



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Desarrollo y caracterización física, química y nutracéutica de un pozol elaborado con maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo), adicionado con cacao (*Theobroma cacao*).”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:

Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

IAI. Atalia Esperanza Reyes Escobar

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero, 2024



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Desarrollo y caracterización física química y
nutracéutica de un pozol elaborado con maíz (*Zea
mays* L.) criollo (azul y rojo), adicionado con cacao
(*Theobroma cacao*)

por

Atalia Esperanza Reyes Escobar

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: FQMAC-309129



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría En Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Desarrollo y caracterización física, química y nutracéutica de un pozol elaborado con diferentes tipos de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo), adicionado con cacao (*Theobroma cacao*)”

Protocolo

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta

IAI. Atalia Esperanza Reyes Escobar

Dirigido por

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Presidente

Dra. Marcela Gaytán Martínez
Secretario

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz
Vocal

Dr. Erick Morales Polanco
Suplente

Dra. Yazmín Sánchez Roque
Suplente

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

DEDICATORIAS

A mis padres, Martha y Ubel, por confiar en mí y no dudar nunca de mi potencial. A mis hermanos Citlali y Emmanuel, por siempre apoyarme y ser motivación para cada día ser mejor.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades y Ciencias Tecnológicas (CONAHCYT) por el apoyo económico necesario durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y al Programa de Posgrado en Alimentos por ser mi segunda Alma Mater y formarme como profesional.

A la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, por su tiempo, paciencia, comprensión y dedicación hacia mi persona y este proyecto.

A los miembros de mi comité: Dra. Marcela y Dra. Sandra, por siempre tener palabras de aliento y ánimo cuando me sentí incapaz de continuar, por todo el conocimiento compartido y por creer en mí. Al Dr. Erick, por cada una de sus observaciones y sugerencias aportadas a este proyecto. A la Dra. Yazmín, por sembrar en mí el amor por la ciencia y la investigación, por todos los años de convivencia y conocimiento compartidos, por su amistad.

A mis padres, Martha y Ubel, por nunca dejarme caminar sola, porque aun en la distancia siempre estuvieron presente, porque a pesar de lo difícil que fue separarnos, lo logramos, este logro también es suyo. Los amo.

A mis hermanos, Citlali y Emmanuel, por comprender todas las ocasiones que no pude compartir momentos importantes con ellos, los amo.

A Bere, por estar en cada noche de desvelo, por todas las aventuras vividas y por hacer de este proceso el más bonito, no hubiera sido el mismo sin ella. A la señora Carmen, por todas las atenciones que tuvo conmigo durante todo este tiempo.

Al equipo 4 de tecnologías emergentes, Ale, Yessi, May y Bere, mis primeras compañeras, mis primeras amigas, por la confianza y su cariño, las quiero mucho.

A Josué, por despertar en mí el espíritu kamikaze, por escucharme y aconsejarme siempre, por ayudarme a crecer. A Vane, por su ayuda constante en el laboratorio, por compartir su conocimiento conmigo, por procurarme y por su aprecio. A, Kristell, Ramón y mis compañeros de laboratorio por compartir el gusto por la ciencia y por siempre estar cuando tuve dudas o todo se tornó complicado.


A Fer y su familia, por siempre hacerme sentir cerca de Chiapas, por ser mi familia.

A Carmelita, por su extraordinaria labor en la administración del posgrado, ha sido luz para muchos.

A Dios, por absolutamente todo, pero en especial por la familia que me dio y por cada persona que ha llegado a mi vida y ha sido instrumento para indicarme el camino correcto, gracias porque en ellos estuvo Dios.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DEL ESTUDIANTE

Declaro que los datos obtenidos de esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi proyecto de tesis de forma ética y que incluyo la información necesaria para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Se plasma un trabajo original en el que se da reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentada en el documento.



Atalia Esperanza Reyes Escobar

INDICE GENERAL

I.	ANTECEDENTES.....	15
I.1	Maíz.....	15
I.1.1	Estructura del grano.....	16
I.1.2	Composición química del grano.....	17
I.1.3	Producción de maíz híbrido en México.....	18
I.1.4	Maíz criollo en México.....	19
I.1.5	Maíces pigmentados.....	20
I.1	Nixtamalización.....	26
I.1.6	Efectos en el maíz después de la nixtamalización.....	27
I.1.7	Proceso de extrusión.....	29
I.2	Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	30
I.1.8	Generalidades.....	30
I.1.9	Estructura del cacao.....	32
I.1.10	Producción de cacao.....	32
I.1.11	Composición química.....	33
I.1.12	Compuestos bioactivos.....	34
I.3	Pozol.....	38
I.1.13	Origen.....	38
I.1.14	Tipos de pozol.....	40
I.1.15	Consumo de pozol en Chiapas.....	40
I.1.16	Propiedades benéficas a la salud.....	41
II	JUSTIFICACIÓN.....	42
III	OBJETIVOS.....	43
I.4	Objetivo general.....	43
I.5	Objetivos específicos.....	43
IV	Materiales y métodos.....	44
IV.1	Materia Prima.....	44
IV.2	Reactivos.....	44
IV.3	Caracterización física del grano de maíz.....	44
IV.3.1	Determinación de impurezas y granos dañados.....	44
IV.3.2	Determinación de tamaño por medición directa con Vernier.....	45

