



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL**

**ELABORACIÓN DE BEBIDAS A BASE DE DOS RAZAS DE MAÍZ CON  
PROPIEDADES FUNCIONALES**

Por

**LEONOR BONILLA VEGA**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ELÍAS HERNÁNDEZ CASTRO

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2021.


### APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de la Ing. Leonor Bonilla Vega la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



---

Dr. Elías Hernández Castro  
Director de Tesis



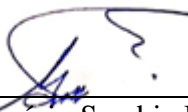
---

Dr. José Luis Valenzuela Lagarda  
Co-Director de Tesis



---

Dra. Mirna Villamar Vázquez  
Asesora



---

Dr. Gregorio Sarabia Ruiz  
Asesor

ROBERTO GUTIÉRREZ DORADO

---

Dr. Roberto Gutiérrez Dorado  
Asesor

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a **Dios** por darme la oportunidad de llegar a este punto de mi vida, y llevarme por un camino en el que he encontrado gente buena que me ha dado buenos consejos.

A mi **papá Gabino**, por todos los esfuerzos y sacrificios que ha hecho por su familia, por el gran ejemplo que me ha dado y por su amor incondicional. Por apoyarme siempre en todas y cada una de mis decisiones.

A **mi mamá Guadalupe**, por su amor incondicional, por su apoyo y motivación en cada uno de mis pasos. Por formarme con valores y principios que me ayudan a ser mejor persona y por ayudarme a superar cualquier obstáculo.

A mis hermanos, Alejandra y Manuel por su amor y su apoyo que me ayudan a seguir adelante, por su motivación a seguir creciendo.

Al posgrado de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, por permitirme realizar los estudios de posgrado y ser parte de mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para poder seguir con mis estudios de posgrado.

A los profesores de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local por compartir sus conocimientos y experiencias, contribuyendo a mi formación académica.

Al Dr. José Luis Valenzuela Lagarda por confiar en mí y darme la oportunidad de crecer en el ámbito académico, por todo su apoyo a lo largo del posgrado, por compartir su conocimiento y ayudarme en todo momento en que lo necesite.

Al Dr. Elías Hernández Castro, por darme la oportunidad de ser parte de su equipo y compartirme su conocimiento, por ayudarme siempre que lo necesite.

Al Dr. Roberto Gutiérrez Dorado por aceptarme en su laboratorio, por su disposición en todo momento para resolver cada una de mis dudas con paciencia; gracias por transmitir a sus alumnos el amor por su trabajo.

A la Dra. Xiomara Perales Sánchez y Luisa Fernanda Madrigales Reátiga, por asesorarme y compartir sus conocimientos con paciencia; por estar siempre pendiente de lo que necesitaba y apoyarme cada vez que la necesite.

A todas y cada una de las personas que me apoyaron y creyeron en mí. Muchas gracias.

## DEDICATORIA

A mi padre Gabino, la persona que más amo, admiro y respeto.

A mi madre Guadalupe, quien siempre está apoyándome y acompañándome. Sin ella nada sería posible.

Todos mis logros son por y para ustedes. Me enorgullece ser su hija

# INDICE

<b>RESUMEN GENERAL</b> .....	1
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	2
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>Objetivo general</b> .....	4
<b>Objetivos particulares</b> .....	4
<b>HIPÓTESIS</b> .....	5
<b>Hipótesis general</b> .....	5
<b>Hipótesis particulares</b> .....	5
<b>JUSTIFICACION</b> .....	6
<b>CAPITULO 1. Effect of extrusion conditions on the antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins of pigmented native corn and its optimization process</b> .....	7
<b>RESUMEN</b> .....	8
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	11
<b>Material Vegetal</b> .....	11
<b>Preparación de la muestra</b> .....	11
<b>Obtención de harina de maíz criollo morado extrudida</b> .....	11
<b>Extrusión</b> .....	12
<b>Evaluación de las variables de respuesta</b> .....	12
<b>Resultados y discusión</b> .....	17
<b>Comprobación del modelo ajustado</b> .....	17
<b>Optimización</b> .....	29
<b>Conclusiones</b> .....	30
<b>CAPITULO II. Efecto de la extrusión sobre las características nutrimentales, fisicoquímicas y tecnologías de harinas de maíz pigmentado con potencial para el desarrollo de una bebida funcional</b> .....	31
<b>RESUMEN</b> .....	31
<b>Introducción</b> .....	31
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	33
<b>Material Vegetal</b> .....	33
<b>Preparación de la muestra</b> .....	33

<b>Obtención de harina de maíz criollo morado extrudida.....</b>	<b>33</b>
<b>Extrusión.....</b>	<b>34</b>
<b>Evaluación de las variables de respuesta.....</b>	<b>34</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>43</b>

## **RESUMEN GENERAL**

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial, México es considerado su centro de origen, y Latinoamérica destaca por su consumo en una gran diversidad de alimentos. Los maíces nativos pigmentados poseen un alto contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, el proceso de extrusión combina altas temperaturas y presiones que cambian la conformación estructural de los alimentos, incrementando el contenido de estos fitoquímicos. El objetivo del presente trabajo fue optimizar el proceso de extrusión para generar harinas de maíz extruida con las mejores propiedades fitoquímicas y tecnológicas. La optimización se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta, las variables independientes fueron: temperatura ( $T= 50$  a  $170$  °C) y velocidad del tornillo ( $SS= 50$ - $270$  rpm) y las variables dependientes: actividad antioxidante (AA), compuestos fenólicos totales (TFC), antocianinas totales (TA) e índice de solubilidad en agua (WSI). La optimización arrojó los siguientes valores: AOX y TPC  $640.07$  y  $331.58$  mg GAE/100g, respectivamente, TA:  $33.14$  mg EC3G/100 g y WSI:  $8.21\%$ , en condiciones de proceso  $T=50^{\circ}\text{C}$  y  $SS= 50$  rpm. se demostró que es posible generar harina de maíz extruida con propiedades fitoquímicas y tecnológicas adecuadas para el desarrollo de nuevos productos a base de maíz. La industria de bebidas ha presentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, en México el consumidor exige a esta industria el desarrollo de nuevos productos conforme la tendencia de estilos de vida más saludables y orientados al bienestar de la salud. Los maíces criollos pigmentados poseen un alto contenido de fitoquímicos con actividad antioxidante y funcional, por lo cual mediante el proceso de extrusión es factible potencializar estas propiedades para el desarrollo de bebidas funcionales elaboradas con harinas de maíces criollos pigmentados. El objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades nutrimentales y fitoquímicas de harinas de maíz pigmentado y su potencial para el desarrollo de bebidas funcionales. Se evaluaron las características nutrimentales y fitoquímicas antes y después del proceso de extrusión, y las propiedades tecnológicas de las harinas extruidas, así como, la aceptación de la bebida elaborada. Se puede concluir que las harinas de maíz rojo y morado poseen atributos para ser empleados para la elaboración de bebidas funcionales.

## **I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, México es considerado su centro de origen, y se caracteriza por amplia diversidad de germoplasma contando con 59 razas de maíz, siendo los más comunes para elaboración de productos son maíces blancos y amarillo. (Bello-Pérez et al, 2016). El maíz criollo y su cultivo se considera patrimonial y estratégico, (Velázquez-Cardelas, et al., 2018), en México principalmente en la zona centro se utilizan algunas variedades criollas pigmentadas, pero es muy poca la cantidad producida, ya que los productores principalmente lo utilizan para consumo y no para su comercialización (Bello-Pérez et al, 2016). Por su parte en estado de Guerrero el maíz se siembra en diferentes condiciones de altura que van desde el nivel del mar a los 2880 msnm (González-Mateos et al. 2017), esto permite tener una gran diversidad de morfotipos. Los maíces criollos han demostrado tener un contenido nutrimental adecuado para el desarrollo de productos alimenticios (Rivera-Castro et al. 2020). Dentro de los maíces criollos destacan los maíces criollos pigmentados destacando coloraciones que van desde el amarillo, rosa, azul, morado y negro de los cuales los que cuentan con características como colores más fuertes como el azul, morado y negro, los cuales se ha estudiado y comprobado la presencia de compuestos fenólicos libres y capacidad antioxidante, debido a estas características se han considerado como alimentos nutraceuticos. El proceso de extrusión, le confiere propiedades tecnológicas adecuadas a la harina de maíz, como el incremento de la capacidad de absorber agua lo cual es un atributo de gran importancia en la industria alimentaria, este fenómeno se debe a que la combinación de temperatura y altas presiones desdoblan las estructuras del almidón, permitiendo que la alosa y la amilopectina, puedan tener una mayor interacción con las moléculas de agua. (Ahmad y Kumar, 2018). Se han realizado diversos estudios, que demuestran que las harinas de maíz extruido poseen atributos nutrimentales, fitoquímicos y tecnológicos para el desarrollo de bebidas funcionales. La industria de bebidas ha presentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, en México el consumidor exige a esta industria el desarrollo de nuevos productos conforme la tendencia de estilos de vida más saludables y orientados al bienestar de la salud. Las bebidas funcionales, son productos que contienen en su formulación uno o más ingredientes con la propiedad de mejorar el estado de salud y reducir el riesgo de enfermedades (Arai, 2000). Las bebidas funcionales son el segmento de más rápido crecimiento (14% anual) del área de alimentos, debido a que son excelentes medios para suministrar nutrientes y compuestos bioactivos (péptidos, antioxidantes, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, fibra, prebióticos, probióticos) (Corbo y col 2014). Uno de los principales criterios para la aceptación de estas bebidas es el sabor y las características sensoriales. La formulación de bebidas de calidad alta, sensorialmente aceptables, es importante para que un nivel adecuado de consumo pueda favorecer la promoción de la salud y prevención de enfermedades. Actualmente, existen diversos estudios que han comprobado los beneficios de las bebidas funcionales en la salud, lo que ha despertado un gran interés por parte de los consumidores, generando así gran demanda y la necesidad de formular y evaluar nuevas bebidas, estas son elaboradas a base de mezclas de agua con frutas, vegetales y/o cereales de los cuales se aprovechan sus componentes debido

a que estos cumplen con las características para el desarrollo de alimentos funcionales (SANTANDER et al., 2017). Por estos motivos, es importante, el desarrollo de una investigación que permita conocer el efecto del proceso de extrusión sobre las características funcionales, nutrimentales y tecnológicas de los maíces criollos pigmentados, para generar harinas que permitan el desarrollo de bebidas funcionales con aceptación por parte del consumidor

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto del proceso de extrusión en las características nutrimentales, funcionales y sensoriales de una bebida elaborada con maíz criollo

### **Objetivos particulares**

Generar harina de maíz morado con propiedades físicas aceptables.

Evaluar el proceso de extrusión en la harina en dos tipos de raza de semilla de maíz (rojo y morado).

Evaluar las propiedades nutrimentales, fisicoquímicas y funcionales de los dos tipos de harinas resultantes de la extrusión

Evaluar sensorialmente la bebida funcional elaborada a base de maíces criollos.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

El proceso de extrusión en harina de maíz criollo puede mejorar las características nutrimentales, funcionales y sensoriales en la elaboración de una bebida.

### **Hipótesis particulares**

El maíz criollo permitirá obtener una harina con propiedades físicas aceptables.

El proceso de extrusión mejorará las propiedades funcionales e incrementará el contenido de antocianinas de la harina de maíz pigmentado.

El maíz criollo permite obtener una bebida funcional rica en antocianinas.

Se obtendrá una bebida funcional a base de maíz criollo con características sensoriales aceptables.

## **JUSTIFICACION**

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia económica y cultural de México, se considera que nuestro país su centro de origen y domesticación. Existen mas de 59 razas de maíces criollos, y el estado de Guerrero, posee una gran diversidad de maíces nativos. Dentro de los maíces nativos se encuentran una amplia gama de maíces pigmentados con coloraciones desde amarillo, naranja, rojo, azul, morado. Actualmente, el uso de este tipo de maíces ha despertado el interés de los consumidores, debido a su alto contenido de fitoquímicos con potencial nutracéutico. El proceso de extrusión es una operación unitaria que combina calor, presión y corte de cizalla ocasionando cambios en las matrices alimentarias, estos cambios, pueden potencializar el efecto nutracéutico de los compuestos fitoquimicos. El desarrollo de bebidas funcionales, ha tenido un gran aguje en los últimos años, ya que cada vez existe una mayor preocupación por el consumo de alimentos saludables. Por tal motivo, es necesario el desarrollo de una investigación que permita el aprovechamiento de los maices nativos pigmentados para el desarrollo de bebidas funcionales.

