero agroindustrial con PhD en ciencia y tecnología de los alimentos, y en colaboración con los coinvestigadores Darwin Ortiz PhD., Torbert Rochefords PhD., Elizabeth Gil Archila PhD., e Ingrid Aragón PhD. Además, hace parte del grupo de investigación alimentos, nutrición y salud, dentro de la línea de investigación ciencia y tecnología de alimentos de la Pontificia Universidad Javeriana.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de los compuestos fenólicos sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón del maíz morado utilizando una arepa típica colombiana como alimento modelo

#### **4.2 Objetivos específicos**

Calcular el contenido de compuestos fenólicos totales del maíz morado en diferentes etapas del proceso.

Estimar las diferentes fracciones digeribles del almidón de maíz morado utilizando la arepa típica colombiana como alimento modelo.

Comparar el efecto del tipo de procesamiento de maíz morado sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón.

#### **4 HIPÓTESIS**

El efecto de los compuestos fenólicos del maíz morado sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón depende en gran medida de su composición química, condiciones de almacenamiento, y grado de procesamiento del maíz para su consumo. Además, la retención de compuestos fenólicos dependerá de la temperatura de cocción

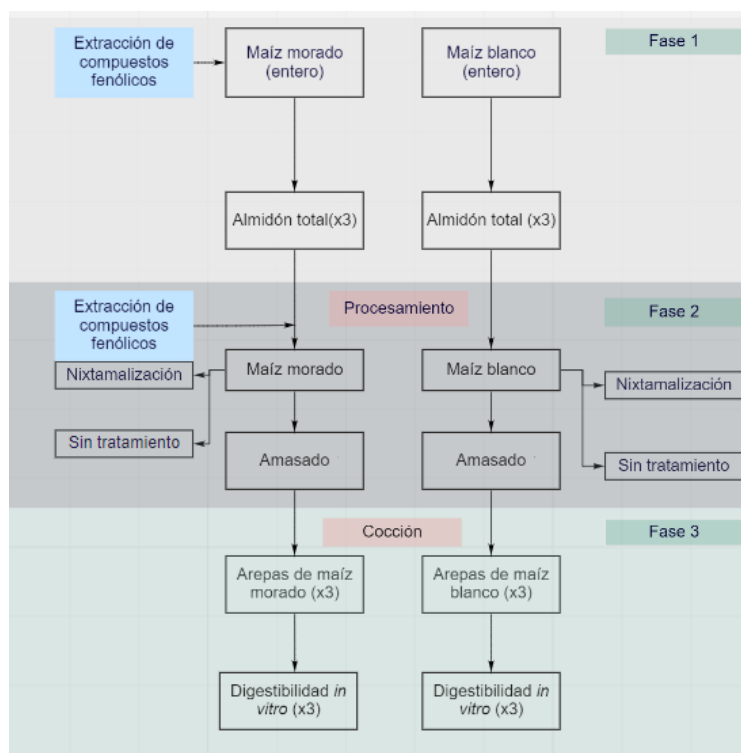
#### **5 MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **5.1 Diseño de la investigación**

Se utilizó un diseño factorial de dos factores completamente aleatorios para investigar el impacto de la variedad, la estabilidad de los compuestos fenólicos durante cada tratamiento, simultáneamente.

##### **5.2 Metodología de la investigación**

El diseño experimental se compone de tres fases como se muestra en la figura 2. En la primera fase se realiza la extracción compuestos fenólicos al maíz morado crudo y se determina el contenido total de almidón para los tipos de maíz. Después se propone la extracción en las muestras de maíz molidas sometidas a los procesos de cocción tradicional y nixtamalizado. Por último, se realiza la elaboración de arepas típicas colombianas y se realiza el análisis de la digestibilidad *in vitro* para cada muestra.



Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Variables

Variable	Tipo de Variable	Método	Unidad
<b>Digestibilidad <i>in vitro</i> del almidón</b>	Dependiente	McCleary <i>et al</i>	g Glucosa/ 100 g
<b>Compuestos fenólicos</b>	Dependiente	Folin Ciocalteu (Waterhouse, 2002)	Mg GAE/g
<b>Maíz morado</b>	Independiente	Nixtamalizado / tradicional	N/A
<b>Rendimiento de extracción de compuestos fenólicos</b>	Dependiente	N/A	g muestra seca/ g peso inicial x100

## 5.4 Materiales

### 5.4.1 Materia prima

Se utilizaron dos tipos de maíz diferentes comprados en comercial obtenidos de la plaza de mercado Paloquemao.

### Enzimas

Kits de Megazyme para análisis de almidón total y análisis de almidón digerible y resistente, los cuales proveen las enzimas necesarias para la hidrólisis de almidón: amilasa/amiloglucosidasa pancreática (PAA/ AMG), glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD) y evaluación de D-glucosa

### 5.4.2 Reactivos

#### a. Análisis de almidón total

- Ácido acético glacial (1.05 g/mL).
- Cloruro de calcio dihidratado,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- Hidróxido de sodio.
- Alcohol etílico 95% v/v.

#### b. Análisis de almidón digerible y resistente

- Ácido maleico.
- Cloruro de calcio dihidratado,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- Hidróxido de sodio.
- Reactivo de tolueno.
- Ácido acético glacial (1.05 g/mL).
- Reactivo de sulfato de amonio.
- Alcohol etílico 95% v/v.

#### c. Análisis de compuestos fenólicos

- Metanol
- Etanol 95%
- Ácido Fórmico >97%
- Hexano (uso en caso de analizar muestras con lípidos/grasas)
- Ácido Gálico (estándar)
- Reactivo de Folin-Ciocalteu (Almacenar en la oscuridad y descartar si el reactivo se torna de coloración verde).

- Carbonato de Sodio

### **5.5 Rendimiento de extracción de compuestos fenólicos**

Este dato se obtuvo de la diferencia del extracto seco concentrado con Nitrógeno (N) y el peso inicial de la muestra en base seca.

### **5.6 Cocción tradicional del maíz**

Se adicionaron 200 ml de agua a una olla pitadora que contenía 100 g de maíz morado y blanco cada una. El maíz morado y blanco fueron sometidos a cocción en olla presión por 20 minutos y 30 minutos respectivamente. Posterior al tiempo de cocción se retiró el agua caliente de la olla y se realizó el lavado del maíz con agua fría.