IV.3.3	Determinación de dureza a través del peso hectolítrico.....	45
IV.3.4	Determinación de dureza por índice de flotación	46
IV.3.5	Determinación de dureza por disección del grano	46
IV.4	Caracterización química.....	46
IV.4.1	Determinación de humedad	47
IV.4.2	Determinación de cenizas	47
IV.4.3	Determinación de proteína.....	47
IV.4.4	Determinación de lípidos.....	48
IV.4.5	Determinación de carbohidratos	49
IV.5	Proceso de nixtamalizado.....	49
IV.5.1	Obtención de harinas por nixtamalizado tradicional	49
IV.5.2	Obtención de la harina por extrusión.....	49
IV.6	Caracterización Nutraceutica	50
IV.6.1	Determinación de fibra dietaría	50
IV.6.2	Extracción de compuestos fenólicos libres.....	51
IV.6.2	Cuantificación de compuestos fenólicos.....	52
IV.6.3	Determinación de capacidad antioxidante	53
IV.7	Diseño de la bebida	54
IV.8	Análisis microbiológico.....	54
IV.9	Aceptabilidad sensorial del pozol	54
IV.10	Digestibilidad <i>in vitro</i>	56
IV.10.1	Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas	56
IV.10.2	Análisis estadístico	56
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
V.1	Caracterización física de los granos	56
V.1.1	Medición de granos e impurezas	57
V.1.2	Índice de flotación y peso hectolítrico	58
V.2	Caracterización química de las harinas	60
V.3	Composición fitoquímica de las harinas.....	61
V.4	Capacidad antioxidante de las harinas.....	63
V.5	Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total de las harinas.....	64
V.6	Formulación del polvo para pozol.....	65
V.6.1	Caracterización química de las formulaciones.....	66
V.6.2	Caracterización fitoquímica de las formulaciones	67

V.6.3	Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total de las formulaciones. .	68
V.6.4	Digestibilidad <i>in vitro</i> de las formulaciones.....	69
V.5	Evaluación sensorial	70
V.5.1	Olor.....	70
V.5.3	Sabor	72
V.5.4	Densidad	72
VII.	CONCLUSIONES.....	76
VIII.	BIBLIOGRAFIA	78
IX.	ANEXOS	87
Anexo 1.	Cartel de reclutamiento	87
Anexo 2.	Consentimiento informado.....	88
Anexo 3.	Revocación del consentimiento informado	92
Anexo 4.	Boleta de análisis sensorial	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Composición química del de maíz (por cada 100 g)	18
Cuadro 2. Composición química de maíz azul y rojo	21
Cuadro 3. Principales compuestos bioactivos de maíces Pigmentados	22
Cuadro 4. Composición química de la semilla de cacao lavada y seca	33
Cuadro 5. Clasificación de dureza según peso hectolítrico.....	45
Cuadro 6. Nivel de dureza de acuerdo con la norma mexicana de nixtamalizado (NMX- FF034/1-SCFI-2002)	46
Cuadro 7. Descripción de los valores codificados de los factores en el diseño estadístico ..	54
Cuadro 8. Tamaño del grano y determinación de impurezas.....	57
Cuadro 9. Tamaño del grano y determinación de impurezas.....	58
Cuadro 10. Disección de los granos de maíz	59
Cuadro 11. Caracterización química del grano de maíz (<i>Zea mays</i> L.) crudo y harinas nixtamalizadas por extrusión y método tradicional	60
Cuadro 12. Caracterización fitoquímica del grano de maíz (<i>Zea mays</i> L.) crudo y harinas obtenidas por nixtamalizado tradicional y por extrusión azul y rojo	61
Cuadro 13. Capacidad antioxidante de las harinas crudas y nixtamalizadas.....	64
Cuadro 14. Determinación de fibra dietaria, insoluble, soluble y total	65
Cuadro 15. Formulación de pozol.....	66
Cuadro 16. Caracterización química de las formulaciones.....	67
Cuadro 17. Composición fitoquímica de las formulaciones para pozol	68
Cuadro 18. Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total	69
Cuadro 19. Porcentaje de digestibilidad <i>in vitro</i> de las formulaciones.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Estructura del grano de maíz y sus principales componentes. Sección longitudinal y perpendicular de la cara del grano.	16
Figura 2. Superficie sembrada de maíces pigmentados en México (ha).....	20
Figura 3. Estructura general de las antocianinas.....	25
Figura 4. Diagrama esquemático de extrusor monotornillo CICATA-IPN (Cervantes-Ramírez <i>et al.</i> , 2020)	29
Figura 5. Tipos de Cacao. A) cacao criollo, B) cacao forastero, C) cacao trinitario	31
Figura 6. Estructura del grano de cacao.	32
Figura 7. Estructura química de la catequina.....	35
Figura 8. Estructura de los fitoesteroles, fitoestanoles y del colesterol	36
Figura 9. Estructura química de Beta-sitoesterol.....	37
Figura 10. "Pozoleria" ubicada en el mercado publico Juan Sabines, Tuxtla Gtz. Chiapas.	39
Figura 11. Presentación actual del pozol	39
Figura 12. Grafica de araña del análisis sensorial de olor a las formulaciones.....	71
Figura 13. Grafica de araña del análisis sensorial de color a las formulaciones.....	71
Figura 14. Grafica de araña del análisis sensorial de sabor a las formulaciones	72
Figura 15. Grafica de araña del análisis sensorial de densidad a las formulaciones.....	73
Figura 16. Grafica de araña del análisis sensorial de agrado general a las formulaciones....	74
Figura 17. Grafica de barras correspondiente al orden de agrado de las formulaciones.....	75

RESUMEN

El cultivo de maíces criollos tiene una gran ventaja al adaptarse a las condiciones ambientales de zonas específicas, además ha sido objeto de estudio durante algunos años, debido a los compuestos bioactivos presentes en estos granos, destacando: fibra dietaria, compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas), saponinas, fitoesteroles, así mismo su importancia como materia prima para la elaboración de platillos y bebidas tradicionales.