**CAPITULO 1. Effect of extrusion conditions on the antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins of pigmented native corn and its optimization process**  
**CAPITULO 1. Efecto de las condiciones de extrusión sobre la actividad antioxidante, compuestos fenólicos y antocianinas del maíz nativo pigmentado y su proceso de optimización**

Leonor Bonilla-Vega<sup>1</sup>, Elias Hernández-Castro E. <sup>1</sup>, Roberto Gutiérrez-Dorado<sup>2</sup>, Mirna Villamar-Vázquez<sup>1</sup>, Gregorio Sarabia-Ruiz<sup>1</sup>, Jose Luis Valenzuela-Lagarda<sup>2\*</sup>

1. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala, Guerrero, México
2. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México
3. Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, Universidad Autónoma de Guerrero, Cruz Grande, Guerrero, México

\*Corresponding autor: [joseluislagarda@uagro.mx](mailto:joseluislagarda@uagro.mx)

**Estado del artículo:** Enviado a la Revista Food Science and Technology; Revista JRC  
factor de impacto 1.756

## RESUMEN

Corn is one of the most important cereals worldwide, Mexico is considered its center of origin, and Latin America stands out for its consumption in a great diversity of foods. Pigmented native corn has a high content of phenolic compounds and anthocyanins, the extrusion process combines high temperatures and pressures that change the structural conformation of the food, increasing the content of these phytochemicals. The objective of this work was to optimize the extrusion process to generate extruded corn flour with the best phytochemical and technological properties. The optimization was carried out using the response surface methodology, the independent variables were: temperature ( $T = 50$  to  $170$  ° C) and screw speed ( $SS = 50$ - $270$  rpm) and the dependent variables: antioxidant activity (AA), total phenolic compounds (TFC), total anthocyanins (TA) and water solubility index (WSI). The optimization yielded the following values: AOX and TPC  $640.07$  and  $331.58$  mg GAE /  $100$ g, respectively, TA:  $33.14$  mg EC3G /  $100$  g and WSI:  $8.21\%$ , under process conditions  $T = 50$  ° C and  $SS = 50$  rpm. It was demonstrated that it is possible to generate extruded corn flour with suitable phytochemical and technological properties for the development of new corn-based products.

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial, México es considerado su centro de origen, y Latinoamérica destaca por su consumo en una gran diversidad de alimentos. Los maíces nativos pigmentados poseen un alto contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, el proceso de extrusión combina altas temperaturas y presiones que cambian la conformación estructural de los alimentos, incrementando el contenido de estos fitoquímicos. El objetivo del presente trabajo fue optimizar el proceso de extrusión para generar harinas de maíz extruida con las mejores propiedades fitoquímicas y tecnológicas. La optimización se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta, las variables independientes fueron: temperatura ( $T = 50$  a  $170$  °C) y velocidad del tornillo ( $SS = 50$ - $270$  rpm) y las variables dependientes: actividad antioxidante (AA), compuestos fenólicos totales (TFC), antocianinas totales (TA) e índice de solubilidad en agua (WSI). La optimización arrojó los siguientes valores: AOX y TPC  $640.07$  y  $331.58$  mg GAE/ $100$ g, respectivamente, TA:  $33.14$  mg EC3G/ $100$  g y WSI:  $8.21\%$ , en condiciones de proceso  $T = 50$ °C y  $SS = 50$  rpm.

se demostró que es posible generar harina de maíz extruida con propiedades fitoquímicas y tecnológicas adecuadas para el desarrollo de nuevos productos a base de maíz

## **INTRODUCCIÓN**

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, México es considerado su centro de origen, y se caracteriza por amplia diversidad de germoplasma contando con 59 razas de maíz, siendo los más comunes para elaboración de productos son maíces blancos y amarillo. (Bello-Pérez et al, 2016). El maíz criollo y su cultivo se considera patrimonial y estratégico, (Velázquez-Cardelas, et al., 2018), en México principalmente en la zona centro se utilizan algunas variedades criollas pigmentadas, pero es muy poca la cantidad producida, ya que los productores principalmente lo utilizan para consumo y no para su comercialización (Bello-Pérez et al, 2016). Por su parte en estado de Guerrero el maíz se siembra en diferentes condiciones de altura que van desde el nivel del mar a los 2880 msnm (González-Mateos et al. 2017), esto permite tener una gran diversidad de morfotipos. Los maíces criollos han demostrado tener un contenido nutrimental adecuado para el desarrollo de productos alimenticios (Rivera-Castro et al. 2020). Dentro de los maíces criollos destacan los maíces criollos pigmentados destacando coloraciones que van desde el amarillo, rosa, azul, morado y negro de los cuales los que cuentan con características como colores más fuertes como el azul, morado y negro, los cuales se ha estudiado y comprobado la presencia de compuestos fenólicos libres y capacidad antioxidante, debido a estas características se han considerado como alimentos nutraceuticos. Dependiendo de la unión y cantidad de los anillos de los compuestos fenólicos se puede determinar cuáles son los más abundantes en los alimentos, pero los más comunes en las plantas son los ácidos fenólicos y los flavonoides principalmente en antocianinas, estas características, son las que hacen que los maíces nativos pigmentados cuenten con mejor calidad nutricional que los maíces híbridos. (Rodríguez-Salinas et al, 2019). La capacidad antioxidante de los maices se encuentra directamente correlacionada con los polifenoles, flavonoides y antocianinas, estas características pueden verse afectadas por el genotipo y ubicación de crecimiento de la planta, y algunos autores han reportado que este cereal puede llegar a presentar mayor capacidad antioxidante que algunas frutas y verduras, atribuyendo esto a la mayor cantidad de grupos hidroxilos activos y configuraciones que permiten una interacción más eficiente contra los

radicales libres. Sin embargo, los procesos de industrialización convencionales, como la nixtamalización, ocasionan una disminución de actividad antioxidante, debido a la pérdida de fenólicos bioactivos durante el proceso alcalino y/o térmico. (Lao et al, 2017).

Otro componente importante en los maíces pigmentados criollos es el contenido de antocianinas, las cuales son un tipo de compuestos fenólicos solubles en agua que le dan el color tan característico. El uso del maíz es muy diverso, principalmente se utiliza en alimentos como tortillas, botanas, gorditas, tamales, pinoles, atoles, tostadas, elotes entre muchos otros, pero también tiene usos como en la industria textil y en elaboración de cosméticos. (Bello-Pérez et al, 2016). El método más conocido (en alimentos) para procesar maíz ha sido por mucho tiempo la nixtamalización, sin embargo, sus condiciones alcalinas y las altas temperaturas empleadas, causan la degradación y pérdida de los compuestos fenólicos y antocianinas. Diversos autores, señalan que el proceso de extrusión es una excelente alternativa para el procesamiento del maíz, y la preservación de estos fitoquímicos, y esto se debe a la combinación de altas temperaturas por cortos tiempos (entre otras), el cual ayuda a la cocción del alimento, la desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón, aumento de la fibra dietética soluble e incremento de antocianinas y compuestos fenólicos disponibles. (Almiduris, et al. 2019). Dependiendo de las condiciones de proceso, principalmente temperatura y velocidad de tornillo, ocurren cambios conformacionales en la matriz alimentaria y su interacción con los compuestos fenólicos, permitiendo su liberación y así ser más accesibles. (Wang et al. 2014). El proceso de extrusión, también le confiere propiedades tecnológicas adecuadas a la harina de maíz, como el incremento de la capacidad de absorber agua lo cual es un atributo de gran importancia en la industria alimentaria, este fenómeno se debe a que la combinación de temperatura y altas presiones desdoblan las estructuras del almidón, permitiendo que la alosa y la amilopectina, puedan tener una mayor interacción con las moléculas de agua. (Ahmad y Kumar, 2018). El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la extrusión sobre el contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y antocianinas en maíz morado criollo del estado de Guerrero.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Material Vegetal.**

El maíz empleado fue cultivado y colectado durante el ciclo primavera-verano (PV) 2018, en la huerta experimental del Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, de la Universidad Autónoma de Guerrero, localizadas en el municipio de Florencio Villareal en el estado de Guerrero, sobre la carretera Cruz Grande-Ayutla km 0.5, en las coordenadas geográficas 16° 44' 02.2'' latitud norte y 99° 07' 48.5'' longitud Oeste; con un clima cálido sub-húmedo (Aw), precipitación 1 100 mm, temperatura media anual de 25 °C, humedad relativa promedio de 85% a 16 msnm (INEGI, 2019).

### **Preparación de la muestra**

El grano de maíz fue pulverizado hasta obtener un tamaño de partícula  $\leq 0.420$  mm empleando un molino para granos de laboratorio Modelo LM3100 (Perten Instrument, Stockholm, Sweden). Posteriormente cada una de las harinas se acondicionó con agua destilada hasta obtener una humedad del 15%, las mezclas humectadas se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron (4°C/8 h). Antes de la extrusión se atemperaron (25°C/1 h).

### **Obtención de harina de maíz criollo morado extrudida.**

Para la obtención de harinas de maíz criollo morado extrudida se utilizó el proceso descrito por Milán-Carrillo y col (2012) con ligeras modificaciones. El proceso de extrusión se optimizó para obtener harina de maíz extrudida con contenidos de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, antocianinas e índice de solubilidad de agua altos. La Metodología de Superficie de Respuesta, como herramienta de optimización, se aplicó sobre 4 variables de respuesta. Se utilizó un diseño central compuesto rotatable con dos factores [Temperatura de extrusión (TE, 50-170°C), velocidad de tornillo (VT, 50-240 rpm)] en cinco niveles; el diseño generó 13 tratamientos.

## **Extrusión**

La extrusión se llevó a cabo en un extrusor de tornillo simple modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, USA) con un diámetro de tornillo de 19mm; relación longitud – diámetro 20:1; relación de compresión 1:1 y dado de salida de 3 mm. Se corrieron los 13 tratamientos, con diferentes combinaciones TE/VT, presentados en el Cuadro 1. Los extrudidos provenientes de cada tratamiento se colectaron en charolas de aluminio perforadas y se enfriaron a medio ambiente. Los extrudidos secos se molturaron (Perten Laboratory Mill 3100) hasta pasar por malla 80 (0.180 mm), se envasaron herméticamente en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4°C hasta su utilización. Estas harinas fueron reconocidas como harina de maíz extrudido, provenientes de cada uno de los 13 tratamientos, a los cuales se les evaluó compuestos de fenólicos totales, actividad antioxidante, antocianinas e índice de solubilidad de agua.

## **Evaluación de las variables de respuesta**

### **Extracción de fitoquímicos libres**

La extracción de fitoquímicos libres se realizó acorde a la metodología propuesta por Adom y Liu (2002). Los fitoquímicos libres se extrajeron a partir de 0.5 g de muestra a que se adicionaron 10 mL de etanol al 80% (v/v). La suspensión se agitó en un Rotator (OVAN Noria R, EUA 2010) a velocidad 25 por 10 min y después se centrifugó (3,000g/10°C/10 min). Se separó el sobrenadante, se colocó en tubo cónico y se concentró (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation) a 45°C a presión baja hasta alcanzar un volumen final de 2 mL. El extracto se almacenó a -20°C hasta su utilización. La extracción se realizó por cuadruplicado.

### **Extracción de fitoquímicos ligados**

La extracción de fitoquímicos ligados se realizó según el procedimiento de Adom y Liu (2002) con modificaciones (Mora-Rochín y col, 2010) (Fig 5). El precipitado se digirió con 10 mL de NaOH 2 M, se eliminó el oxígeno en presencia de N<sub>2</sub> gas y la muestra se sometió a tratamiento térmico (baño María a 95°C/30 min), posteriormente se agitó durante 1 h a temperatura ambiente (25°C). La mezcla se neutralizó con 2 mL de HCl concentrado, se agitó por 2 min en un vortex y se agitó en un rotator (OVAN noria R, EUA 2010) con velocidad

25 por 10 min e inmediatamente después se le agregaron 10 mL de hexano para remover lípidos; se realizó la misma operación de agitación mediante el vortex y rotator, se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) y se extrajo el hexano. La mezcla resultante se extrajo con 10 mL de acetato de etilo, se agitó por 2 min (vortex) y se pasó a una agitación en un rotator (OVAN noria R, EUA 2010) con velocidad 25 por 10 min y se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) Se extrajo el acetato de etilo y se almacenó en un tubo cónico; esta extracción se realizó 4 veces. La fracción de acetato de etilo se evaporó hasta sequedad (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation). Los extractos se reconstituyeron con metanol y se almacenaron a -20°C hasta su posterior utilización. Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado.