### **5.7 Nixtamalización del maíz**

Se utilizó el método tradicional descrito por Bello Pérez. Se pesaron 150 g de maíz morado y blanco, los cuales fueron adicionados a una olla conteniendo 750 ml de agua y 2.6 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cada uno. Las muestras se dejaron en reposo en un lugar oscuro por aproximadamente 16 horas, pasado este tiempo, se realizó el lavado del maíz para descartar cualquier residuo y finalmente se procesó el maíz mediante un molino artesanal para obtener la masa de maíz nixtamalizada.

### **5.8 Elaboración de arepas típicas**

Para la elaboración del alimento modelo se pesaron 100 g de masa de maíz morado y blanco previamente sometidos a los procesos de cocción (tradicional y nixtamalización). Se formaron bolitas de masa con un peso aproximado de 5 g cada una, se aplanaron uniformemente para disponerlas en un sartén a 170-180 °C por 5 minutos lado y lado.

### **5.9 Análisis de compuestos fenólicos**

Se siguió el método propuesto por Folin-Ciocalceteau. con algunas modificaciones. Para la extracción de compuestos fenólicos se pesó 1 g de muestra por triplicado en tubos falcon de 35 ml, luego se adicionaron 20 ml de la solución 1 (85% MeOH, 1.0 % ácido fórmico) y después se agitó por 5 minutos, pasado este tiempo las muestras se sonicaron por 30 minutos y fueron centrifugas a 3500 rpm por 5 minutos

Para su purificación se colocaron tubos de vidrio dentro de la gradilla del colector al vacío Visiprep™ SPE junto con los cartuchos de extracción Oasis HLB 1cc (30 mg) sobre las válvulas del colector y se conectó el sistema a una bomba de vacío. Se añadieron 3 ml de metanol seguido de 3 ml de H<sub>2</sub>O desionizada sin dejar secar la resina, posterior a esto se eliminaron los interferentes pipeteando 1 ml del extracto polifenólico y se añadió 3 mL de la solución 2 (2% ácido fórmico en agua) y de 3 mL de solución 3 (95:5, H<sub>2</sub>O: Metanol).

Se desecharon los eluyentes recolectados y colocaron nuevos tubos de vidrio para adicionar 3 ml de la solución 4 (0.5% ácido fórmico en metanol). Los tubos fueron llevados a un concentrador de muestras con nitrógeno (>40°C) y se re-solubilizaron en 1.0 ml de la solución 5 (0.5% ácido fórmico en H<sub>2</sub>O). Finalmente se realizó la curva de calibración con ácido gálico etiquetando tubos con el respectivo número de calibración (tabla 2). Los tubos contenían 20 µL de cada solución de punto estándar, blanco y extracto purificado de polifenoles, 1.580 ml de H<sub>2</sub>O 18MW y 100 µL de la solución Folin-Ciocalteau (agitar tubos con un vortex e incubar entre 1-8 min) d) 300 µl de la solución de carbonato de sodio. Las muestras se incubaron a oscuridad por 2 horas y se leyeron las absorbancias 765 nm en el lector UV-microplaca.

No.	Ácido Gálico (mg/mL)	Stock de Ácido Gálico (µL)	H <sub>2</sub> O 18MΩ (µL)
0	0	0	1000
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	1000	0

**Tabla 2.** Curva de calibración

### 5.10 Análisis de almidón total

El almidón total (AT) se determinó mediante el kit de análisis enzimático Megazyme assay kit, K-TSTA-50/K-TSTA 100A 03/20. Para esto, se ocupó una muestra de 100 mg por cada tipo de maíz previamente liofilizado en tubos de ensayo a las cuales se les añadió 0.2 mL de alcohol etílico acuoso al 80 % v/v y se agitó. Seguidamente, se adicionaron 2 mL de hidróxido de sodio 1.7 M y se agitó el contenido por 5 minutos. Posteriormente se colocaron los tubos en una gradilla dentro de un recipiente con hielo que se dispuso sobre una plancha de agitación por 15 minutos.

Pasado este tiempo se adicionaron 0.1 mL de enzima α - amilasa termoestable y 0.1 mL de enzima amilogucosidasa a los tubos con la muestra y se agitó por 3 segundos, los

cuales se incubaron en un baño de agua a 50 °C por 30 min. Luego de esto, se retiraron los tubos y se dejaron enfriar a temperatura ambiente por cerca de 10 min. Partiendo del volumen del extracto obtenido, se centrifugaron 1.5 mL de solución de cada uno de los tubos a 13,000 g por 5 min.

Pasado este tiempo se transfirió de manera precisa 0.1 mL de la solución sobrenadante de las muestras a tubos de ensayo por duplicado y se adicionaron 3 mL de reactivo GOPOD. Los tubos se incubaron en un baño de agua a 50 °C por 20 min y se leyó la absorbancia a 510 nm contra el blanco.

### **5.11 Análisis de almidón digerible y almidón resistente**

Se tomaron muestras por triplicado del alimento modelo (arepa), las cuales se sometieron a digestión simulada, basado en el método propuesto por Englyst et al., 2018. Para esto se removió 1.0 ml de la solución de reacción en agitación preparada previamente a los 20 minutos, 120 minutos, y 240 minutos a 20 ml de la solución Ácido acético 50 Mm. Luego de esto fueron transferidos 2 ml de cada solución para centrifugar a 13.000 rpm por 5 minutos y así tomar 0,1 ml de cada muestra por duplicado a tubos de vidrio, se les añadió AMG diluida y 3 ml del reactivo GODPOD. Finalmente, los tubos fueron incubados a 50°C por 20 minutos y se midió la absorbancia a 510 nm.

Para la determinación de almidón resistente, se removieron 4 ml de la solución en agitación después de los 240 minutos de digestión a tubos que contenían 4 ml de etanol 95%. Posterior a esto, los tubos fueron centrifugados a 4000 rpm por 10 minutos, y se descartó el sobrenadante. El residuo fue re-suspendido con 2 ml de etanol (50% v/v) y se agitó en un vortex, luego de esto se agregaron otros 6 ml de la misma solución para ser centrifugados nuevamente, este proceso se realizó tres veces.

Después de decantar el sobrenadante se agregaron barras de agitación a cada tubo y 2 ml de Hidróxido de sodio 1,7 M y se pusieron en un baño de agua fría con agitación por 20 minutos. Luego de esto, se añadieron 8 ml de buffer Acetato de sodio 1,0 M e inmediatamente 0,1 de AMG para incubar a 50°C por 30 minutos. Pasado este tiempo, se tomaron alícuotas de 2 ml para centrifugar a 13,000 rpm por 5 minutos y transferir 0,1 ml por duplicado a tubos de vidrio junto con 3 ml de GODPOD. Las absorbancias fueron medidas a 510 nm.