Debido a lo anterior el objetivo de este proyecto fue desarrollar harinas nixtamalizadas por dos diferentes métodos: tradicional y extrusión, con la finalidad de implementarlas en la elaboración de pozol, como un producto innovador y con propiedades nutraceuticas. Los resultados que más destacan son la obtención de cuatro harinas nixtamalizadas (PAE, PAT, PRE y PRT) de las cuales aquellas que fueron tratadas por extrusión (PAE y PRE) presentaron menor pérdida de compuestos bioactivos (45 y 33% respectivamente) respecto a las harinas (PAT y PRT). La composición química de las harinas obtenidas fue: 7.08 a 8.28% de proteína, 4.84 a 5.76% de lípidos, 1.49 a 1.56% de cenizas, 5.06 a 9.11% de humedad y 75.79 a 80.44% de carbohidratos. Las formulaciones presentaron un porcentaje de digestibilidad *in vitro* en un rango de: 86.01 a 89.15%. La evaluación sensorial indicó que las formulaciones elaboradas con harina nixtamalizada por extrusión pueden ser aceptadas por el consumidor, principalmente se destacó la formulación PAE.

Palabras clave: compuestos bioactivos, extrusión, maíz criollo, nixtamalización, pozol.

ABSTRACT

The cultivation of native corn varieties has a significant advantage in adapting to the environmental conditions of specific areas. It has also been the subject of study for several years due to the presence of bioactive compounds in these grains, including dietary fiber, phenolic compounds (phenolic acids, flavonoids, and anthocyanins), saponins, and phytosterols. Moreover, its importance as a raw material for the preparation of traditional dishes and beverages is noteworthy. Given the above, the objective of this project was to develop nixtamalized flours using two different methods: traditional and extrusion, with the aim of implementing them in the preparation of pozol, as an innovative product with nutraceutical properties. The most notable results include the production of four nixtamalized flours (PAE, PAT, PRE, and PRT), of which those treated by extrusion (PAE and PRE) showed a lower loss of bioactive compounds (45% and 33%, respectively) compared to flours treated by traditional nixtamalization (PAT and PRT). The chemical composition of the obtained flours ranged from 7.08% to 8.28% protein, 4.84% to 5.76% lipids, 1.49% to 1.56% ash, 5.06% to 9.11% moisture, and 75.79% to 80.44% carbohydrates. The formulations exhibited *in vitro* digestibility percentages ranging from 86.01% to 89.15%. Sensory evaluation indicated that formulations made with extrusion nixtamalized flour could be accepted by consumers, with the PAE formulation being particularly well-received.

Keywords: bioactive compounds, extrusión, native maize, nixtamaization, pozol

INTRODUCCIÓN

El Maíz es uno de los principales granos producidos tanto a nivel nacional como a nivel mundial, su importancia radica en su uso como materia prima de una gran variedad de alimentos, tanto para el consumo humano como su uso en piensos para animales de granja. De acuerdo con los datos reportados por el Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (2021) durante el primer trimestre del 2021 las importaciones de maíz presentaron un crecimiento de 16.8%, poco más de 4.2 millones de toneladas. En afán de cubrir la demanda de maíz en México se ha generado un cultivo intensivo que requiere de productos tóxicos que dañan al medio ambiente y al cuerpo humano como: pesticidas, abonos y fertilizantes químicos (Peralta-Vázquez, 2019).

Por otro lado, el maíz (*Zea mays* L) criollo, principalmente sus variedades pigmentadas, han sido relacionadas con beneficios a la salud, esto atribuido principalmente a las propiedades antioxidantes identificadas en el grano. También son importantes, debido a que se complementan y benefician con las características físicas de cada región y están íntimamente ligadas con la cultura, tradiciones gastronómicas, preferencias de sabores y colores que requieren las poblaciones para diferentes propósitos y temporalidades a lo largo del año (Peralta-Vázquez, 2019). Por su parte, el cacao (*Theobroma cacao*) conocido ancestralmente como el oro negro, es una semilla rica en polifenoles, cualidad atribuida con beneficios a la salud, su uso se extiende por una amplia variedad de alimentos y bebidas en todo el mundo, principalmente por sus propiedades químicas, físicas y sensoriales las cuales se ven estrechamente relacionadas con su alto contenido de ácidos grasos, que corresponden del 50 al 57% del grano seco (Chire-Fajardo *et al.*, 2020).

Desde épocas previas a la conquista por parte de los españoles, el maíz ha sido base de la cocina mexicana, ya que se gozaba de una gran variedad de bebidas elaboradas con este cereal, mismas que han seguido evolucionando con el tiempo. En Chiapas, Tabasco y el sur de Veracruz una de estas bebidas es el pozol, compuesto principalmente con maíz nixtamalizado y que puede ser adicionado con cacao. Esta bebida ancestral era utilizada principalmente como fuente de energía para los indígenas con largas jornadas de trabajo. Actualmente el consumo de alimentos no industriales en México está sujeto a presiones sociales y económicas que conducen a su abandono, tal es el caso del pozol. Un estudio realizado por Meléndez *et al.*, (2020) demostró que los jóvenes del estado de Chiapas asocian

el consumo de pozol con la vida rural y el trabajo de campo, mientras el poder adquirir una bebida gaseosa representa para ellos un indicador de un alto nivel socioeconómico.

Por muchos años el principal método de transformación del maíz ha sido la nixtamalización, técnica que mejoró en gran medida las características organolépticas de los productos elaborados con nixtamal, además de incrementar el contenido de calcio hasta 4.6 veces (Moreno & Iza., 2020), sin embargo, los altos niveles de temperatura durante largos periodos de tiempo originan la degradación de algunos metabolitos de interés en el grano, por esta razón se ha evaluado el uso de tecnologías emergentes como la extrusión, como alternativa al proceso de nixtamalizado tradicional. Aunque las características organolépticas adquiridas después del proceso de extrusión no son iguales al maíz nixtamalizado, se han identificado mayor retención de compuestos bioactivos en las harinas resultantes, además de reducirse el consumo de agua al no haber presencia de nejayote. El proceso de extrusión es considerado una alternativa viable y ecológica para el proceso de nixtamalizado (Enríquez-Castro *et al.*, 2020).