### **Compuestos fenólicos totales (CFT)**

Se empleó el método desarrollado por Folin-Ciocalteu; para lo cual el extracto fue oxidado con el reactivo de Folin-Ciocalteu, transcurridos tres minutos la reacción se detuvo con una solución de carbonato de sodio, y se dejó en obscuridad (120 min), para determinar la absorbancia a 725 nm. Se empleó como estándar ácido gálico con una curva de calibración de 0 a 0.4 mg\*ml<sup>-1</sup>.

### **Actividad antioxidante (DPPH)**

La actividad antiradical DPPH de los extractos de harinas se determinó mediante el procedimiento descrito por Shimamura y col (2014) con ligeras modificaciones para su lectura en un espectrofotómetro. El método de DPPH se utiliza para determinar la capacidad de los antioxidantes presentes en una muestra para donar hidrógenos y/o electrones para eliminar los radicales DPPH (2,2-dienil1-picrahidrazil) al crear la forma no radical DPPH-H. Cuando el radical libre es capturado, el color de la solución de DPPH cambia de un color morado oscuro a un amarillo brillante y la absorbancia a 520 nm disminuye (Brand-Williams y col, 1995). Se preparó una solución DPPH (0.2 µM), después de 30 min de incubación a temperatura ambiente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 517 nm. Se utilizó como estándar una curva de Trolox (ET) por 100 g de muestra en base seca (µmol de ET/100 g, bs).

## Determinación de antocianinas

El contenido total de antocianinas (Ant) se evaluó de acuerdo a Abdel-Aal y Hucl (1999). Se pesó 0.5 g de muestra el cual se homogenizó en 10 mL de una solución de metanol acidificado (95 % metanol y 1 N de HCl 85:15, v/v) en un tubo de centrifuga de 10 mL. Al tubo con la muestra se le inyectó nitrógeno gas para eliminar el O<sub>2</sub>, se agitó por 30 min y posteriormente se centrifugó (30,000xg / 4 °C /10 min) (Sorvall RCSC, Sorvall Instruments, Dupont, Wilmington, DE, EUA); se recolectó el sobrenadante. La absorbancia de los extractos se leyó a 353 nm y 700 nm en un lector de microplacas (Synergy<sup>TM</sup> HY Multi—detection, DioTek, Inc., Winooski, VT, EUA). El contenido de antocianinas se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$TA = \left[ \frac{A_{535nm} - A_{700nm}}{\epsilon} \right] * [(Vol. Total del extracto) * (PM)] * \left[ \frac{1}{Peso de la muestra} \right]$$

Dónde: *TA* = total antocianinas (mg de Cianidina 3-Glucósido/ g muestra); *A*= Absorbancia;  $\epsilon$  = Absorción molar de Cianidina 3-Glucósido = 25,965/cm/M); *PM* = Peso molecular de Cianidina 3-Glucósido (449.2g)

## Índice de solubilidad en agua (WSI)

Para estas evaluaciones se utilizó el método descrito por Anderson y col (1969). Una muestra de harina de 2.5 g se suspendió en 30 ml de agua a 30°C en un tubo para centrifuga de 50 ml previamente tarado. La suspensión se agitó en agitador orbital a velocidad moderada (250 rpm / 30 min) y posteriormente se centrifugó (3000xg / 30°C/10 min). El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El ISA, expresado como gramos de sólidos por gramo de sólidos originales, se calculó a partir de peso de sólidos secos recuperados mediante evaporación del sobrenadante (110°C / 12 h). Ambos índices se determinaron por triplicado.

## Diseño experimental y análisis estadístico

Para determinar el efecto de las condiciones del proceso de extrusión y su optimización se empleó la metodología de superficie de respuesta (RSM) mediante el paquete estadístico Design Expert, versión 11. Los rangos de las condiciones de proceso se seleccionaron de

acuerdo con la literatura y ajustados mediante un análisis preliminar. El esquema del diseño experimental con los niveles y variables de proceso empleados se presentan en la Tabla 1. Las variables independientes consideradas para este estudio fueron la temperatura del barril de la última zona (T= 50 a 170 °C) y la velocidad del tornillo (VT= 50-270 rpm). Se utilizó un diseño central compuesto rotatable con dos factores [Temperatura de extrusión (TE, 50-170°C), velocidad de tornillo (VT, 50-240 rpm)] en cinco niveles, el diseño generó 13 tratamientos. (Myers, 1971). Los experimentos fueron aleatorizados para minimizar el sesgo sistemático de los factores externos sobre las variables de respuestas. Las variables de respuesta (actividad antioxidante (AA), compuestos fenólicos totales (TFC) , antocianinas totales (TA) e índice de solubilidad en agua (WSI)) se obtuvieron cuando los resultados del diseño experimental propuesto se sometieron a análisis de regresión para evaluar los efectos de la temperatura e proceso y velocidad de tornillo. Un modelo de regresión polinomial

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2$$

Con la finalidad de ajustar los datos experimentales para cada respuesta de las variables dependientes se empleó el paquete estadístico Design expert (versión 7.0), donde  $X_i$ ,  $X_iX_i$  y  $X_iX_j$  son el efecto lineal, cuadrático y de interacción de las variables de entrada que influyen en la respuesta (Y), respectivamente.  $\beta_0$ ,  $\beta_i$  y  $\beta_{ij}$  son los coeficientes de regresión que se determinarán. Las gráficas de superficie de respuesta para estos modelos se trazaron en función de la interacción de las dos variables.

La técnica de optimización numérica también se realizó con un software Design Expert Versión 11, para la optimización simultánea de las múltiples variables de respuestas. Se eligieron las metas deseadas para cada variable y su respuesta. Todas las variables independientes se mantuvieron dentro de sus respectivos rangos mientras se maximizaban las respuestas. Las variables de respuesta que se optimizaron en las harinas extruidas fueron AOX, TPC, TA y WSI, todas ellas en busca de sus valores máximos. Para encontrar una solución que maximice las respuestas múltiples, los objetivos se combinaron en una función compuesta general llamada función de deseabilidad. Luego, la optimización numérica encontró un punto que maximizó la función de deseabilidad. Se evaluó experimentalmente

la validación de las condiciones del proceso de extrusión de nixtamalización estimadas por el modelo, para lo cual se realizó el proceso de extrusión de las harinas de maíz pigmentado bajo las condiciones del tratamiento optimizado, posteriormente se determinaron nuevamente los parámetros de AOX, TPC, TA y WSI, y los valores obtenidos fueron comparados con los valores predichos por el modelo.

Table 1–Central composite design arrangement for the process optimization and main values for each response variable.

Process factors			Response variables			
Tr	T (°C)	SS (rpm)	AOX mgGAE/100g	TPC mg GAE/100 g	T mg EC3g/100 g	WSI %
1	68	78	297.97 ± 2.98	591.77 ± 6.01	26.04 ± 0.38	5.25 ± 0.12
2	152	78	268.06 ± 2.52	551.03 ± 6.33	9.83 ± 0.21	4.92 ± 0.27
3	68	212	289.72 ± 1.54	552.90 ± 1.26	16.23 ± 0.01	4.75 ± 0.32
4	152	212	312.24 ± 5.02	602.98 ± 5.49	17.58 ± 0.54	5.46 ± 0.34
5	50	145	330.53 ± 4.02	661.62 ± 6.49	18.36 ± 0.20	8.96 ± 0.32
6	170	145	311.91 ± 6.91	586.90 ± 5.24	6.37 ± 0.11	5.58 ± 0.33
7	110	50	278.94 ± 3.87	553.60 ± 4.25	17.69 ± 0.69	4.15 ± 0.17
8	110	240	273.27 ± 5.97	536.39 ± 4.24	16.62 ± 0.01	5.19 ± 0.24
9	110	145	276.06 ± 0.88	561.30 ± 9.15	14.36 ± 0.33	4.52 ± 0.29
10	110	145	275.04 ± 1.55	567.53 ± 6.49	16.38 ± 0.21	3.58 ± 0.16
11	110	145	284.09 ± 3.19	556.66 ± 7.95	16.23 ± 0.02	4.96 ± 0.09
12	110	145	286.85 ± 3.67	565.87 ± 7.19	15.93 ± 0.12	6.30 ± 0.09
13	110	145	289.72 ± 4.65	571.78 ± 5.54	14.34 ± 0.28	4.82 ± 0.10

Tr: Treatment, T: Extrusion temperature, SS: Screw speed, TPC: Total phenolic compounds, AOX: Antioxidant activity, TA: Total anthocyanins, WSI: Water solubility index

## **Resultados y discusión**

### **Comprobación del modelo ajustado**

Se aplicó un análisis de superficie de respuesta a los datos experimentales. La Tabla 1 muestra las diferentes combinaciones de factores del proceso de extrusión (tratamientos) utilizados para obtener las harinas extruidas y los valores experimentales promedio de las tres repeticiones realizadas en el análisis de cada una de las variables de respuesta obtenidas para cada combinación. Se realizaron análisis de regresión y ANOVA para cada una de las variables de respuesta. La Tabla 2 presenta los coeficientes de regresión y los resultados de ANOVA del modelo de predicción de segundo orden, mostrando las relaciones entre las variables de respuesta y los factores de proceso (T y VT).

Los modelos predictivos en términos de factores codificados fueron:

$$\text{AOX} = +564.63 + 20.21 \cdot A \cdot B + 29.83 \cdot A^2 - 12.31 \cdot B^2$$

(P – value of model < 0.0001; adjusted R<sup>2</sup> = 0.8885)

$$\text{TPC} = +280.32 + 5.61 \cdot A \cdot B + 20.02 \cdot A^2$$

(P – value of model < 0.0001; adjusted R<sup>2</sup> = 0.8101)

$$\text{TA} = +14.84 - 3.98 \cdot A - 0.45 \cdot B + 4.39 \cdot A \cdot B + 1.63 \cdot B^2$$

(P – value of model = 0.0004 adjusted R<sup>2</sup> = 0.08541)

$$\text{WSI} = +4.84 + 1.90 \cdot A + 0.29 \cdot A \cdot B + 0.69 \cdot A^2$$

(P – value of model < 0.0001; adjusted R<sup>2</sup> = 0.9155)

### **Efecto de la T y la SS sobre los compuestos fenólicos**

Los valores de compuestos fenólicos totales se encontraron en un rango de 536.39-661.62 mg GAE/100 g (tabla 1), se puede observar una diferencia entre el tratamiento con menor contenido y el de mayor, el valor más alto (661.62 mg GAE/100 g bs) se encontró bajo las condiciones de TE:50 y VT:145 mientras que los valores menores (536.39 mg GAE/100 g bs) se encontraron en TE:110 y VT:240. En el estudio realizado por López y Baeza (2010) se evaluó el contenido de compuestos fenólicos en maíces criollos pigmentados crudos encontrado valores de 465 mEq Ac. Gálico/100 g bs., por lo que al compararlos con los resultados obtenidos en esta investigación se puede observar que el proceso de extrusión incrementa el contenido de compuestos fenólicos

En la figura 1.a, se puede observar que, manteniendo una temperatura fija baja de 50°C y al ir aumentando la velocidad de tornillo hasta llegar al 240 rpm se observa un efecto lineal disminuyendo la cantidad de compuestos fenólicos, por otro lado si se mantiene una velocidad de tornillo fija baja de 50 rpm y se va aumentando la temperatura se puede observar que los compuestos fenólicos van disminuyendo al llegar a una temperatura aproximada a

Table 2—Values of calculated regression coefficients, ANOVA results of the second-order polynomial models, and the effects of the process factors on response variables.