## 5.12 Análisis y recolección la de información

Para el análisis de datos, se utilizó un diseño factorial de dos factores completamente aleatorios para investigar la estabilidad de los compuestos fenólicos durante cada tratamiento, simultáneamente. Todos los datos fueron reportados como media  $\pm$  error estándar de la media (SEM) usando triplicados para análisis de compuestos fenólicos en cada una de las etapas. El análisis estadístico se realizó ANOVA por medio del software SPSS, VERSIÓN (27.0 (5725-A54) (SAS Institute Inc.,Carv, NC).

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Determinación del contenido total de compuestos fenólicos.

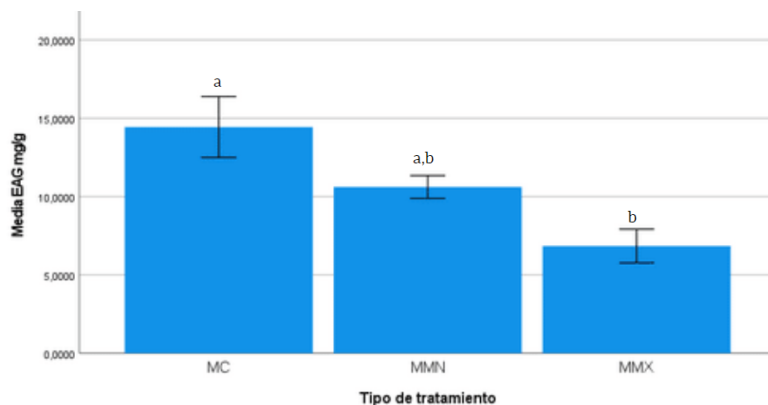
La tabla 2 muestra los porcentajes de rendimiento del maíz crudo (MC), maíz morado nixtamalizado (MMNX) y maíz morado en cocción tradicional (MMCT).

Muestra	% Rendimiento	DE
MC	43,70	0,69
MMNX	41,47	1,87
MMCT	45,63	0,37

**Tabla 3.** Rendimiento de extracción en base seca

### 6.2 Contenido total de compuestos fenólicos

La cantidad de compuestos fenólicos que resistieron a los diferentes tratamientos térmicos y que por lo tanto fueron suficientes para reaccionar con el reactivo de Folin se muestran en la Figura 10, en la cual se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras analizadas. Como era de esperarse la muestra del maíz a la cual no se le aplicó ningún tratamiento térmico (MC) fue en la que se obtuvo una mayor retención de compuestos fenólicos con una media de 14,4 mg EAG/g de muestra y en menor medida se presenta los valores para el maíz por cocción tradicional.



\*Diferentes letras índices indican una diferencia significativa según el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Figura 10.** Contenido total de compuestos fenólicos

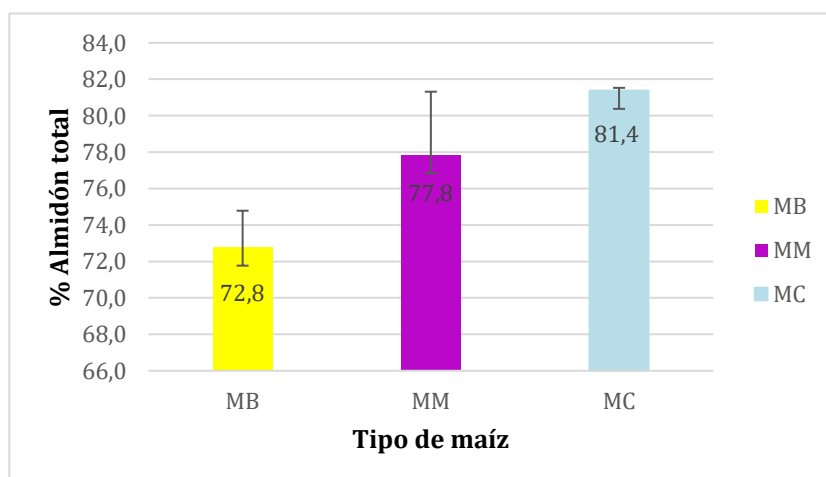
**MC:** maíz crudo

**MMN:** maíz morado en cocción tradicional

**MMX:** maíz morado nixtamalizado

### 6.3 Contenido total de almidón

El contenido de almidón total en los diferentes tipos de maíz se muestra en la figura 6 en la cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. Sin embargo, cabe resaltar que el maíz morado fue la muestra con mayor porcentaje de almidón total (77,8%), seguido por el maíz blanco (72,8%) y finalmente la muestra control el cual contenía un porcentaje de almidón total de 81,4%.

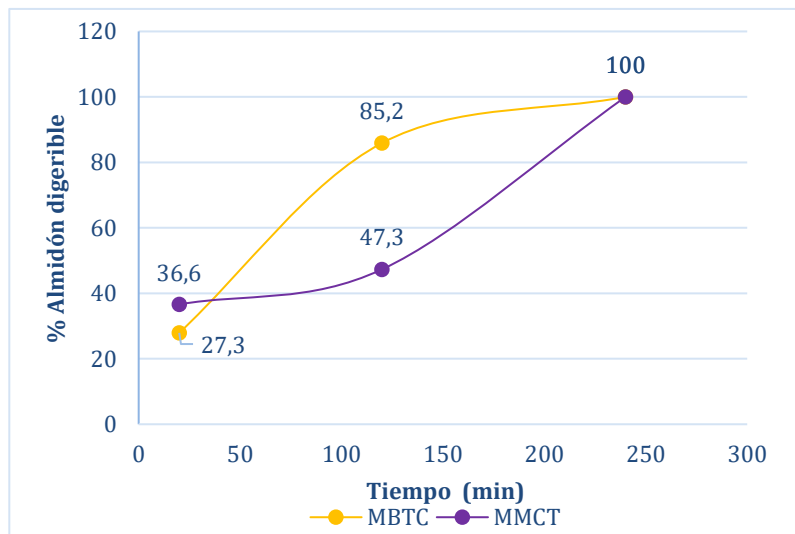


**Figura 5.** Contenido de almidón.

MB: Maíz blanco  
MM: Maíz morado  
MC: Muestra control

#### 6.4 Almidón digerible

La figura 7 permite ilustrar el comportamiento que siguieron cada una de las fracciones digeribles de almidón desde el minuto 20 hasta el minuto 240 para cada una de las muestras sometidas al mismo tratamiento térmico de cocción tradicional. En la muestra MMCT (maíz morado en cocción tradicional) el almidón que se digiere los primeros 20 minutos, es decir, el almidón rápidamente digerible (ARD) se presentó en mayor cantidad en comparación con el maíz blanco (36,6%). Sin embargo, transcurrido el tiempo de digestión el almidón lentamente digerible (minuto 120) de la muestra MBCT (maíz blanco en cocción tradicional) aumentó considerablemente en relación con el maíz morado (85,2% y 47,3% respectivamente) esto representado mediante el incremento del área bajo la curva para ese tipo de maíz.