Debido a lo anterior, se pretende desarrollar un pozol usando particularmente harinas nixtamalizadas de maíz criollo pigmentado, adicionando cacao; con el objetivo de rescatar el uso de maíces criollos específicamente sus variedades pigmentadas azul y rojo, así como revalorizar el consumo de bebidas ancestrales como es el pozol.

I. ANTECEDENTES

I.1 Maíz

El maíz es una planta originaria de México, su nombre científico es *Zea mays* y pertenece a la familia de las Poáceas (gramíneas), y subfamilia Panicoideae, tribu Andropogoneae (de los cuales hay 86 géneros) y Maydeas (Urango, 2018), desde su domesticación hace aproximadamente 7000 años, es considerado el alimento principal de las culturas indígenas, un alimento base y el cultivo de mayor importancia histórica y cultural en el país (Hernández & Acevedo, 2020).

En México, el cultivo del maíz es una de las principales actividades, su importancia radica en que este grano representa uno de los principales suministros de alimentos, en tanto que en el ámbito económico, la producción de maíz es la principal fuente de ingresos para el sector rural (Romero & Amaro, 2022). De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria 2022 del INEGI, la superficie destinada para la producción de maíz blanco fue de 6,077,028.6 hectáreas las cuales tuvieron una producción de 21,926,226.0 toneladas (INEGI, 2022).

El maíz es el cereal más cultivado en el mundo, con una producción promedio de aproximadamente 1,000 millones de toneladas anuales (Rocha-Villarreal *et al.*, 2018), tan solo México reportó alrededor de 27.5 millones de toneladas, tanto de temporal como de riego, de las cuales, Veracruz, Chiapas, Zacatecas, Tamaulipas, Jalisco y Sinaloa representaron el 41 % (SIAP, 2020).

La superficie destinada para cultivos en México corresponde a 18 millones de hectáreas, de estas el 95 % es empleada en la producción de granos donde el maíz ocupa la mayor superficie con alrededor de 8 millones de hectáreas (INFOSIAP, 2020), mismo que durante el año 2020 fue por mucho el cereal más consumido en México de entre una selección de granos y cereales, con un consumo anual per cápita de aproximadamente 331 kg (Statista, 2020).

México tiene una gran variedad biológica del maíz, sino también de sus usos culinarios. En diferentes regiones del país se preparan una gran variedad de platillos típicos elaborados con maíz, estos varían dependiendo de cada región, sus tradiciones culinarias y otros factores (Linares & Bye, 2015).

I.1.1 Estructura del grano

Cada grano de maíz contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla. En la **Figura 1** se muestra que el grano está compuesto por cuatro estructuras físicas fundamentales: el pericarpio; el endospermo; el germen; y la tapa de la punta (tejido inerte que une el grano y el carozo) (García-Lara *et al.*, 2019)

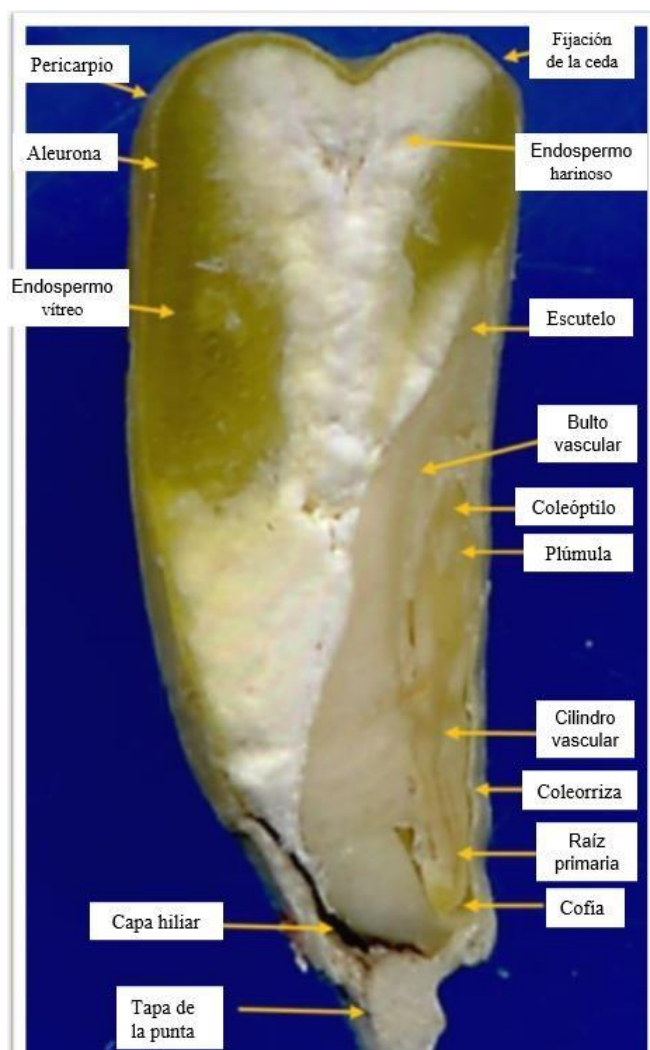


Figura 1. a) Estructura del grano de maíz y sus principales componentes. Sección longitudinal y perpendicular de la cara del grano (García-Lara *et al.*, 2019)

El endospermo se ubica como la parte de mayor tamaño y corresponde al 83% del peso del grano, se divide en la capa de aleurona y endospermo amiláceo, mismo que se subdivide en vítreo y harinoso. El pericarpio equivale al 15% del peso total del grano y se subdivide en epicarpio, mesocarpio y endocarpio, estos tejidos están compuestos por células

fibrosas ricas en fitoquímicos. Por su parte, el germen está dividido en dos partes: el embrión y el escutelo, este último es rico en proteínas de las cuales destacan las albúminas y globulinas; lípidos y micronutrientes, además, el germen contiene aproximadamente el 85% de la grasa total del grano (Colombo *et al.*, 2021).