Process factors	Response variables			
	AOX mgGAE/100g	TPC mg GAE/100 g	T mg EC3g/100 g	WSI %
Intercept				
$\beta_0$	564.63	280.32	14.84	4.84
Lineal				
$\beta_1(T)$	0	0	-3.98 (P = 0.0002)	1.90 (P < 0.0001)
$\beta_2(VT)$	0	0	-0.4464 (P = 0.4883)	0
Quadratic				
$\beta_{11}(T)^2$	29.83 (P < 0.0001)	20.02 (P < 0.0001)	1.63 (P = 0.0369)	0.6938 (P = 0.0012)
$\beta_{22}(VT)^2$	-12.32 (P = 0.0096)	0	0	0
Interaction				
$\beta_{12}(T * VT)$	20.21 (P = 0.0028)	5.61 (P = 0.1639)	4.39 (P = 0.0010)	0.2877 (P = 0.1654)
Model (F value)	32.86	26.59	18.56	33.51
Model (P-value)	P < 0.0001	P < 0.0001	P = 0.0004	P < 0.0001
R <sup>2</sup>	0.9163	0.8417	0.9027	0.9437
Adjusted R <sup>2</sup>	0.8885	0.8101	0.8541	0.9155

Lack of fit	0.0878	0.3593	0.0772	0.5998
(P-value)				
CV (%)	1.72	2.55	10.97	7.16

Note: P values in the parentheses denote the statistical significance to the terms of the quadratic regression models; model terms with P values  $\leq 0.1$  are significant, whereas model and lack of fit with P values  $\leq 0.05$  are significant.  $\beta_1$ , Temperature;  $\beta_2$ , screw speed; AOX: Antioxidant activity, TPC: Total phenolic compounds, TA: total anthocyanins, WSI: Water solubility index.

los 110°C, al seguir avanzando y llegar a una temperatura de 170°C se observa que hay un incremento de compuestos fenólicos pero que no alcanzan el punto máximo y solo pueden llegar a la retención de mantener una cantidad considerable de compuestos fenólicos ya que en estas condiciones tienen un efecto en el proceso de degradación, se observa un efecto de las interacciones de temperatura y velocidad de tornillo, observando que al combinar bajas temperaturas con bajas velocidades de tonillo, y altas temperaturas con altas velocidades de tornillo, se obtienen valores más altos de compuestos fenólicos.

Esto se puede ser atribuido a la liberación de los compuestos fenólicos que interactúan con la matriz de la pared celular y que al someter el maíz pigmentado criollo a estas condiciones se vuelven más disponibles para el aprovechamiento de ellos. En cambio, al emplear temperatura alta combinada con una velocidad de tornillo baja, se daría una degradación de compuestos fenólicos ya que el maíz o nuestra materia prima estaría por más tiempo expuesto a una temperatura alta. Si utilizáramos condiciones contrarias una velocidad de tornillo alta con una temperatura de extrusión baja, no se podría realizar la liberación adecuada de los compuestos fenólicos que se encuentran de manera ligada y por consecuencia no podrían cuantificarse. Contrario a esto diversos estudios han demostrado que el proceso de extrusión provoca la disminución de compuestos fenólicos totales, compuestos de flavonoides totales contenido de taninos totales, en cebada, sorgos enteros y decorticados y semillas de trigo sarraceno descascaradas, pero esto ocurre por un proceso de descomposición y polimerización de estos compuestos. (Wang, et al. 2014). Estas diferentes opiniones se deben a que el proceso de extrusión se comporta diferente de acuerdo a las matrices que tiene el alimento, en este caso cambió el estado de los polifenoles no extraíbles a extraíbles gracias

al hidrolisis de la fibra o residuos de proteínas ligados a los polifenoles. En el caso de la patata roja se conservaron las propiedades de los compuestos fenólicos independientemente de la temperatura que se aplicara según lo que reporta el estudio de González et al, (2019), donde se observó que en harina de patata roja extrudida se han obtenido resultados de 2.88 mg AG/g BS mientas que en harina cruda solo se obtienen cantidades de 0.44 mg AG/g BS.

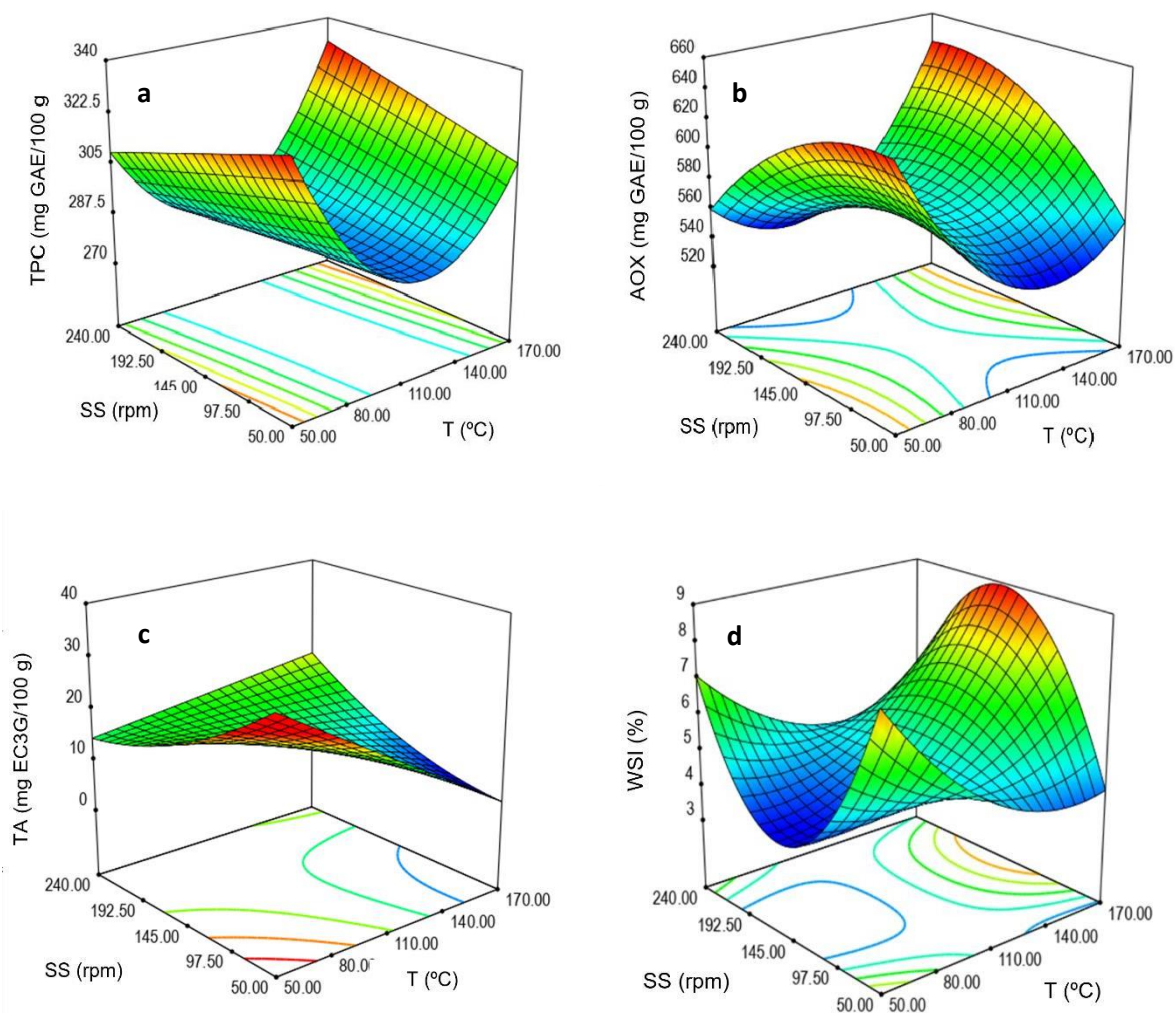


Figure 1. Effect of temperature (T) and screw speed (SS) on (a) TPC: Total phenolic compounds, (b) AOX: Antioxidant activity, (c) TA: Total anthocyanins and (d) WSI: Water absorption index.

Aunque el método de extrusión presento cambios importantes y favorables en los compuestos fenólicos, cabe mencionar que no siempre ocurre de esta forma con todos los alimentos, ya que la extrusión según lo reportado causa efectos en las matrices de las paredes celulares y rompe enlaces de polifenoles, esto los hace más disponibles, pero el incremento o disminución de los compuestos fenólicos depende de la materia prima que se utilice, por ejemplo se reportó el caso de harina de amaranto que en lugar de aumentar sus compuestos con el proceso de extrusión, estos disminuyeron (Almiduris, et al. 2019)

Los resultados obtenidos resultan tener una mayor retención de compuestos fenólicos (661.62 mg GAE/100 g bs) con respecto al proceso de nixtamalización convencional (266.2 mg GAE/100 g bs), debido a que si bien, diversos estudios han demostrado que el proceso de nixtamalización mejora algunas características, también puede afectar en otras (Serna-Saldívar, et al. 2013). Al realizar el proceso de extrusión de la harina de maíz morado, se observó que el proceso de extrusión no afecta negativamente los compuestos fenólicos obteniendo valores de retención de estos fitoquímicos mayores al 90%. Lo cual puede atribuirse a la correcta combinación de temperaturas y velocidades de tornillo, así como, a las características de la matriz alimentaria. Al comparar el proceso de extrusión con la nixtamalización convencional.

Esto también implica que el maíz pigmentado crudo no aporta cantidades importantes de compuestos fenólicos en comparación a un maíz pigmentado extrudido, que dependiendo de las condiciones puede llegar a aportar hasta 600 mEq Ac. Gálico, sin embargo, el caso de la variedad de maíz INIAP-199 cuenta con una cantidad de 276.24 mEq Ac. Gálico. (Villacrés, et al. 2019). Ruiz-Gutiérrez, et al (2015) plantea como opción que para que los compuestos fenólicos no se pierdan y se obtenga una retención aceptable es recomendable que al momento de hacer el proceso de extrusión se mantenga la menor cantidad de tiempo de exposición de la materia prima, con temperaturas altas y de esta manera podamos evitar la degradación de los compuestos fenólicos. Como expresa Singh et al, (2007), la velocidad de tornillo no ocasiona grandes efectos en los compuestos fenólicos, teniendo un 95% de confianza de retención de ellos en los alimentos.

De acuerdo a lo sugerido por Delgado-Licon et al, (2009), para poder tener un proceso de extrusión eficiente donde se pueda tener la mejor retención de polifenoles sin llegar al punto de degradarse, es con una humedad inicial del 20% y una temperatura de 120 ° C (mezcla de maíz y frijol), pero también explica que esto puede variar dependiendo de la materia prima que se pretenda investigar y/o procesar.

### **Efecto de la T y la SS sobre la actividad antioxidante**

Los valores obtenidos de actividad antioxidante por el método DPPH se encontraron en un rango de 268.06-330.53 mg GAE/100 g bs (tabla 1), se puede observar una diferencia entre el tratamiento con menor contenido y el de mayor, el valor más alto (330.53 mg GAE/100 g bs) se encontró bajo las condiciones de TE:50°C y VT:145 rpm mientras que los valores menores (268.06 mg GAE/100 g bs) se encontraron en TE:152°C y VT:78 rpm.

En la figura 1.b, se puede observar que, manteniendo una temperatura fija baja de 50°C y al ir aumentando la velocidad de tornillo hasta llegar al 240 rpm muestra un efecto cuadrático que al ir aumentando la temperatura va disminuyendo pero a partir de los 140°C aproximadamente aumenta un poco la cantidad de capacidad antioxidante, en cambio si se mantiene una velocidad de tornillo fija baja de 50 rpm y se aumenta la temperatura hasta llegar a 170°C se obtiene un efecto cuadrático y consigue un resultado de una disminución de capacidad antioxidante, las combinaciones más ideales serian baja temperatura de extrusión y bajas velocidades de tornillo y también la combinación de altas temperaturas de extrusión y altas velocidades de tornillo. En este caso el aumento de la capacidad antioxidante no es tan notorio, pero la ventaja de esta materia prima es que contamos con una buena capacidad de retención y como lo han mencionado diversos autores la respuesta de la capacidad antioxidante depende principalmente de la composición del alimento que se procese. Como por ejemplo Altan, et al (2009) deduce que el contenido de actividad antioxidante no se correlaciona con el contenido de compuestos fenólicos, pero que si puede atribuírsele a la disponibilidad y la complejidad de los compuestos fenólicos que ocasiona que se presenten en mayor cantidad y esto aumente la capacidad antioxidante. Por otro lado, también una alta velocidad de tornillo, tiene como consecuencia la disminución de actividad antioxidante debido a la entrada de energía mecánica al sistema que tiende a un efecto de

cizallamiento creciente. nos dice que el proceso de extrusión provoca la degradación de la actividad antioxidante hasta más de un 60% ya esta no soporta altas temperaturas, si sobrepasa los 80°C, comienzan a evaporarse y descomponerse estas propiedades, estas reacciones dependerán de la complejidad de las características.