**Figura 6.** Digestibilidad in vitro del almidón en maíces de cocción tradicional.

Por otro lado, la figura 10 muestra la digestión del almidón en las masas de maíz nixtamalizadas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de maíz; se reportaron porcentajes de ARD para la muestra MBNX (maíz blanco

nixtamalizado) y MMNX (maíz morado nixtamalizado) similares. Adicional a esto, el contenido de ALD no presentó mayores variaciones.

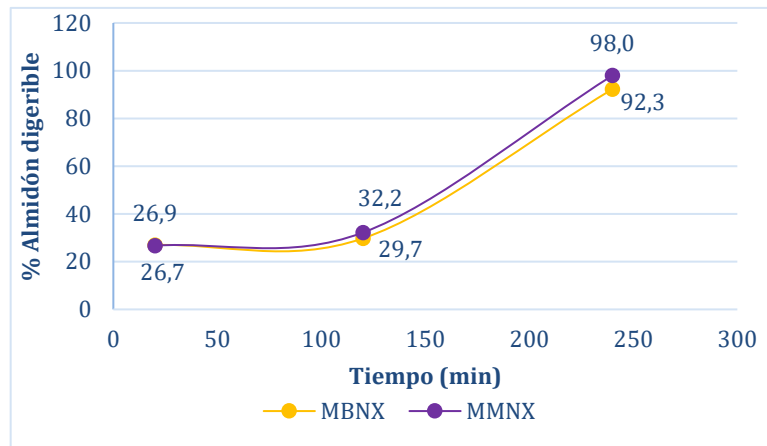
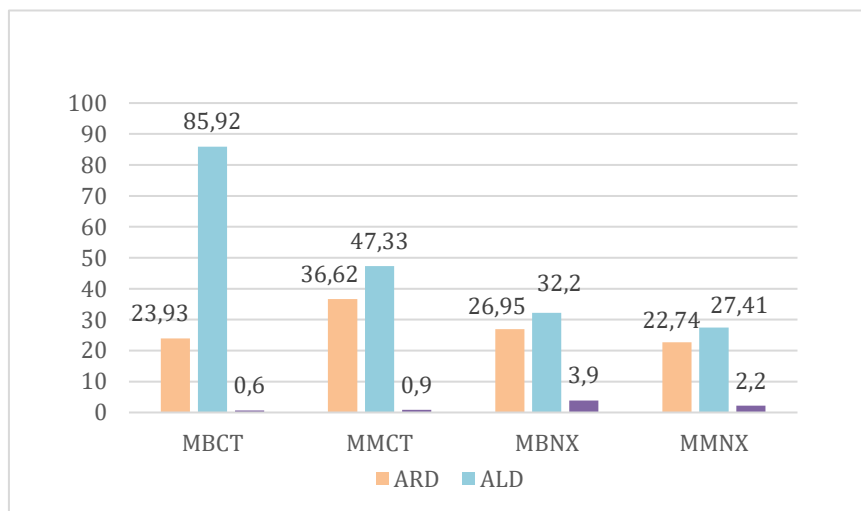


Figura 7.

Digestibilidad in vitro del almidón en maíces nixtamalizados

### 6.5 Almidón resistente

El contenido de almidón que se presenta en la figura 9, es un reflejo de la cantidad de almidón que resistió el proceso de digestión. En general, pasadas las 4 horas de digestión los maíces sometidos al proceso de cocción tradicional aumentaron sus porcentajes de AR (0,6% del maíz blanco y 0,9% del maíz morado), pero lo hicieron en menor medida en comparación con los maíces nixtamalizados, donde el mayor porcentaje de AR se presentó en el maíz blanco.



**Figura 8.** Contenido de almidón resistente

**MBCT:** maíz blanco en cocción tradicional

**MMCT:** maíz morado en cocción tradicional

**MBNX:** maíz blanco nixtamalizado

**MMNX:** maíz morado nixtamalizado

## 7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio tuvo como intención determinar el efecto de los compuestos fenólicos del maíz morado sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón utilizando arepas típicas colombianas como alimento modelo; para lo cual se definieron tres objetivos específicos.

Respondiendo al primer objetivo se determinó el contenido total de compuestos fenólicos en diferentes etapas del proceso para lo cual se calculó el porcentaje de rendimiento de extracción. Los porcentajes de rendimiento obtenidos son inferiores a los encontrados por Fin *et al.* En donde se presentó un valor de 78%, lo anterior se presenta porque dentro de la metodología usada, se utilizó un método alternativo de purificación de compuestos fenólicos por medio de la adsorción en columnas con resinas adsorbente; el producto resultante fue una muestra muy estable frente a temperaturas elevadas y presencia de oxígeno ambiental.

El contenido de compuestos fenólicos presentó variaciones en diferentes etapas del proceso. Se observó un valor de  $14,4 \pm 1,56$  EAG mg/g para el maíz morado crudo, este dato concuerda con lo encontrado en el estudio de (Ccaccy, Lozano, & Salas 2019) donde se el contenido fue de 14,5 EAG mg/g. Sin embargo, en el presente estudio se evidenciaron variaciones en su contenido por efecto de los diferentes tipos de cocción, al exponerse a tratameintos térmicos se vieron marcadamente disminuidos, pues se obtuvieron medianas de  $10,6 \pm 0,95$  EAG mg/g para el maíz procesado usando cocción tradicional y  $6,8 \pm 1,39$  EAG mg/g para el maíz procesado usando la nixtamalización. Lo anterior confirma que entre los factores que alteran la estabiliidad de los compuestos fenólicos se encuentra el agua de cocción y las elevadas temperaturas (Hu *et al.* 2021); por lo tanto el proceso de cocción favoreció la pérdida de gran parte de estos compuestos.