I.1.2 Composición química del grano

La composición química del grano de maíz puede variar de acuerdo a las partes de su estructura, las proteínas se encuentran en mayor concentración en el endospermo (74%) y en el germen (26%) (Wilson., 2003).

Las proteínas del maíz se pueden agrupar de acuerdo con su solubilidad en: albuminas (solubles en agua), globulinas (solubles en solución salina), glutelinas (solubles en medio alcalino) y prolaminas (solubles en solución alcohólica fuerte) estas últimas son las proteínas con mayor presencia en el maíz, conocidas *también* como α -zeína y representan del 50 al 60% de la proteína total del grano (Alegria-Marroquín *et al.*, 2020). Las proteínas con mejores perfiles de aminoácidos se ubican en el germen (Rocha-Villarreal *et al.*, 2018).

El contenido de fibra se encuentra principalmente en el pericarpio, estructura que funge como una barrera semipermeable que rodea al endospermo y al germen, aproximadamente el 87% de su estructura se compone por fibra (Rocha-Villarreal *et al.*, 2018).

El almidón es el carbohidrato con mayor presencia en el maíz y se encuentra principalmente en el endospermo, rodeado por una matriz proteica. Los principales tipos de almidón presentes en el endospermo son blando y duro, este último relacionado de forma negativa con la degradación y digestión de pruebas *in vivo* en rumiantes (Grădinaru, 2020). El germen se caracteriza por su alto contenido de grasas crudas de hasta un 33% y un nivel relativamente elevado de proteínas.

En general la composición química del maíz y los productos derivados de este contienen un porcentaje de carbohidratos en el rango de 44.8-69.6%, 11.6-20% de humedad, 4.5-9.87% de proteína, 2.17-4.43% de lípidos, 2.10-2677% de fibra y 1.10-2.95% de cenizas (Urango. 2018), mismas que se presentan en el **Cuadro 1** (Urango, 2018).

Cuadro 1. Composición química del de maíz (por cada 100 g)

Componente químico	(g)
Proteínas	8.8
Carbohidratos disponibles	65.0
Lípidos	3.8
Fibra	9.8
Minerales	1.3

(Urango, 2018)

No obstante, la composición química y nutricional del maíz se ve afectada por diferentes factores como la localidad del cultivo o la variedad del maíz (Michel *et al.*, 2020), ejemplo de ello son los maíces pigmentados, que contienen mayor cantidad de compuestos polifenólicos (fenoles, flavonoides y antocianinas), los cuales han sido relacionados con propiedades antioxidantes que disminuyen potencialmente la incidencia de enfermedades crónicas (Dias *et al.*, 2021)

I.1.3 Producción de maíz híbrido en México

Durante los últimos años, la producción de maíz en México oscila en 27 millones de toneladas anuales, de las cuales el 91.5% corresponde al Maíz blanco, 8% a maíz amarillo y el resto a maíces pigmentados (INIFAB, 2020). Sin embargo, para el ciclo productivo 2022/2023 la USDA (*United States Department of Agriculture*) prevé una producción de 1180.7 millones de toneladas, por debajo de lo proyectado para el ciclo 2021/2022 1215.6, razón por la cual, México incrementaría la importación de maíz principalmente a Estados Unidos, quienes manejan una producción estandarizada desconociendo acerca de su calidad y cultivo (Peralta-Vázquez, 2019).

La reducción en la producción de maíz, principalmente variedades mejoradas, en México puede atribuirse a los grandes cambios en las condiciones climáticas de los últimos

años, como la distribución irregular de lluvias, heladas tempranas, granizadas, profundidad del suelo, fertilidad baja de los suelos y alto grado de erosión de estos (María *et al.*, 2003).

I.1.4 Maíz criollo en México

Una de las características principales de la agricultura en México es su producción de extensiones pequeñas, debido a que fundamentalmente su destino es el autoconsumo, sin embargo, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural estima que alrededor del 60% de la producción nacional corresponde a pequeños productores (SADER, 2020).

En Latinoamérica existen alrededor de 220 razas de maíz, de las cuales el 29% (64 razas) se han reportado para México y dentro de estas, el 92% son consideradas especies nativas. La preservación, conservación, producción y generación de la variedad genética de maíz criollo se ha mantenido gracias a las diferentes técnicas de cultivo tradicional que los pequeños productores emplean en la siembra de variedades locales de maíz (CONABIO, 2020).

El cultivo de otros colores de maíces distintos al blanco y amarillo es relevante en varios aspectos, desde su importancia económica hasta la alimenticia y cultural, ya que son muy valoradas por las características organolépticas (color, textura y sabor) que proporcionan a los productos alimenticios (Hernández-Quintero *et al.*, 2017). La variación en las tonalidades de estos maíces va desde el rosa pálido al negro, siendo las variedades rojas y azules las más comunes, debido a su alto contenido de fenoles en el endospermo y el pericarpio del grano (López-Vásquez *et al.*, 2020).

En 2017, el 59.0% de la producción de maíces pigmentados se concentró el Estado de México y Chiapas (**Figura 2**), con 11,086 y 8,019 ha sembradas respectivamente (SIAP, 2018).

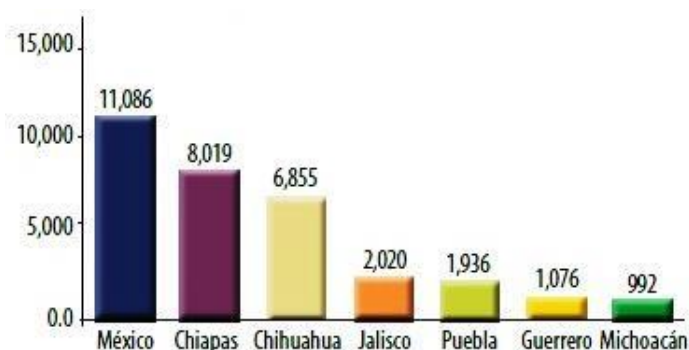


Figura 2. Superficie sembrada de maíces pigmentados en México (ha)
(SIAP, 2018).