La capacidad antioxidante, es la que ayuda a contrarrestar los efectos dañinos que causan los radicales libres, existen varios alimentos que pueden ayudarnos a aportar componentes antioxidantes a nuestro organismo. En el proceso de extrusión, todos los parámetros tienen un impacto en los resultados de un producto final, como recomendaciones podrían entrar una temperatura alta, que no tenga un porcentaje de humedad baja (ya que puede ocasionar que el efecto de cizallamiento sea más destructivo de los compuestos de capacidad antioxidante), también es importante no poner una velocidad de tornillo alta porque esto ocasiona una mayor entrada de energía mecánica y a su vez aumentar el efecto de cizallamiento. (Ahmad y Kumar, 2018)

En la investigación desarrollada por Jan et al, (2017), se observó que un alto porcentaje de humedad también tiene un efecto negativo en la capacidad antioxidante por el efecto de polimerización, mientras que altas temperaturas y velocidad de tornillo proporcionan un aumento significativo de capacidad antioxidante, y se debe principalmente al proceso de destrucción de las paredes celulares en el proceso hidrotérmico y la liberación de compuestos con potencial antirradical como lo es en este caso de ácido ferúlico, en el estudio de extrusión de harina germinada de *chenopodium*.

El parámetro de humedad se debe encontrar en un punto medio para que no afecte la capacidad antioxidante, ya que como lo menciono Ahmad y Kumar, (2018) en sus resultados de análisis de botanas de fenogreco, avena y guisantes verdes, dedujeron que el porcentaje de humedad afecta en la capacidad antioxidante, pero también un porcentaje de humedad alto disminuye la actividad antioxidante, según lo reportado por Bisharat et al, (2014), en estudios de botanas de maíz enriquecidos con brócoli, ya que esto propicia a tener una alta proliferación y es más difícil la extracción de los compuestos fenólicos lo que por consecuencia disminuye la capacidad antioxidante y que la actividad antioxidante aumenta con el altas temperaturas de extrusión.

El contenido de la capacidad antioxidante también puede estar influenciado por la existencia de componentes alimenticios como proteína o compuestos aromáticos, o también para la creación de la reacción de Maillard, al igual que los autores anteriores también se llegó a la conclusión que para que exista una mejor retención de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante la humedad no debe bajar más del 14% y temperaturas por debajo de los 120°C. (Arribas *et al*, 2019)

Al igual Delgado-Nieblas *et al*, (2019), reporta que aumentando la temperatura de extrusión en los alimentos se liberan las propiedades de actividad antioxidante, que se debe a la liberación de ácidos fenólicos de la matriz de la pared celular, también podría deberse a los compuestos generados por la reacción de Maillard (que puede ocurrir por las altas temperaturas). También considerando que en los cítricos influye en su alta cantidad de antioxidantes su gran capacidad para donar átomos de hidrogeno.

Sin embargo, la actividad antioxidante también depende de la forma en que se procese, cuando a parte de la extrusión lleva involucrado otro proceso como es el caso del estudio realizado por Kaushal *et al*, (2019) donde antes del proceso de extrusión se empleó el proceso de secado y esto afecto directamente a la actividad antioxidante en el caso de la yaca y por consecuente a la cantidad antioxidante del producto final.

Como resultados de esta investigación se obtuvo una buena capacidad de retención de capacidad antioxidante en maíz pigmentado criollo usando temperaturas moderadamente altas, y con una humedad del 25%, pero también se han reportado buenos resultados con mezclas de maíz y frijol a temperaturas de 142°C y 16.5% de humedad. (Sharma, P. *et al*, 2012).

### **Efecto de la T y la SS sobre las antocianinas**

Los valores obtenidos de contenido de antocianinas se encontraron en un rango de 6.37-26.04 mq C3G/100G bs (tabla 1), se puede observar una diferencia entre el tratamiento con menor contenido y el de mayor, el valor más alto (26.04 mq C3G/100G bs) se encontró bajo las condiciones de TE:68°C y VT:78 rpm mientras que los valores menores (6.37 mq C3G/100G bs) se encontraron en TE:170°C y VT:145 rpm. Y como lo reporta Aguayo-Rojas, *et al*

(2012), el maíz azul crudo contiene 27.52 lo que no indica que el método de extrusión, tiene una buena capacidad de retención de antioxidantes ya que, el valor máximo encontrado se acerca al rango que obtuvieron en dicho estudio.

En la figura 1.c, se puede observar que, manteniendo una temperatura fija baja de 50°C y al ir aumentando la velocidad de tornillo hasta llegar al 240 rpm se observa un efecto lineal disminuyendo el contenido de antocianinas pero no llegan al punto de desaparecer ya que se detienen aproximadamente en 15 mq C3G/100G bs, por otro lado si se mantiene una velocidad de tornillo fija baja de 50 rpm y se aumenta la temperatura se puede observar que la cantidad de antocianinas va disminuyendo al punto de la degradación, esto se debe principalmente a la sensibilidad de este componente a la temperatura donde el calor ocasiona que se degraden.

La pérdida de antocianinas no solo se puede deber a la degradación por calor, sino también por la sensibilidad que tienen al efecto del pH, ya que estos efectos suelen modificar las estructuras de las antocianinas (Aguayo-Rojas, et al, 2012). Existen estudios donde el proceso de extrusión tiene mejores resultados de retención de antocianinas comparado con el proceso de nixtamalización. Observando que las antocianinas se concentran en gran parte en el pericarpio del grano de maíz, y en el proceso de nixtamalización existe pérdida de esta parte del grano, es la razón por la cual no existe esta capacidad de retención, y ya que en el proceso de extrusión este caso no se da podemos observar mayor contenido de antocianinas. (Mora-Rochin, et al, 2010). Otra causa de la efectividad de retención de antocianinas en este estudio se debe a que a los tratamientos extrudidos no se les agrego cal, a diferencia de otros estudios, ya que, al ser un componente estable en niveles de pH ácidos, al agregarles cal desestabiliza esta característica y hace que disminuyan las antocianinas. (Escalante-Aburto, et al, 2013)

Otra característica que influye en el contenido de antocianinas en un alimento es la humedad con la que se procese el producto (en el caso de maíz pigmentado criollo, la humedad utilizada fue de 25%) ya que en un rango de porcentajes de 18-27% de humedad es benéfica ya que favorece a la lubricación del proceso, pero al momento de que la humedad sobrepase el porcentaje de 27% esto ocasiona que se gelatinice el almidón y se forme una pasta que provoca que el proceso sea más lento y el producto este por más tiempo expuesto a la

temperatura y al cizallamiento mecánico y teniendo como consecuencia la degradando el contenido de antocianinas. (Camacho-Hernández, et al, 2014). A sí mismo una humedad baja combinada con una velocidad de tornillo alta es contraproducente ya que esto conduce a una mayor velocidad de corte y calor durante el proceso de extrusión y las antocianinas son termosensibles y esto provoca su degradación. (Charunuch, et al, 2011)

Como se ha mencionado las antocianinas son sensibles a altas temperaturas, por lo tanto, Kokkaew, et al, (2015), estudio en qué condiciones las antocianinas se comportaban más estables y demostró que se obtienen mejores resultados conservando el producto a 4°C, que ha temperatura ambiente.

Se ha demostrado que en los maíces las antocianinas varían de acuerdo a la variedad de ellos, por ejemplo: los maíces amarillos y rosas son los que menor contenido de antocianinas contienen, después están los maíces azules con un contenido intermedio, y por ultimo están los de tonalidades morado y negro con cantidades altas de antocianinas. También se ha demostrado que los extractos acidificados de antocianinas de maíces pigmentados son anti-proliferativos de células de diferentes tipos de cáncer. (Bello-Pérez, et al, 2016)

Existen alternativas, para que no existan perdidas sustanciales de antocianinas en el maíz pigmentado, las cuales consisten en modificaciones en el proceso de nixtamalización tradicional, como, por ejemplo, extrusión por cocción con cal y nixtamalización fraccionada. (Palacios-Rojas, et al, 2020)

### **Efecto de la T y la SS sobre el índice de solubilidad de agua**

Los valores del porcentaje de índice de solubilidad de agua se encontraron en un rango de 4.15-8.96 % (tabla 1), se puede observar una diferencia entre el tratamiento con menor contenido y el de mayor, el valor más alto (8.96 %) se encontró bajo las condiciones de TE:50 y VT:145 mientras que los valores menores (4.15 %) se encontraron en TE:110 y VT:50.

En la figura 1.d, se puede observar que, manteniendo una temperatura fija baja de 50°C y al ir aumentando la velocidad de tornillo hasta llegar al 240 rpm se observa un efecto cuadrático que conforme va avanzando hasta llegar a una velocidad de alrededor de 145 rpm disminuye la capacidad de solubilidad llegando hasta el 3 %, pero se observa que mientras se sigue aumentando la velocidad de tonillo hasta 240 rpm, aumenta la solubilidad hasta llegar a un aproximado de 7 %, por otro lado si se mantiene una velocidad de tornillo fija baja de 50 rpm y se aumenta la temperatura se observa un efecto cuadrático pero que disminuye la solubilidad hasta un 4%, con una combinación de velocidad de tornillo baja y temperatura de extrusión baja se puede observar un porcentaje de solubilidad de hasta 6 %, mientras de que con una combinación de una alta temperatura de extrusión y una velocidad de tornillo intermedia (145 aproximadamente) obtenemos una eficiencia de solubilidad de agua de hasta un 9 %). Valenzuela-Lagarda et al (2016), al elaborar botanas expandidas por extrusión a base de mezclas compuestas de calamar, papa y maíz reportaron valores de WSI de 13.1 – 27.1 %, señalando que durante el proceso de extrusión ocurren cambios estructurales que incrementan la capacidad de solubilidad de la matriz alimentaria. Salamoni, et al, (2014), señala que cuando existe una degradación de macromoléculas de amilasa, promueve la formación de moléculas con menor peso molecular y la convierte en amilopectina por el rompimiento de enlaces, y por consecuencia el producto es más soluble en agua. Lo cual indica que la harina de maíz no es muy soluble en agua a comparación de otro tipo de harinas, como por ejemplo la harina de arroz extruida que cuenta con un porcentaje de solubilidad de agua que va de rango de 20.79-34.81 % dependiendo del genotipo que se utilice mientras que el maíz solo cuenta con un porcentaje de 4.15-8.96. La solubilidad también es considerada un indicador de la degradación de las moléculas compuestas y el almidón, va altamente relacionado con la cocción de extrusión que tenga un alimento, un estudio hecho a base de harinas de lentejas y plátano y combinado humedad del producto y temperatura de extrusión para obtener el mejor resultado (aproximadamente 62%) la cual se obtuvo bajo las condiciones de una temperatura de 180°C y una humedad de 20%. (Hernández-Nava, et al, 2011). El índice de solubilidad de agua también permite verificar la severidad que ocasiona el proceso de extrusión, que puede provocar degradación y solubilización de almidón, gránulos, proteínas y fibras presentes en el alimento. (Moretti, et al. 2016)

Kothakota, et al. (2013), dice que al haber un aumento considerable de velocidad de tornillo hay un aumento de solubilidad, debido a la alta mecánica de cizallamiento que se ejerce sobre el producto, también que una alta humedad puede perjudicar a la solubilidad ya que al momento de procesarse provoca una gelatinización y plastificación del producto.

Cuando se presenta el caso de esta investigación de maíz morado criollo pigmentado tiene un alto contenido de humedad lo que se puede realizar es una combinación de alimentos equilibren la humedad del producto que se procese. Un ejemplo es el realizado por Yousf, et al (2017) la cual es una investigación con arroz y zanahoria, siendo que en un principio el arroz mostraba resultados negativos ya que mostro propiedades que gelatinizaban y conforme fue incluyéndosele zanahoria, gracias a su característica fibrosa fue mejorando su capacidad de solubilidad. Dlamini, et al, (2016), dice que la solubilidad está relacionada con las moléculas solubles que se asocian con la conversión del almidón, si hay poca degradación del almidón existe menos solubilidad, sin embargo, a parte del almidón, también existen otras moléculas que son solubles en agua y también de eso dependerá la solubilidad de un producto final dependiendo en cuanta cantidad se encuentren en la materia prima.