Por otro lado, para el cumplimiento del segundo objetivo se determinó el contenido total de almidón en muestras de maíz morado y maíz blanco crudo, este parámetro es uno de los más importantes del maíz dado que corresponde a la cuantificación del componente

principal de su composición nutricional total (Moser *et al.*2018). Como se ha reportado en la literatura el valor de almidón total para el maíz se encuentra alrededor de 70% (Acevedo *et al.*,2012), lo cual es concordante con el valor obtenido en este estudio para el maíz blanco ( $72,8 \pm 0,10\%$ ) y para el maíz morado el cual presentó un mayor contenido de almidón total ( $77,8 \pm 0,20\%$ ) y como observación adicional este valor coincide con otros reportados en la literatura que se encuentra entre (73%-78%)..

En el marco del segundo objetivo se evaluaron las fracciones digeribles del almidón de arepas elaboradas con maíz morado y maíz blanco sometidos a procesos de cocción tradicional y nixtamalización. En la cocción tradicional se obtuvo una mayor fracción rápidamente digerible en el maíz morado (32,62%) en comparación con el maíz blanco (27,93%), sin embargo, pasados los 120 minutos de digestión la velocidad con la que el almidón de maíz blanco se digirió fue mayor representado por un porcentaje de ALD de 85,2% evidenciado mediante el incremento de la curva (Grafica 1).

Por otro lado, el maíz morado siguió una trayectoria totalmente diferente, pues se observó que a diferencia del maíz blanco la hidrólisis de almidón se presentó de forma mucho más lenta y en un menor tiempo. Los resultados indican que el menor contenido de ALD (47,33%) es el reflejo de una menor cantidad de almidón disponible para ser hidrolizado. Similares comportamientos sobre la velocidad de digestión de almidón se presentaron en los procesos de nixtamalización en donde ambos maíces siguieron similares trayectorias de digestión. Esto se debe principalmente a que con la nixtamalización ocurre una gelatinización parcial del almidón (aproximadamente solo el 15% del almidón se logra gelatinizar) (López *et al.* 2020). Los valores obtenidos contrastan lo reportado por Aburto *et al.*,2013 al obtenerse incrementos en los porcentajes de AR de 3,3% y 3,6% de maíz blanco y morado respectivamente. Por lo anterior, en este estudio es posible mencionar que en tratamientos alcalinos la digestibilidad del almidón de maíz blanco y morado parece disminuir.

Si bien estos resultados no pueden adjudicarse aun solo factor, debido a que las variaciones en la velocidad de digestión del almidón se relacionan con la estructura del grano, la proporción amilosa/amilopectina, efecto de los tratamientos térmicos, lípidos, etc. (Castillo,2016). Lo anterior, podría atribuirse a la presencia de algunos compuestos bioactivos presentes en el maíz morado, si bien este no es el único factor que se conoce por generar cambios en la digestibilidad del almidón dentro de los cuales se encuentra la relación amilosa/ amilopectina que pudieron haber influenciado sobre la velocidad de digestión del almidón ya que según se reporta en el estudio de (Bello Pérez *et al.* 2016) se sugiere que existen diversos mecanismos por los cuales los compuestos fenólicos pueden alterar la digestibilidad del almidón entre ellos la interferencia al ataque de enzimas

digestivas específicamente de la alfa-glucosidasa (Moser et al. 2018). La presencia de compuestos fenólicos en el maíz morado podría explicar esta actividad al presentarse una baja digestibilidad de almidón, lo cual podría tener un efecto sobre las respuestas glucémicas tras el consumo de este alimento y por lo tanto generar bajos índices glucémicos. Adicionalmente estos compuestos fenólicos le otorgan al maíz morado otras propiedades funcionales dentro de las cuales se destacan su función como antioxidantes y su papel como agentes protectores sobre algunas enfermedades como el cáncer de colon, diabetes y enfermedades microbianas (Araujo *et al.* 2011), lo que se debe resaltar al momento de considerar este alimento con potencial funcional para aportar efectos benéficos sobre la salud humana.

En ambos tipos de procesamiento se evidenciaron cambios en las fracciones del almidón, lo que conduce al tercer objetivo. El bajo contenido del ALD se relaciona con la baja digestibilidad que se presentó especialmente en el maíz morado; esto supone un impacto en el índice glucémico (IG) del maíz morado por su probable efecto en la disminución de la respuesta glicémica (Deshpande y Salunke, 2006) debido a que se retrasa el proceso de liberación de glucosa por lo que su absorción se hace de forma más lenta y prolongada (Parada S and Rozowski N 2008), de manera que el consumo del maíz morado utilizado para la elaboración de arepas por procesos de cocción tradicional y nixtamalizados podría contribuir con efectos fisiológicos útiles en la prolongación de la saciedad y prevenir la diabetes (Zhang y Hamaker 2009).

Por otro lado, en este estudio se observó que durante la digestibilidad *in vitro* del maíz morado el contenido de almidón resistente aumentó en comparación con el maíz blanco, lo cual se explica porque al presentarse bajas digestibilidades el almidón que no pudo ser completamente digerido resulta en un incremento de AR (Rosas and Mora 1997). Los aumentos en este tipo de fracción que se comporta como fibra dietaria resulta beneficioso para la salud humana, pues este almidón que resiste a la digestión enzimático fermentado por el microbiota generando gases (metano, hidrógeno, dióxido de carbono), AGCC, como el fórmico, acético, propiónico, butírico y valérico.

## **8 CONCLUSIONES**

En este estudio se acepta la hipótesis planteada en donde se demostró que la presencia de compuestos fenólicos del maíz morado afecta la digestibilidad del almidón mostrando fracciones con una velocidad de digestión menor en comparación con el maíz común. Así mismo, una baja digestibilidad de almidón resulta en el incremento del almidón resistente en los procesos de cocción tradicional y nixtamalización, por lo cual el maíz morado es un alimento con potencial para disminuir la respuesta glicémica y por ende contribuir a un

bajo índice glucémico tras su consumo. Adicionalmente la cantidad de compuestos fenólicos dependió del tipo de procesamiento, presentándose mayores pérdidas durante la nixtamalización atribuido a la destrucción del pericarpio, lo que sugiere la aplicación de procesos tradicionales en la cocción del maíz morado para obtener un mayor aprovechamiento de los compuestos fenólicos.