I.1.5 Maíces pigmentados

En años recientes el cultivo de maíces criollos ha destacado en la producción de maíces de diferentes tamaños, formas y tonalidades del grano; se conocen como maíces pigmentados a aquellos cuya coloración varía desde el rosa claro hasta el azul intenso o negro, dicha coloración es atribuida a la presencia de compuestos fenólicos principalmente de tipo flavonoide, los cuales son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas como mecanismo de defensa contra algunos patógenos y se encuentran en los tejidos vegetales de estas, dentro de ellos se destacan a las antocianinas, las cuales pueden estar presentes en el pericarpio como en la aleurona del grano (Zavala-García., 2017; Tian *et al.*, 2021).

Los maíces pigmentados han sido propuestos como alimento funcional, debido a la presencia de metabolitos secundarios, los cuales presentan han sido relacionados con efectos beneficios a la salud como protección anticancerígena, anticancerígenas y quimicoprotectoras (Colín-Chávez *et al.*, 2020).

I.1.5.1 Maíz azul

I.1.5.1.1 Composición química

La composición química de los maíces pigmentados (**Cuadro 2**) puede cambiar dependiendo de las condiciones en las que fue cultivado, así como de la variedad del grano (Bello-Pérez, *et al.*, 2016).

El maíz se compone en su mayoría por carbohidratos; en el grano azul los niveles varían del 77 al 84%, siendo el maíz que presenta mayor contenido (Galindo-Olguín *et al.*, 2021). El contenido de lípidos en el maíz azul el contenido varía de 0.52 a 3.7 % ubicado principalmente en el endospermo, ahí mismo se encuentra el porcentaje más alto de proteínas, en promedio 8.25%, (Agama-Acevedo *et al.*, 2005; Utrilla-Coello *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Composición química de maíz azul y rojo

Composición química (%)	Maíz Azul	Maíz Rojo
Humedad	7.4 – 9.8	6.86
Proteína	8.2	7.45
Lípidos	0.5 – 3.7	5.4
Carbohidratos	77.2 – 84.1	72.31
Cenizas	0.3 – 1.1	1.39

Bello-Pérez, *et al.*, (2016); Galindo, (2021)

I.1.5.2 Maíz Rojo

I.1.5.2.1 Composición química

Como se mencionó, las características químicas del maíz pueden variar dependiendo de la variedad, las características químicas del maíz rojo se encuentran en el Cuadro 2.

El grano con coloración roja presenta un menor porcentaje de carbohidratos comparado con los granos de pigmento azul, aproximadamente un 11.79% menos.

Respecto al contenido de lípidos Mex-Álvarez, (2016) reporta que el maíz rojo contiene 5.4%, siendo superior al contenido lipídico del maíz azul. En maíz criollo con pigmentos rojos la humedad reportada es de 6.86 %, mientras que el porcentaje de proteína oscila entre el 7.45%, ligeramente inferior a los reportados para el maíz azul.

I.1.5.3 Compuestos bioactivos de maíces pigmentados

Los compuestos bioactivos o fitoquímicos no son necesarios para una correcta nutrición por lo tanto, no son necesarios para la vida, sin embargo, su ingesta puede otorgar efectos beneficiosos a la salud. Se encuentran en las plantas, normalmente en cantidades muy pequeñas y desde el punto de vista químico estos compuestos son de origen diverso y actúan a través de mecanismos de acción diferentes (Cereceres-Aragón *et al.*, 2020)

El grupo de compuestos bioactivos más abundante en maíces pigmentados azul y rojo son las antocianinas. La cianidina-3-O-glucósido se ha identificado como la principal antocianina en muestras de maíz azul, también se han identificado pelargonidina-3-O-glucósido y peonidina-3-O-glucósido (Mora-Rochín *et al.*, 2016).

Loarca-Piña *et al.*, (2019), reportan un mayor contenido de flavonoides en el maíz azul comparado con granos de maíz rojo, así como una mayor capacidad antioxidante. Respecto al contenido de compuestos fenólicos totales Trehan *et al.*, (2018), identificaron para muestras de maíz morado contenidos de fenoles totales de 122–184 mg ac gálico. eq/100 g con capacidad antioxidante de 0,40-0,48 μM Trolox/mg y 3,92–4,43 μM Trolox/mg para DPPH y ABTS, respectivamente.

En el **Cuadro 3** se presentan los principales compuestos bioactivos en maíces pigmentados, la estructura del grano donde comúnmente pueden encontrarse y el beneficio que otorgan a la salud del consumidor.

Cuadro 3. Principales compuestos bioactivos de maíces pigmentados.

Compuestos bioactivos	Estructura anatómica	Efecto preventivo o terapéutico
Compuestos fenólicos totales	Asociados al pericarpio.	Previenen el estrés oxidativo, cáncer, alto colesterol, arterioesclerosis y envejecimiento.
Antocianinas	Principalmente asociados a la aleurona.	Previenen el estrés oxidativo, cáncer, alto colesterol, arterioesclerosis y envejecimiento.
Fibra	Principalmente asociada al pericarpio.	Mejora la función gastrointestinal incrementa la viscosidad del bolo alimenticio y reduce el índice glicémico. Reduce el riesgo de diabetes e hipercolesterolemia.
Fosfolípidos	Principalmente asociados al germen.	Esenciales para el funcionamiento apropiado de las membranas celulares y de las neuronas cerebrales. Previenen el envejecimiento celular y el alto colesterol.