Al someter un alimento al proceso de extrusión con las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y velocidad de tornillos, que son las variables que más efecto tienen sobre los resultados de solubilidad, podemos obtener un producto benéfico nutricionalmente ya que el almidón se vuelve más fácil de digerir. (Njoki & Faller, 2001). El indicador de la solubilidad de agua es su acción o poder de degradar los componentes de las moléculas. Los factores que influyen son alta temperatura, presión y cizallamiento intensifica el proceso de despolimerización de la cadena de almidón, el efecto principal que tienen el calor y la humedad en los alimentos es convertir un alimento crudo en un alimento cocido y digerible. (Saini, 2015)

### **Optimización**

Las variables de respuesta que se optimizaron en la harina de maíz extruido fueron AOX, TPC, TA y WSI, todas ellas en busca de sus valores máximos. Se realizó una optimización numérica para seleccionar el área óptima con la mejor combinación de condiciones de procesamiento (T y SS) para obtener harinas de maíz extruido optimizadas, donde se obtuvo

el valor máximo de deseabilidad (D). El valor de deseabilidad obtenido durante la optimización de la harina de maíz extruido fue  $D = 0.9598$  (Figura 2). Los valores de deseabilidad en el rango de 0,7 a 1,0 proporcionan un producto bueno y aceptable según una escala subjetiva informada por Fabila-Carrera (1998). En la Figura 2, se puede observar la región óptima, encontrando valores para las variables de proceso de T (50°C) y SS (50 rpm). Con la finalidad de validar la eficiencia del modelo de predicción se realizó la extrusión de harina de maíz pigmentado empleando estas condiciones de proceso y se evaluaron nuevamente los parámetros de AOX, TPC, TA y WSI, para contrastar con los predichos. Las condiciones óptimas de extrusión estimaron valores de AOX: 640.07 mg GAE/100g, TPC: 331.58 mg GAE/100g, TA: 33.14 mg EC3G/100 g y WSI: 8.21%, mientras que las condiciones experimentales optimizadas (50°C y 50 rpm) mostraron valores de AOX=676.34±17.02 mg GAE/100g, TPC: 299.61±3.69 mg EC3G/100 g, TA: 29.9±1.25 mg EC3G/100 g y WSI: 6.31±0.17%. Estos resultados demuestran que el modelo predicción de la optimización es adecuado, permitiendo así, la predicción del comportamiento de las variables de respuesta en diferentes condiciones de proceso.

## **Conclusiones**

La metodología de superficie de respuesta fue adecuada para la evaluación y el modelaje de los factores (T y SS) sobre las propiedades funcionales y de compuestos bioactivos. Las variables de proceso tuvieron un efecto significativo sobre todos los parámetros evaluados (AOX, TPC, TA y WSI), la T fue el factor principal que tuvo un gran efecto sobre estas variables, principalmente en su término lineal y cuadrático. La optimización arrojó los siguientes valores: AOX: 640.07 mg GAE/100g, TPC: 331.58 mg GAE/100g, TA: 33.14 mg EC3G/100 g y WSI: 8.21%, en condiciones de proceso de T=50°C y SS= 50 rpm, estos valores demuestran que bajo estas condiciones de procesamiento es posible generar harina de maíz extruida con propiedades fitoquímicas y tecnológicas adecuadas para el desarrollo de nuevos productos a base de maíz, contribuyendo así, al desarrollo de nuevos productos. El modelado de datos experimentales permitió la generación de ecuaciones útiles para predecir el comportamiento de la harina de maíz bajo diferentes condiciones de proceso, en este sentido, el presente en este estudio puede proporcionar una guía útil para desarrollar y optimizar productos innovadores a base de maíz pigmentado.

## **CAPITULO II. Efecto de la extrusión sobre las características nutrimentales, fisicoquímicas y tecnologías de harinas de maíz pigmentado con potencial para el desarrollo de una bebida funcional**

Leonor Bonilla-Vega<sup>1</sup>, Elías Hernández-Castro<sup>1</sup>, Roberto Gutiérrez-Dorado<sup>2</sup>, Mirna Villamar-Vázquez<sup>1</sup>, Gregorio Sarabia-Ruiz<sup>1</sup>, Jose Luis Valenzuela-Lagarda<sup>2\*</sup>

1. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala, Guerrero, México
  2. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México
  3. Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, Universidad Autónoma de Guerrero, Cruz Grande, Guerrero, México
- \*Corresponding autor: joseluislagarda@uagro.mx

### **RESUMEN**

La industria de bebidas ha presentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, en México el consumidor exige a esta industria el desarrollo de nuevos productos conforme la tendencia de estilos de vida más saludables y orientados al bienestar de la salud. Los maíces criollos pigmentados poseen un alto contenido de fitoquímicos con actividad antioxidante y funcional, por lo cual mediante el proceso de extrusión es factible potencializar estas propiedades para el desarrollo de bebidas funcionales elaboradas con harinas de maíces criollos pigmentados. El objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades nutrimentales y fitoquímicas de harinas de maíz pigmentado y su potencial para el desarrollo de bebidas funcionales. Se evaluaron las características nutrimentales y fitoquímicas antes y después del proceso de extrusión, y las propiedades tecnológicas de las harinas extruidas, así como, la aceptación de la bebida elaborada. Se puede concluir que las harinas de maíz rojo y morado poseen atributos para ser empleados para la elaboración de bebidas funcionales.

|

**Palabra clave:** Bebida funcional, alimento nutraceútico, actividad antioxidante.

### **Introducción**

La industria de bebidas ha presentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, en México el consumidor exige a esta industria el desarrollo de nuevos productos conforme la tendencia de estilos de vida más saludables y orientados al bienestar de la salud. Las bebidas

funcionales, son productos que contienen en su formulación uno o más ingredientes con la propiedad de mejorar el estado de salud y reducir el riesgo de enfermedades (Arai, 2000). Las bebidas funcionales son el segmento de más rápido crecimiento (14% anual) del área de alimentos, debido a que son excelentes medios para suministrar nutrientes y compuestos bioactivos (péptidos, antioxidantes, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, fibra, prebióticos, probióticos) (Corbo y col 2014). Uno de los principales criterios para la aceptación de estas bebidas es el sabor y las características sensoriales. La formulación de bebidas de calidad alta, sensorialmente aceptables, es importante para que un nivel adecuado de consumo pueda favorecer la promoción de la salud y prevención de enfermedades. Actualmente, existen diversos estudios que han comprobado los beneficios de las bebidas funcionales en la salud, lo que ha despertado un gran interés por parte de los consumidores, generando así gran demanda y la necesidad de formular y evaluar nuevas bebidas, estas son elaboradas a base de mezclas de agua con frutas, vegetales y/o cereales de los cuales se aprovechan sus componentes debido a que estos cumplen con las características para el desarrollo de alimentos funcionales (SANTANDER et al., 2017).

Los pigmentos de los granos de maíz (*Zea mays* L.) poseen actividad antioxidante, que contribuye al mantenimiento de la salud humana, y es debido, a sus metabolitos secundarios, como carotenoides, compuestos fenólicos y antocianas, que están presentes en cantidades apreciables en las variedades pigmentadas de maíz confiriéndoles actividad antioxidante, por lo que los maíces pigmentados, pueden ser considerados un ingrediente potencial para el desarrollo de bebidas funcionales. México, es considerado el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, existen más de 59 razas de acuerdo con la clasificación basada en características morfológicas e isoenzimáticas, lo que representan un significativo porcentaje de las 220 a 300 razas de maíz existentes en el continente americano (Fernández et al., 2013). El estado de Guerrero posee maíces nativos pigmentados con características fisicoquímicas y anatómicas con potencial para su industrialización (Ramirez-Reynoso et al., 2020). Rivera-Castro, et al. (2019), evaluaron la calidad nutrimental y tecnológica de maíces nativos del estado de Guerrero, encontrando aportes de proteína y fibra adecuados para el desarrollo de alimentos funcionales. Actualmente, los maíces pigmentados, como el maíz azul, ha despertado gran interés como promotor de la salud, y se ha reportado que existe una relación inversa entre el consumo de ciertos compuestos naturales que se encuentran en este tipo de

maíz y la incidencia de enfermedades degenerativas (Bello-Pérez, et al, 2016. Con la finalidad de preservar las propiedades funcionales de los maíces pigmentados diversos autores coinciden en que el proceso de extrusión es alternativa factible (Escalante-Aburto et al., 2013; Aguayo-Rojas et al., 2012)

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Material Vegetal.**

El maíz rojo y morado empleado fue cultivado y colectado durante el ciclo primavera-verano (PV) 2018, en la huerta experimental del Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, de la Universidad Autónoma de Guerrero, localizadas en el municipio de Florencio Villareal en el estado de Guerrero, sobre la carretera Cruz Grande-Ayutla km 0.5, en las coordenadas geográficas 16° 44' 02.2'' latitud norte y 99° 07' 48.5'' longitud Oeste; con un clima cálido sub-húmedo (Aw), precipitación 1 100 mm, temperatura media anual de 25 °C, humedad relativa promedio de 85% a 16 msnm (INEGI, 2019).

### **Preparación de la muestra**

El grano de maíz rojo y morado fueron pulverizados hasta obtener un tamaño de partícula  $\leq 0.420$  mm empleando un molino para granos de laboratorio Modelo LM3100 (Perten Instrument, Stockholm, Sweden). Posteriormente cada una de las harinas se acondicionó con agua destilada hasta obtener una humedad del 15%, las mezclas humectadas se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron (4°C/8 h). Antes de la extrusión se atemperaron (25°C/1 h).

### **Obtención de harina de maíz criollo morado extrudida.**

Para la obtención de harinas de maíz criollo rojo y morado extrudida se utilizó el proceso descrito por Milán-Carrillo y col (2012) con ligeras modificaciones. Para el proceso de extrusión se emplearon las condiciones de proceso anteriormente optimizadas (VT:50 rpm y T:50 °C) (Bonilla-Vega et al., 2021).

## **Extrusión**

La extrusión se llevó a cabo en un extrusor de tornillo simple modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, USA) con un diámetro de tornillo de 19mm; relación longitud – diámetro 20:1; relación de compresión 1:1 y dado de salida de 3 mm.. Los extrudidos provenientes de cada tipo de maíz se colectaron en charolas de aluminio perforadas y se enfriaron a medio ambiente. Los extrudidos secos se molturaron (Perten Laboratory Mill 3100) hasta pasar por malla 80 (0.180 mm), se envasaron herméticamente en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4°C hasta su utilización. Estas harinas fueron reconocidas como harina de maíz extrudido, provenientes de cada uno de los maíces pigmentados.

## **Evaluación de las variables de respuesta**

### ***Extracción de fitoquímicos libres***

La extracción de fitoquímicos libres se realizó acorde a la metodología propuesta por Adom y Liu (2002). Los fitoquímicos libres se extrajeron a partir de 0.5 g de muestra a que se adicionaron 10 mL de etanol al 80% (v/v). La suspensión se agitó en un Rotator (OVAN Noria R, EUA 2010) a velocidad 25 por 10 min y después se centrifugó (3,000g/10°C/10 min). Se separó el sobrenadante, se colocó en tubo cónico y se concentró (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation) a 45°C a presión baja hasta alcanzar un volumen final de 2 mL. El extracto se almacenó a -20°C hasta su utilización. La extracción se realizó por cuadruplicado.

### ***Extracción de fitoquímicos ligados***

La extracción de fitoquímicos ligados se realizó según el procedimiento de Adom y Liu (2002) con modificaciones (Mora-Rochín y col, 2010) (Fig 5). El precipitado se digirió con 10 mL de NaOH 2 M, se eliminó el oxígeno en presencia de N<sub>2</sub> gas y la muestra se sometió a tratamiento térmico (baño María a 95°C/30 min), posteriormente se agitó durante 1 h a temperatura ambiente (25°C). La mezcla se neutralizó con 2 mL de HCl concentrado, se agitó por 2 min en un vortex y se agitó en un rotator (OVAN noria R, EUA 2010) con velocidad 25 por 10 min e inmediatamente después se le agregaron 10 mL de hexano para remover lípidos; se realizó la misma operación de agitación mediante el vortex y rotator, se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) y se extrajo el hexano. La mezcla resultante se extrajo con 10 mL de

acetato de etilo, se agitó por 2 min (vortex) y se pasó a una agitación en un rotator (OVAN noria R, EUA 2010) con velocidad 25 por 10 min y se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) Se extrajo el acetato de etilo y se almacenó en un tubo cónico; esta extracción se realizó 4 veces. La fracción de acetato de etilo se evaporó hasta sequedad (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation). Los extractos se reconstituyeron con metanol y se almacenaron a -20°C hasta su posterior utilización. Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado.