Lo anterior, brinda información relevante para la industria alimentaria acerca de la utilización del maíz morado en la elaboración de arepas con el fin de potenciar sus propiedades funcionales y promover el consumo de un alimento con propiedades funcionales en una forma de preparación tradicional consumida por la población colombiana.

## **9 RECOMENDACIONES**

Para estudios posteriores se recomienda realizar la extracción de compuestos fenólicos después del proceso de cocción en las arepas de maíz morado con el fin de determinar el impacto que tienen los tratamientos térmicos en la retención de estos. De igual manera se sugiere buscar métodos alternativos en donde se minimicen las pérdidas de compuestos fenólicos durante los procesos de extracción y durante el procesamiento del maíz morado y así se puedan obtener mayores porcentajes de rendimiento. Un ejemplo sería encontrar metodologías en las que se utilicen otras formas de purificar y eludir los compuestos fenólicos. Además, existen procesos de nixtamalización en los que se generan mayores contenidos de compuestos fenólicos, por lo que se sugiere abundar con mayor profundidad en el tema.

Se sugiere realizar pruebas estadísticas que permita establecer la correlación entre el contenido total de compuestos fenólicos y la digestibilidad del almidón, mediante el coeficiente de relación de Pearson.

Adicionalmente existen otras técnicas por las cuales se puede someter. De manera que Debido a que en este estudio la digestión se realizó in vitro, se sugiere simular los procesos de la digestión en modelos in vivo en donde se logre determinar con mayor exactitud la velocidad en la que las fracciones de almidón de maíz morado se comportan ante la presencia de los compuestos fenólicos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilera-Otíz, Miguel, María del Carmen Reza-Vargas, Rodolfo Gerardo Chew-Madina, and Jorge Armando Meza-Velázquez. 2011. "Propiedades Funcionales De Las Antocianinas." *BIOtecnia* 13(2):16. doi: 10.18633/bt.v13i2.81.
- Amaya, Carlos. 2010. "Centro de Desarrollo de Productos Bióticos PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN DE PLÁTANO ( *Musa Paradisiaca* L .) SOMETIDO A UNA MODIFICACIÓN DUAL."
- Bello Pérez, L. A., G. A. Camelo Mendez, E. Agama Acevedo, and R. G. Utrilla Coello. 2016. "Nutraceutic Aspects of Pigmented Maize: Digestibility of Carbohydrates and Anthocyanins." *Agrociencia* 50(8):1041–63.
- Burgos, Janina, Sabrina Jara, and Paola Quintar. 2015. "Harina de Maíz Morado: Composición Nutricional. Elaboración de Galletitas. Determinación de Calidad Galletera y Evaluación Sensorial." *Repositorio Digital UNC* 1–109.
- Ccaccy, Ana María Ccaccya, Mercedes Soberón Lozano, and Inés Arnao Salas. 2019. "ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CIANIDINA-3- GLUCÓSIDO DEL MAÍZ MORADO (*Zea Mays* L.) DE TRES REGIONES DEL PERÚ." *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 85(2):206–15.
- David, Andrés, and Córdón Cardona. 2019. "Desarrollo de Una Bebida Láctea Fermentada Con Adición de Almidón de Camote ( *Ipomoea Batatas* ) Modificado Físicamente Desarrollo de Una Bebida Láctea Fermentada Con Adición de Almidón de Camote ( *Ipomoea Batatas* ) Modificado Físicamente."
- Diao, Y., X. Si, W. Shang, Z. Zhou, Z. Wang, P. Zheng, P. Strappe, and C. Blanchard. 2017. "Effect of Interactions between Starch and Chitosan on Waxy Maize Starch Physicochemical and Digestion Properties." *CYTA - Journal of Food* 15(3):327–35. doi: 10.1080/19476337.2016.1255916.
- Dios-lópez, Alonso De, and Efigenia Montalvo-gonzález. 2011. "INDUCCIÓN DE ANTOCIANINAS Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN CULTIVOS CELULARES DE JAMAICA ( *Hibiscus Sabdariffa* L .) in Vitro." 17(2):77–87.
- Esarrollo, D. 2010. ", A. C."
- Ferreirade de Araujo, P. R., J. A. Silva, V. da Silva Santos, A. Rodrigues Machado, R. da Silva Rodrigues, and C. Gevehr Fernandes. 2011. "Benefits of Blackberry Nectar (*Rubus* Spp.) Relative to Hypercholesterolemia and Lipid Peroxidation." *Nutricion Hospitalaria* 26(5):994. doi: 10.3305/nh.2011.26.5.5145.
- Fin, Trabajo, D. E. Master Practicum, Máster En, Biotecnología Industrial, Emilio Molina, Grima Ual, Antonio Pallarés, and Bayo Deretil. n.d. "NATURALES DE INTERÉS INDUSTRIAL Alumno : JOSÉ LUIS TRILLO CONTRERAS Tutores :"
- Garde-Cerdán, Teresa, Ana Gonzalo-Diago, and Eva P. Pérez-Álvarez. 2017. "Phenolic

Compounds : Types, Effects, and Research.”

Garz, Gloria Astrid. 2008. “LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS : REVISIÓN Anthocyanins As Natural Colorants And Bioactive Compounds . A Review.” 13(3):27–36.

Giraldo, Andrés, Reinaldo J. Velasco, and Héctor S. Villada. 2008. “Digestibilidad Aparente de Una Harina Proveniente de Hojas de Yuca (Manihot Esculenta Crantz).” *Información Tecnológica* 19(1):11–17. doi: 10.4067/S0718-07642008000100003.

Harakotr, Bhornchai, Bhalang Suriharn, Ratchada Tangwongchai, Marvin Paul Scott, and Kamol Lertrat. 2014. “Anthocyanin, Phenolics and Antioxidant Activity Changes in Purple Waxy Corn as Affected by Traditional Cooking.” doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.069.

Hu, X., H. Liu, Y. Yu, G. Li, X. Qi, Y. Li, T. Li, X. Guo, and R. H. Liu. 2021. “Accumulation of Phenolics, Antioxidant and Antiproliferative Activity of Sweet Corn (Zea Mays L.) during Kernel Maturation.” *International Journal of Food Science and Technology* 56(5):2462–70. doi: 10.1111/ijfs.14879.