Serna-Saldívar, (2013)

I.1.5.3.1 Fibra dietaria

La fibra dietética (FD) no existe como una sola entidad, está compuesta por diversos componentes alimentarios. Se puede dividir en dos principales grupos con base en su solubilidad en agua: Fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI). La FDS es más viscosa y fermentable que la FDI, la cual incluye celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina, quitina, quitosano y almidón resistente (Mudgil & Barak, 2019). Además, puede clasificarse como fermentable, es decir, que puede ser metabolizada por las bacterias del colon; no fermentable o fermentarse parcialmente (Abreu *et al.*, 2021)

La FD se ha relacionado directamente con beneficios a la salud, como la mejora de la función intestinal, la reducción del colesterol y el aumento de la biomasa microbiana (Cui & Roberts, 2009), así como un menor riesgo de padecer cáncer de colon, trastornos intestinales y diabetes tipo II (Mudgil & Barak, 2019).

Por otro lado, se ha demostrado que un consumo de fibra insoluble (como los oligosacáridos) reduce los niveles de pH del colon e inclusive el de las heces fecales, los cuales se han visto relacionados con la disminución del desarrollo de cáncer (Vilcanqui-Perez & Vilchez-Perales., 2017).

Respecto a los beneficios del consumo de fibra y su efecto en la salud gastrointestinal, se ha relacionado directamente con su capacidad de fermentación, misma que es generada por que de este proceso se derivan también la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), entre los que destacan: acético, propiónico y butírico los cuales están involucrados con la promoción y/o inhibición de ciertas hormonas responsables de la estimulación de saciedad y apetito (Hernández-García, 2020). Los AGCC como propiónico y acético tienen efectos antiinflamatorios, antitumorogénicos y antimicrobianos; y alteran la integridad intestinal (Tan *et al.*, 2014). El ácido acético disminuye el pH del colon y por tanto proliferan las bacterias ácido lácticas y bifidobacterias (coloquialmente conocidas como las bacterias buenas), una parte del ácido acético puede ser metabolizado en los tejidos periféricos, esencialmente en el músculo, para obtener energía; mientras que el ácido propiónico se absorbe y pasa vía vena al hígado donde disminuye la síntesis de colesterol (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006).

A pesar de todos los beneficios a la salud reportados por diversos estudios, en los últimos años el consumo de fibra se ha reducido, en México, los adultos consumen entre 16 y 18

gramos de fibra al día, mientras que la OMS recomienda una ingesta diaria de 25 gramos de fibra (Secretaría de Salud, 2017), esta disminución en la ingesta de fibra, se atribuye al cambio en la tendencia de la alimentación actual, mismo que ha provocado la pérdida de la cultura alimentaria tradicional (Hernández-García, 2020).

Se presume que la ingesta de fibra dietaria es mayor en la población rural a diferencia de la dieta en poblaciones urbanas, la cual se basa en alimentos procesados, carnes, azúcares y grasas saturadas, las cuales proporcionan un alto poder de saciedad y un sabor agradable, además de ser más accesibles y de menor costo (Abreu *et al.*, 2021; Hernández-García, 2020).

Los granos maíces criollos pigmentados, aportan cantidades significativas de fibra dietética, la cual se encuentra mayormente en el pericarpio del grano y por lo general es de tipo insoluble, mismas que se han relacionado con la mejora de la función gastrointestinal y previene constipación, cáncer de colon y diabetes. Por otro lado, la interacción entre antocianinas y algunos polisacáridos (almidón y fibra dietaria) provoca digestión lenta del almidón, misma que se ha asociado con efectos benéficos a la salud como el control de la saciedad y el consumo más espaciado de los alimentos (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

I.1.5.3.2 Compuestos Fenólicos

Los compuestos fenólicos o también conocidos como polifenoles conforman un amplio grupo de sustancias químicas que son constituyentes vitales de los alimentos y metabolitos secundarios de las plantas derivados de varios precursores biosintéticos a través de la acción de las rutas metabólicas del shikimato, el fenilpropionato y pentosa fosfato (Guo & Beta., 2013). Los polifenoles generalmente se encuentran en alimentos, especialmente los derivados de plantas y cereales, y se sabe que ejercen beneficios para la salud como el potencial antioxidante, anticancerígeno, la prevención y contracción del estrés oxidativo y la reducción del daño celular relacionado con los radicales libres (Adebo *et al.*, 2021).

Estudios epidemiológicos y poblacionales sugieren que una ingesta constante y prolongada de frutas, vegetales y cereales integrales (alimentos a los que se les atribuye conocidas propiedades antioxidantes y antiinflamatorias), se ve relacionada con la prevención del desarrollo de enfermedades crónicas (Singh *et al.*, 2018; Días *et al.*, 2021)

El grano de maíz se encuentran diferentes compuestos fenólicos que son clasificados como: simples, flavonoides y antocianinas. Todos los maíces contienen fenólicos simples,

sin embargo, solamente los maíces pigmentados como el azul o rojo contienen cantidades significativas de antocianinas (Serna-Saldívar, 2013).

I.1.5.3.2.1 Antocianinas

Las antocianinas son compuestos metabolizados por las plantas, pertenecen al grupo de los flavonoides y se acumulan en cualquier órgano vegetativo en respuesta a la radiación ultravioleta (Hernández-Quintero *et al.*, 2017). Químicamente las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, debido a que están constituidas por una molécula de antocianidina llamada aglicona, a esta se le une un azúcar a través de un enlace B-glucosídico. La estructura básica de esta aglicona es el 2-fenilbenzopirilio (Fennema, 1993) el cual consta de dos grupos aromáticos: A) Benzopirilio y B) un anillo fenólico (Badui, 2006). En la figura 3 se aprecia la estructura química de la antocianina.