### ***Compuestos fenólicos totales (CFT)***

Se empleó el método desarrollado por Folin-Ciocalteu; para lo cual el extracto fue oxidado con el reactivo de Folin-Ciocalteu, transcurridos tres minutos la reacción se detuvo con una solución de carbonato de sodio, y se dejó en obscuridad (120 min), para determinar la absorbancia a 725 nm. Se empleó como estándar ácido gálico con una curva de calibración de 0 a 0.4 mg\*ml<sup>-1</sup>.

### ***Actividad antioxidante (DPPH)***

La actividad antiradical DPPH de los extractos de harinas se determinó mediante el procedimiento descrito por Shimamura y col (2014) con ligeras modificaciones para su lectura en un espectrofotómetro. El método de DPPH se utiliza para determinar la capacidad de los antioxidantes presentes en una muestra para donar hidrógenos y/o electrones para eliminar los radicales DPPH (2,2-dienil1-picrahidrazil) al crear la forma no radical DPPH-H. Cuando el radical libre es capturado, el color de la solución de DPPH cambia de un color morado oscuro a un amarillo brillante y la absorbancia a 520 nm disminuye (Brand-Williams y col, 1995). Se preparó una solución DPPH (0.2 µM), después de 30 min de incubación a temperatura ambiente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 517 nm. Se utilizó como estándar una curva de Trolox (ET) por 100 g de muestra en base seca (µmol de ET/100 g, bs).

### ***Determinación de antocianinas***

El contenido total de antocianinas (Ant) se evaluó de acuerdo a Abdel-Aal y Hucl (1999). Se pesó 0.5 g de muestra el cual se homogenizó en 10 mL de una solución de metanol acidificado (95 % metanol y 1 N de HCl 85:15, v/v) en un tubo de centrifuga de 10 mL. Al tubo con la muestra se le inyectó nitrógeno gas para eliminar el O<sub>2</sub>, se agitó por 30 min y posteriormente se centrifugó (30,000xg / 4 °C /10 min) (Sorvall RCSC, Sorvall Instruments, Dupont, Wilmington, DE, EUA); se recolectó el sobrenadante. La absorbancia de los extractos se leyó a 353 nm y 700 nm en un lector de microplacas (Synergy™ HY Multi—detection, DioTek, Inc., Winooski, VT, EUA). El contenido de antocianinas se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$TA = \left[ \frac{A_{535nm} - A_{700nm}}{\epsilon} \right] * [(Vol. Total del extracto) * (PM)] \\ * \left[ \frac{1}{Peso\ de\ la\ muestra} \right]$$

Donde: TA = total antocianinas (mg de Cianidina 3-Glucósido/ g muestra); A= Absorbancia;  $\epsilon$  = Absorción molar de Cianidina 3-Glucósido = 25,965/cm/M); PM = Peso molecular de Cianidina 3-Glucósido (449.2g)

### ***Índice de solubilidad en agua (WSI)***

Para estas evaluaciones se utilizó el método descrito por Anderson y col (1969). Una muestra de harina de 2.5 g se suspendió en 30 ml de agua a 30°C en un tubo para centrifuga de 50 ml previamente tarado. La suspensión se agitó en agitador orbital a velocidad moderada (250 rpm / 30 min) y posteriormente se centrifugó (3000xg / 30°C/10 min). El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El ISA, expresado como gramos de sólidos por gramo de sólidos originales, se calculó a partir de peso de sólidos secos recuperados mediante evaporación del sobrenadante (110°C / 12 h). Ambos índices se determinaron por triplicado.

### ***Capacidad de formación (CFE) y estabilidad de espuma (CEE)***

Se evaluaron acorde a los procedimientos propuestos por Hauffman y et al., (1975). En una probeta de 100 mL se colocaron 0.5 g de muestra a la que se le adicionaron 50 mL de una solución reguladora 0.1M (Citrato: pH 2 y 4; Fosfato: pH 6 y 8; Carbonato: pH 10). La mezcla se agitó en ultraturrax (12,000 rpm / 1 min). Se midió el volumen de espuma formado. La capacidad de formación de espuma se reportó como porcentaje (% CFE); se calculó acorde a la ecuación:

$$\% \text{ CFE} = [(Vol \text{ después agitación} - Vol \text{ antes agitación}) / Vol \text{ antes agitación}] \times 100$$

La probeta con la suspensión agitada, a la cual se le evaluó % CFE, se dejó reposar 30 min; al final de este tiempo se midió el volumen de la espuma residual y la estabilidad de espuma, reportada como porcentaje (% CEE), se calculó acorde a la ecuación:

$$\% \text{ CEE} = [(Vol \text{ espuma después reposo}) / (Vol \text{ total de espuma})] \times 100$$

### ***Capacidad emulsificante (CE) y estabilidad de emulsión (EE)***

Para la determinación de capacidad emulsificante y estabilidad de emulsión de HSGEO se utilizó la metodología reportada por Hauffman y col (1975). Se pesaron 0.7 g de muestra y se le adicionaron 10 mL de una solución reguladora 0.1 M (Citrato: pH 2 y 4; Fosfato: pH 6 y 8; Carbonato: pH 10) y 10 mL de aceite de olivo. La suspensión se homogenizó por agitación en ultraturrax (12,000 rpm / 1 min). La suspensión homogenizada se distribuyó en tubos cónicos graduados para centrifuga y se centrifugó (1,300xg/25°C/5 min). Se midió el volumen de la emulsión formada. La capacidad de formación de emulsión se evaluó relacionando la capa emulsificada formada y el volumen total y se reportó como porcentaje de capacidad emulsificante (%CE). La estabilidad de emulsión se evaluó con los mismos tubos utilizados en la determinación de %CE. Los tubos se sometieron a tratamiento térmico en baño María (80°C/30 min), se enfriaron y centrifugaron (1,300xg/25°C/5 min). Se midió el volumen de la emulsión. La estabilidad de emulsión, reportada como porcentaje (%EE), se expresó como porcentaje de emulsión retenido después del tratamiento térmico. La prueba se realizó por triplicado.

### ***Índice de absorción de aceite***

La absorción de aceite de las harinas se determinó utilizando la metodología reportada por Ordorica-Falomir (1988). Muestras de 0.5 g de harina adicionadas con 3 mL de aceite vegetal se colocaron en un tubo graduado para centrífuga, se agitaron en vortex durante 1 min, se dejaron reposar 30 min y, finalmente, se centrifugaron (1,600 x g / 25°C/ 25 min). Se midió el volumen de aceite libre. La cantidad de aceite absorbido se calculó restando el volumen de aceite libre al volumen de aceite inicial y se expresó como mL de aceite absorbido/g de harina. La prueba se realizó por triplicado.

### ***Preparación de la bebida.***

Para preparar la bebida con propiedades funcionales se seguirá la metodología descrita por Mora-Rochín et al., 2010, para lo cual empleando una licuadora doméstica se mezclarán 170 mL de agua purificada, 45 g de la harina extruida con mejores características funcionales, 25 g leche en polvo, 15 g proteína de soja y 10 g de azúcar. Las bebidas funcionales se almacenarán a 5°C.

### ***Evaluación de la aceptación de la bebida***

La aceptabilidad de la bebida se determinará empleando una Escala Likert (escala Likert balanceada, no forzada) con 6 Items (color, apariencia, sabor, consistencia, aroma, turbidez) con 5 niveles de aceptabilidad ((Me gusta demasiado, me gusta, no me gusta ni me disgusta, me disgusta, me disgusta demasiado)), se utilizará un panel de jueces no entrenados, en cabinas individuales a temperatura agradable (25 °C).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La tabla 1 muestra los resultados del análisis nutrimental de harinas de maíz rojo y morado extruidas y crudas, encontrado que las harinas de maíz crudas y extruidas no presentaron diferencias en cuanto a Cenizas y Carbohidratos, exceptuando la variable Color Hunter “L” en las harinas de maíz morado.

Para el caso de Proteínas se observa que las harinas de maíz extruido presentaron un mayor contenido, de igual manera en el contenido de humedad y Aw presentaron un menor

contenido con respecto a las harinas de maíz crudo, el efecto en los últimos se atribuye al proceso de cocimiento que recibió la harina, mientras que el primero se debe a un cambio en la naturaleza de las proteínas durante el proceso de extrusión, debido a que estas pasan de ser solubles a insolubles además de a contenidos de humedad bajos, estas tienden a aglomerarse y crear zonas cristalinas (Pérez-Navarrete et al., 2006; Bordoloi y Ganguly, 2014).

Se observa en la tabla 1 un aumento en el cambio de color en harinas extruidas con respecto a las harinas crudas, esto se debe a los cambios que sufren los pigmentos durante el proceso de calentamiento. Debido a que estos tienden a degradarse, disminuyendo con ello el contenido dentro de los mismos (Serna-Saldívar et al., 2012).

**Tabla1.** Efecto del proceso de extrusión sobre el contenido nutrimental de harinas de maíces criollos pigmentados.

Variable de	HMRC	HMRE	HMMC	HMME
Proteína	7.85 ± 0.63*	8.67 ± 0.34	7.12 ± 0.47	9.67 ± 0.45
Grasa	4.05 ± 0.18	3.13 ± 0.31	5.95 ± 0.14	3.78 ± 0.27
Cenizas	1.59 ± 0.03	1.55 ± 0.01	1.77 ± 2.59	1.50 ± 0.03
Carbohidratos	86.21 ± 1.47	86.70 ± 0.11	85.05 ± 0.45	84.62 ± 0.75
Humedad	10.94 ± 0.18	8.65 ± 0.08	8.61 ± 0.26	5.95 ± 0.12
Color Hunter “L”	74.95 ± 0.75	71.83 ± 1.50	66.59 ± 3.56	63.68 ± 0.50
Color ΔE	19.98 ± 0.64	23.66 ± 1.96	27.52 ± 2.56	30.61 ± 0.36
Aw	0.57 ± .009	0.46 ± 0.001	0.55 ± 0.004	0.39 ± 0.001

\*Resultados ± desviación estándar, n=3. HMRC: Harina de Maíz Rojo Cruda; HMRE: Harina de Maíz Rojo Extruida; HMMC: Harina de Maíz Morado Cruda; HMME: Harina de Maíz Morado Extruida

La tabla 2 muestra los resultados del análisis de la actividad antioxidante y de y el contenido de Antocianinas en harinas de maíz extruidas y crudas, se reporta una disminución en harinas de maíz extruido en cuanto al contenido de fenoles totales (CFT) y antocianinas, así como en la actividad DPPH y ABTS, sin embargo, las harinas de maíz rojo no presentaron diferencias en cuanto a la actividad ABTS.

Los resultados de este estudio son comparables a los de Gaxiola-Cuevas et al. (2017) los cuales reportaron una disminución en el CFT en maíces de híbridos, de igual manera estos autores reportan una mayor actividad ABTS en granos crudos con respecto a la masa extruida, autores como Serna-Saldívar et al. (2013) y Šárka et al. (2021) mencionan que en productos extruidos la modificación en la red de proteínas, así como en las altas temperaturas utilizadas, presentan cambios en el contenido de compuestos antioxidantes, sin embargo el que se utilice el grano completo durante el proceso de extrusión mejora el contenido con respecto a harinas producidas por nixtamalización tradicional.

**Tabla 2.** Efecto del proceso de extrusión sobre la actividad antioxidante y perfil fitoquímico de harinas de maíces criollos pigmentados

	HMRC	HMRE	HMMC	HMME
CFT	308 ± 11.69	296.18 ± 4.48	319.51 ± 10.4	299.61 ± 3.69
DPPH	666.96 ± 49.67	657.54 ± 28.67	775.72 ± 24.82	676.34 ± 17.02
ABTS	13355 ± 611.85	13910.93 ± 250.09	14662.08 ± 1008.45	12212.35 ± 373.55
Antocianinas	3.12 ± 0.12	1.63 ± 0.07	52.35 ± 0.68	29.9 ± 1.25

\*Resultados ± desviación estándar, n=3. HMRC: Harina de Maíz Rojo Cruda; HMRE: Harina de Maíz Rojo Extruida; HMMC: Harina de Maíz Morado Cruda; HMME: Harina de Maíz Morado Extruida

La tabla 3 muestra los resultados en cuanto a propiedades fisicoquímicas de harina extruidas y crudas de maíz rojo y morado, encontrando en maíz rojo similitudes en cuanto a pH, Capacidad de Estabilidad de Espuma, Dispersabilidad y Capacidad de Estabilidad de Emulsión, así como de Aceites, no encontrando diferencias en los demás parámetros. En cuanto a maíz Morado se encontró diferencias en cuanto a pH, Capacidad de Estabilidad de Espuma, Capacidad de Formación de la Espuma, Capacidad de Estabilización de Emulsión ISA e IAA, no encontrando diferencias en las demás características. Se observa que en cuanto a la Capacidad de Formación y Estabilidad de Emulsión las harinas de maíz extruidas presentan un mejor comportamiento, esto puede deberse a la desnaturalización de proteínas debido a que son estas las encargadas de formar la emulsión dentro de una mezcla (do Nascimento et al., 2002), cabe recordar que el proceso de extrusión requiere de altas temperaturas y periodos cortos de tiempo, logrando hacer solubles las proteínas insolubles presentes en la matriz alimentaria (Bordoloi y Ganguly, 2014).