López-Espíndola, Mirna, José Andrés Herrera-Corredor, Juan Manuel Balderas-López, Adrián Argumedo-Macías, Aleida Selene Hernández-Cázares, and Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo. 2020. “Physicochemical Characterization of Corn Masses (Zea Mays L.) Nixtamalized: Case Córdoba, Veracruz, Mexico.” *Caracterización Fisicoquímica de Masas de Maíz (Zea Mays L.) Nixtamalizado: Caso Córdoba, Veracruz, México.* 13(2):9–14.

Martín, María Dueñas, Amaia Iriondo dehond, and María Dolores. 2018. “Carbohidratos Introducción Material y Métodos.” 24(1).

Morado, Camote, and E. L. Rábano Y. La. 2014. “TESIS: EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS ACILADAS OBTENIDAS DEL CAMOTE MORADO, EL RÁBANO Y LA CAMPANILLA ROJA.”

Moser, Sydney, Ingrid Aragon, Amber Furrer, Jan Willem Van Klinken, Melissa Kaczmarczyk, Byung Hoo Lee, Judy George, Bruce R. Hamaker, Richard Mattes, and Mario G. Ferruzzi. 2018. “Potato Phenolics Impact Starch Digestion and Glucose Transport in Model Systems but Translation to Phenolic Rich Potato Chips Results in Only Modest Modification of Glycemic Response in Humans.” *Nutrition Research* 52:57–70. doi: 10.1016/j.nutres.2018.02.001.

Motohashi, Noboru. 2012. “Anthocyanins: Structure, Biosynthesis and Health Benefits.”

Muñoz C., William, William Chavez R., Ludy C. Pabón, Margarita R. Rendón F., Maria Patricia-Chaparro, and Ángela M. Otálvaro-Álvarez. 2015. “Extracción de Compuestos Fenólicos Con Actividad Antioxidante a Partir de Champa (Campomanesia Lineatifolia).” *Revista CENIC Ciencias Químicas* 46:38–46.

Parada S, Javier Alejandro, and Jaime Rozowski N. 2008. “Relación Entre La Respuesta

Glicémica Del Almidón y Su Estado Microestructural.” *Revista Chilena de Nutricion* 35(2). doi: 10.4067/S0717-75182008000200001.

Redan, Benjamin W., Kimberly K. Buhman, Janet A. Novotny, and Mario G. Ferruzzi. 2016. “Altered Transport and Metabolism of Phenolic Compounds in Obesity and Diabetes: Implications for Functional Food Development and Assessment.” *Advances in Nutrition: An International Review Journal* 7(6):1090–1104. doi: 10.3945/an.116.013029.

Rosas, Marina García, and Rosalva Mora. 1997. “MAIZ.” 11340.

Saha, Sarmistha, Emiliano Panieri, Sibel Suzen, and Luciano Saso. 2020. “The Interaction of Flavonols with Membrane Components : Potential Effect on Antioxidant Activity.” 57–71.

Santos-sánchez, Norma F., Raúl Salas-coronado, Rogelio Valadez-blanco, Beatriz Hernández-carlos, and Paula C. Guadarrama-mendoza. 2017. “Natural Antioxidant Extracts as Food Preservatives \*.”

Segura, Alexandra, and Diana Castro. 2020. “No Title.” 1–2.

Vázquez Sánchez Yolanda. 2012. “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.” *Tesis* 101.

Villarreal Silva, Mariana, Francisco Castrejón Pineda, Alejandro Plascencia, Lourdes Carolina Pujol, Alfredo Estrada-Angulo, Francisco Gerardo Ríos-Rincón, Jesús Manuel Cortez Sánchez, Manuel Cuca-García, and Luis Corona. 2015. “Características Fisicoquímicas de Nueve Híbridos de Sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench) y Su Relación Con El Contenido de Almidón y Digestión Ruminal.” *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6(3):243–61. doi: 10.22319/rmcp.v6i3.4089.

Villarroel, Pía, Camila Gómez, Camila Vera, Jairo Torres, Dirigir la correspondencia, and Pía Villarroel Heise. 2018. “(No Title).” *Rev Chil Nutr* 45(3):271–78. doi: 10.4067/S0717-75182018000400271.

Aguilera-Otíz, Miguel, María del Carmen Reza-Vargas, Rodolfo Gerardo Chew-Madinaveita, and Jorge Armando Meza-Velázquez. 2011. “Propiedades Funcionales De Las Antocianinas.” *BIOtecnia* 13(2):16. doi: 10.18633/bt.v13i2.81.

Amaya, Calrlos. 2010. “Centro de Desarrollo de Productos Bióticos PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN DE PLÁTANO ( *Musa Paradisiaca* L .) SOMETIDO A UNA MODIFICACIÓN DUAL.”

Bello Pérez, L. A., G. A. Camelo Mendez, E. Agama Acevedo, and R. G. Utrilla Coello. 2016. “Nutraceutic Aspects of Pigmented Maize: Digestibility of Carbohydrates and Anthocyanins.” *Agrociencia* 50(8):1041–63.