En cuanto a ISA e IAA las harinas de maíz extruido muestran los mayores valores, los tamaños y distribución de los gránulos de almidón son los responsables de este fenómeno, debido a que son estos los que absorben y retienen el agua en la red de amilos y amilopectina (Rivera-Castro et al., 2020), durante el proceso de extrusión la humedad contenida en el granulo de almidón se expulsa logrando con ello hacer disponibles la amilosa y amilopectina recluida en el granulo, siendo esta segunda la encargada de absorber el agua dentro de una matriz alimentaria (Valenzuela-Lagarda et al., 2017

**Tabla 3.** Efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas de harinas de maíces criollos pigmentados

<b>Propiedad fisicoquímica</b>	<b>HMRC</b>	<b>HMRE</b>	<b>HMMC</b>	<b>HMME</b>
pH	6.08 ± 0.01*	6.10 ± 0.01	6.23 ± 0.01	6.15 ± 0.02
Capacidad de formación de espuma	0.97 ± 0.01	0.39 ± 0.004	0.59 ± 0.01	0.58 ± 0.01
Capacidad de estabilidad de espuma	100.00 ± 0.01	100.00 ± 0.01	66.67 ± 0.01	100.00 ± 0.01
Dispersabilidad	68.33 ± 2.89	68.00 ± 1.00	70.00 ± 0.58	70.00 ± 0.01
Capacidad de formación de emulsión	14.17 ± 1.2	2.22 ± 0.05	29.63 ± 2.5	2.24 ± 0.03
Capacidad de estabilidad de emulsión	95.24 ± 8.25	100 ± 0.01	45.24 ± 4.12	100 ± 0.01
Aceites	0.32 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.10 ± 0.001	0.10 ± 0.001
ISA	5.58 ± 0.02	6.36 ± 0.25	5.46 ± 0.21	6.32 ± 0.17
IAA	1.39 ± 0.01	1.64 ± 0.06	1.4 ± 0.03	1.74 ± 0.06

\*Resultados ± desviación estándar, n=3. HMRC: Harina de Maíz Rojo Cruda; HMRE: Harina de Maíz Rojo Extruida; HMMC: Harina de Maíz Morado Cruda; HMME: Harina de Maíz Morado Extruida

La figura 1 muestra los resultados del análisis sensorial se observa de manera general que la bebida de maíz morado presento mejores aceptaciones por parte de los panelistas, sin embargo, ambas bebidas no presentaron una aceptación mayor a Me Gusta, esto puede deberse a la costumbre en el paladar de los consumidores, Autores como Vázquez-Carrillo et al. (2018) mencionan que en formulaciones de mismos ingredientes, el sabor del

ingrediente extra no afecta la calidad sensorial, siendo así que en este estudio las dos formulaciones fueron muy similares, Además, Escobedo-Garrido y Jaramillo-Villanueva (2019) menciona que existe una preferencia por maíces de color blanco, lo cual se refleja en la baja preferencia por parte de los panelistas, además Bonilla et al. (2015) evaluaron una bebida a base de maíz morado y estevia, encontrando valores similares los reportados por este estudio.

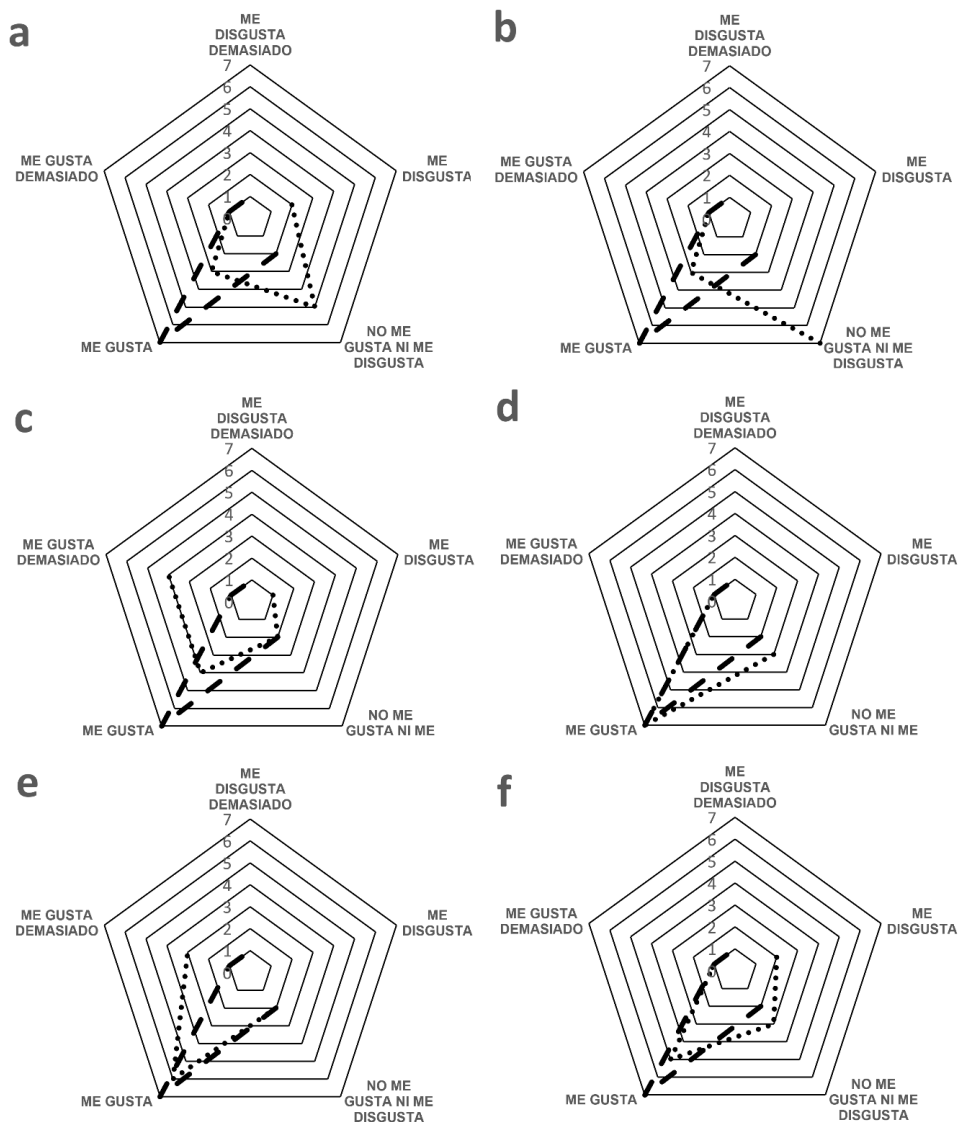


Figura X. Análisis de aceptación de la bebida elaborada a partir de maíces pigmentados. Línea punteada: maíz rojo. Línea de guion corto: maíz morado. a) Color, b) Apariencia, c) Sabor, d) Consistencia, e) Aroma, f) Turbidez

## CONCLUSIONES

El proceso de extrusión mantuvo características funcionales adecuadas en las harinas de maíz rojo y morado. Las harinas extruidas poseen características nutrimentales y tecnológicas con potencial para el desarrollo de bebidas funcionales. La bebida funcional elaborada tiene un nivel de aceptación adecuado.

## Referencias

- Pérez-Navarrete, C., González, R., Chel-Guerrero, L. and Betancur-Ancona, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2477–2484. Doi:10.1002/jsfa.2661
- Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Mora-Rochín, S. y García-Lara, S. (2013). Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 295-304. Doi:10.35196/rfm.2013.3-S3-A.295
- Bordoloi, R. and Ganguly, S. (2014). Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 2(1), 1-3.
- Gaxiola-Cuevas, N., Mora-Rochín, S., Cuevas-Rodríguez, E. O., León-López, L., Reyes-Moreno, C., Montoya-Rodríguez, A. and Milán-Carrillo, J. (2017). Phenolic acids profiles and cellular antioxidant activity in tortillas produced from Mexican maize landrace processed by nixtamalization and lime extrusion cooking. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(3), 314-320. Doi: 10.1007/s11130-017-0624-3
- Šárka, E., Sluková, M. and Henke, S. (2021). Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*, 10(9), 2100. Doi:
- do Nascimento, R. E., Oliveira, M. F., Costa, S. A. J., Ascheri, J. L., Fernandes, M. S. y Wang, S. H. (2002). Harina extruída de grits de maíz-soya (80: 20) para la formulación de crema de espinaca. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (336), 101-106.
- Valenzuela-Lagarda, J. L., Gutiérrez-Dorado, R., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M. E., Valdez-Torres, J. B., Reyes-Moreno, C., Mazorra-Manzano, M. A. y Muy-Rangel, M. D.

(2017). Botanas expandidas a base de mezclas de harinas de calamar, maíz y papa: efecto de las variables del proceso sobre propiedades fisicoquímicas. *CyTA - Journal of Food*, 15(1), 118-124. DOI: 10.1080/19476337.2016.1219391

Rivera-Castro, V. M., Muy-Rangel, M. D., Gutiérrez-Dorado, R., Escobar-Álvarez, J. L., Hernández-Castro, E. and Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Nutritional, physicochemical and anatomical evaluation of creole corn varieties from the region of the Costa Chica of Guerrero. *Food Science and Technology*, 40, 938-944. Doi: <https://doi.org/10.1590/fst.20919>

Arai S. (2000). Functional food science in Japan. *BiofactorS*; 12: 13-6

Fernández S. R., L. A. Morales C. and A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283.

Corbo MR, Bevilacqua A, Petruzzi L, Casanova FP, Sinigaglia M. 2014. Functional beverages: The emerging side of functional foods. *Comprehensive Reviews in food science and food safety* 13 (6):1192-1206.

SANTANDER, M., OSORIO, O., MEJÍA, D. 2017. Evaluación de propiedades antioxidantes y fisicoquímicas de una bebida mixta durante almacenamiento refrigerado. *Revista de Ciencias Agrícolas*,34(1), 84 97.

Zilic S, Serpen A, Akillioglu G, Gökmen V, Vancetovic J. 2012. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *J Agric Food Chem* 60: 1224 - 1231.

Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E., & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Nutraceutical aspects of pigmented maize: Digestibility of carbohydrates and anthocyanins. *Agrociencia*, 50, 1041–1063

Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochin, S., Cuevas-Rodríguez, E. O., Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2012). Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented Mexican maize. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(2), 178–185.

Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Figueroa Cárdenas, J. D., López-Cervantes, J., Barrón-Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. (2013). Effect of extrusion processing

parameters on anthocyanin content, physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CYTA-Journal of Food*, 11(suppl 1), 29–37.

Vázquez-Carrillo, M. G., Aparicio-Eusebio, L. A., Salinas-Moreno, Y., Buendía-González, M. O. and Santiago-Ramos, D. (2018). Nutraceutical, Physicochemical, and Sensory Properties of Blue Corn polvorones, a Traditional Flour-Based Confectionery. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73, 321–327. doi:10.1007/s11130-018-0692-z

Bonilla, P. E., Quispe, F., Negrón, L., & Zavaleta, A. I. (2015). Compuestos bioactivos y análisis sensorial de una bebida funcional de maíz morado (*zea mays l.*) y estevia (*Stevia SP.*). *Ciencia e Investigación*, 18(1), 37-42.

Escobedo-Garrido, J. S. y Jaramillo-Villanueva, J. L. (2019). Las preferencias de los consumidores por tortillas de maíz. El caso de Puebla, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53).