- Burgos, Janina, Sabrina Jara, and Paola Quintar. 2015. "Harina de Maíz Morado: Composición Nutricional. Elaboración de Galletitas. Determinación de Calidad Galletera y Evaluación Sensorial." *Repositorio Digital UNC* 1–109.
- Ccaccy, Ana María Ccaccya, Mercedes Soberón Lozano, and Inés Arnao Salas. 2019. "ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CIANIDINA-3- GLUCÓSIDO DEL MAÍZ MORADO (Zea Mays L.) DE TRES REGIONES DEL PERÚ." *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 85(2):206–15.
- David, Andrés, and Córdón Cardona. 2019. "Desarrollo de Una Bebida Láctea Fermentada Con Adición de Almidón de Camote ( Ipomoea Batatas ) Modificado Físicamente Desarrollo de Una Bebida Láctea Fermentada Con Adición de Almidón de Camote ( Ipomoea Batatas ) Modificado Físicamente."
- Diao, Y., X. Si, W. Shang, Z. Zhou, Z. Wang, P. Zheng, P. Strappe, and C. Blanchard. 2017. "Effect of Interactions between Starch and Chitosan on Waxy Maize Starch Physicochemical and Digestion Properties." *CYTA - Journal of Food* 15(3):327–35. doi: 10.1080/19476337.2016.1255916.
- Dios-lópez, Alonso De, and Efigenia Montalvo-gonzález. 2011. "INDUCCIÓN DE ANTOCIANINAS Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN CULTIVOS CELULARES DE JAMAICA ( Hibiscus Sabdariffa L .) in Vitro." 17(2):77–87.
- Esarrollo, D. 2010. " , A. C."
- Ferreirade de Araujo, P. R., J. A. Silva, V. da Silva Santos, A. Rodrigues Machado, R. da Silva Rodrigues, and C. Gevehr Fernandes. 2011. "Benefits of Blackberry Nectar (Rubus Spp.) Relative to Hypercholesterolemia and Lipid Peroxidation." *Nutricion Hospitalaria* 26(5):994. doi: 10.3305/nh.2011.26.5.5145.
- Fin, Trabajo, D. E. Master Practicum, Máster En, Biotecnología Industrial, Emilio Molina, Grima Ual, Antonio Pallarés, and Bayo Deretil. n.d. "NATURALES DE INTERÉS INDUSTRIAL Alumno : JOSÉ LUIS TRILLO CONTRERAS Tutores :"
- Garde-Cerdán, Teresa, Ana Gonzalo-Diago, and Eva P. Pérez-Álvarez. 2017. "Phenolic Compounds : Types, Effects, and Research."
- Garz, Gloria Astrid. 2008. "LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS : REVISIÓN Anthocyanins As Natural Colorants And Bioactive Compounds . A Review." 13(3):27–36.
- Giraldo, Andrés, Reinaldo J. Velasco, and Héctor S. Villada. 2008. "Digestibilidad Aparente de Una Harina Proveniente de Hojas de Yuca (Manihot Esculenta Crantz)." *Información Tecnológica* 19(1):11–17. doi: 10.4067/S0718-07642008000100003.
- Harakotr, Bhornchai, Bhalang Suriharn, Ratchada Tangwongchai, Marvin Paul Scott, and Kamol Lertrat. 2014. "Anthocyanin, Phenolics and Antioxidant Activity Changes in Purple Waxy Corn as Affected by Traditional Cooking." doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.069.

- Hu, X., H. Liu, Y. Yu, G. Li, X. Qi, Y. Li, T. Li, X. Guo, and R. H. Liu. 2021. "Accumulation of Phenolics, Antioxidant and Antiproliferative Activity of Sweet Corn (*Zea Mays* L.) during Kernel Maturation." *International Journal of Food Science and Technology* 56(5):2462–70. doi: 10.1111/ijfs.14879.
- López-Espíndola, Mirna, José Andrés Herrera-Corredor, Juan Manuel Balderas-López, Adrián Argumedo-Macías, Aleida Selene Hernández-Cázares, and Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo. 2020. "Physicochemical Characterization of Corn Masses (*Zea Mays* L.) Nixtamalized: Case Córdoba, Veracruz, Mexico." *Caracterización Fisicoquímica de Masas de Maíz (Zea Mays L.) Nixtamalizado: Caso Córdoba, Veracruz, México*. 13(2):9–14.
- Martín, María Dueñas, Amaia Iriondo dehond, and María Dolores. 2018. "Carbohidratos Introducción Material y Métodos." 24(1).
- Morado, Camote, and E. L. Rábano Y. La. 2014. "TESIS: EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS ACILADAS OBTENIDAS DEL CAMOTE MORADO, EL RÁBANO Y LA CAMPANILLA ROJA."
- Moser, Sydney, Ingrid Aragon, Amber Furrer, Jan Willem Van Klinken, Melissa Kaczmarczyk, Byung Hoo Lee, Judy George, Bruce R. Hamaker, Richard Mattes, and Mario G. Ferruzzi. 2018. "Potato Phenolics Impact Starch Digestion and Glucose Transport in Model Systems but Translation to Phenolic Rich Potato Chips Results in Only Modest Modification of Glycemic Response in Humans." *Nutrition Research* 52:57–70. doi: 10.1016/j.nutres.2018.02.001.
- Motohashi, Noboru. 2012. "Anthocyanins: Structure, Biosynthesis and Health Benefits."
- Muñoz C., William, William Chavez R., Ludy C. Pabón, Margarita R. Rendón F., Maria Patricia-Chaparro, and Ángela M. Otálvaro-Álvarez. 2015. "Extracción de Compuestos Fenólicos Con Actividad Antioxidante a Partir de Champa (*Campomanesia Lineatifolia*)." *Revista CENIC Ciencias Químicas* 46:38–46.
- Parada S, Javier Alejandro, and Jaime Rozowski N. 2008. "Relación Entre La Respuesta Glicémica Del Almidón y Su Estado Microestructural." *Revista Chilena de Nutricion* 35(2). doi: 10.4067/S0717-75182008000200001.
- Redan, Benjamin W., Kimberly K. Buhman, Janet A. Novotny, and Mario G. Ferruzzi. 2016. "Altered Transport and Metabolism of Phenolic Compounds in Obesity and Diabetes: Implications for Functional Food Development and Assessment." *Advances in Nutrition: An International Review Journal* 7(6):1090–1104. doi: 10.3945/an.116.013029.
- Rosas, Marina García, and Rosalva Mora. 1997. "MAIZ." 11340.
- Saha, Sarmistha, Emiliano Panieri, Sibel Suzen, and Luciano Saso. 2020. "The Interaction of Flavonols with Membrane Components : Potential Effect on Antioxidant Activity." 57–71.
- Santos-sánchez, Norma F., Raúl Salas-coronado, Rogelio Valadez-blanco, Beatriz

Hernández-carlos, and Paula C. Guadarrama-mendoza. 2017. "Natural Antioxidant Extracts as Food Preservatives \*."

Segura, Alexandra, and Diana Castro. 2020. "No Title." 1–2.

Vázquez Sánchez Yolanda. 2012. "Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito." *Tesis* 101.

Villarreal Silva, Mariana, Francisco Castrejón Pineda, Alejandro Plascencia, Lourdes Carolina Pujol, Alfredo Estrada-Angulo, Francisco Gerardo Ríos-Rincón, Jesús Manuel Cortez Sánchez, Manuel Cuca-García, and Luis Corona. 2015. "Características Fisicoquímicas de Nueve Híbridos de Sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench) y Su Relación Con El Contenido de Almidón y Digestión Ruminal." *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6(3):243–61. doi: 10.22319/rmcp.v6i3.4089.

Villarroel, Pía, Camila Gómez, Camila Vera, Jairo Torres, Dirigir la correspondencia, and Pia Villarroel Heise. 2018. "(No Title)." *Rev Chil Nutr* 45(3):271–78. doi: 10.4067/S0717-75182018000400271.