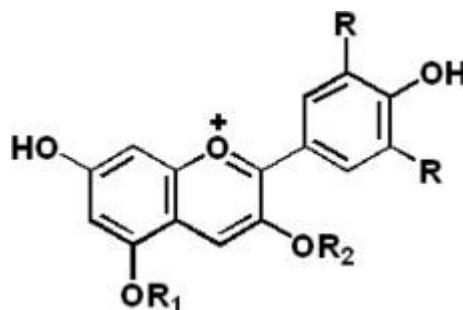


Figura 3. Estructura general de las antocianinas (Drust & Wrolstad., 2001)

Las variedades de maíz pigmentado se caracterizan por tener un complejo perfil de antocianinas, a las cuales se atribuyen las diversas coloraciones del grano, desde el rojo hasta el púrpura (Colombo *et al.*, 2021). Estos compuestos son relacionados con la capacidad de eliminar radicales libres y proteger las células contra el daño de las membranas (Zhirkova *et al.*, 2016).

Zhu *et al.*, (2011), demuestran que la ingesta de antocianinas purificadas durante 12 semanas por 150 sujetos hiperesterolémicos se asocia con un aumento en las lipoproteínas de alta densidad o colesterol de alta densidad (HDL por sus siglas en inglés) y una disminución en las lipoproteínas de baja densidad o el colesterol de baja densidad (LDL por sus siglas en

inglés), así como una mejor función endotelial (dilatación mediada por el flujo braquial). Por otro lado, también han demostrado que las antocianinas mejoran en el rendimiento cognitivo y motor de ratas envejecidas, al grado de ser comparables con animales jóvenes (Shukitt-Hale *et al.*, 2015).

I.1.5.4 Importancia del maíz en la dieta mexicana

Siendo México el centro de origen del maíz, este cereal representa gran parte de la gastronomía mexicana, misma que ha sido clasificada como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) desde el 2010 (CONABIO, 2020). El maíz participa como materia prima de una gran variedad de platillos típicos, se han identificado alrededor de 600 formas diferentes de preparar los granos de maíz, tanto en alimentos como en bebidas, de las cuales se pueden destacar el téjate, tascalate y pozol, por mencionar algunas (García., 2020)

Por su parte los maíces pigmentados también cobran gran importancia en la dieta de los mexicanos, ya que desde tiempos ancestrales han sido utilizados en la elaboración de alimentos tradicionales, así como en ceremonias o actividades religiosas (Preciado-Ortiz & Vázquez-Carrillo, 2022). Aunque el maíz blanco y amarillo son los más usados para la nixtamalización y posteriormente la elaboración de alimentos, algunas zonas como el centro de México prefieren el uso de maíces pigmentados con colores rojo, azul, morado y negro debido a que el sabor y textura de los alimentos es diferente a los elaborados con maíz blanco y amarillo (Bello-Pérez, 2016).

Sin embargo, el consumo de alimentos tradicionales se ha visto opacado por la preferencia por alimentos industrializados, esto como consecuencia de la globalización y la migración del campo a la ciudad. La disminución del consumo de la dieta tradicional mexicana ha dado paso al aumento de la dieta occidental y con ello al incremento del índice de enfermedades crónico-degenerativas no transmisibles (Delgado, 2019).

I.1 Nixtamalización

El proceso de nixtamalización fue el primer método por el cual nuestros antepasados iniciaron los procesos de transformación de maíz como alimento y su fundamento no ha cambiado a la actualidad, independientemente si se realiza de forma artesanal o industrial las

bases son las mismas: cocimiento del grano en agua con cal. Este proceso resultó muy importante para las antiguas culturas Azteca y Maya, puesto que la comida elaborada con maíz nixtamalizado mejoró tanto culinaria como nutricionalmente (Serna-Saldivar & Chuck-Hernandez, 2019).

La nixtamalización consiste en una cocción termo-alkalina del grano de maíz con agua y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Posterior a ello los granos pueden ser molidos para producir masa o deshidratados para obtener harinas de maíz instantáneas (Ramírez, *et al.*, 2019). El maíz cocido y descascarillado se llama nixtamal, mientras que el agua residual de este proceso es conocida como nejayote.

El tratamiento térmico y el remojo en la solución alcalina a la que se someten los granos de maíz promueven cambios en la estructura del grano, el pericarpio se degrada fácilmente tras la hidrólisis de los enlaces que unen las hemicelulosas en las paredes celulares. Además, se desencadenan una serie de reacciones bioquímicas que pueden modificar la solubilidad de las proteínas y la gelatinización parcial del almidón (Orchardson, 2021).

En general, durante el proceso de nixtamalizado se mejora notablemente la calidad nutricional del maíz, como la gelatinización parcial del almidón, la saponificación parcial de lípidos, la solubilización de algunas proteínas que rodean los gránulos de almidón y la conversión de los componentes de la hemicelulosa de la pared celular en gomas solubles influyen fuertemente en las propiedades reológicas y texturales de los productos finales (Arendt & Zannini, 2013).

Este proceso tiene muchas ventajas desde el punto de vista tecnológico; mejores propiedades reológicas, incluida la viscoelasticidad y características sensoriales (Escalante-Aburto *et al.*, 2020).

I.1.6 Efectos en el maíz después de la nixtamalización

La nixtamalización es un tratamiento termo-alkalino de hidróxido de calcio, consiste en hervir los granos de maíz en agua con cal, con esto se promueve el desprendimiento del pericarpio del grano haciendo más disponibles los aminoácidos niacina y triptófano y minerales como el calcio (Villarreal & García-Marín, 2016).

La nixtamalización balancea los niveles de leucina/isoleucina, (que naturalmente son elevados en el maíz) permitiendo una mejor absorción del triptófano, tan indispensable para el humano y poco abundante en el maíz. El triptófano es precursor de la niacina (Vitamina B3) que se genera en el cuerpo (Hernández & Acevedo, 2020). En los primeros estudios relacionados con el efecto provocado por el nixtamalizado a maíces pigmentados (variedades rojo y azul) los autores reportan que se produce una pérdida de 73 y 100 % en maíces con pigmentos en el pericarpio, mientras que los pigmentos ubicados en la aleurona presentaron una pérdida entre 19.5 y 50.2% (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). Por su parte, Escalante-Aburto *et al.*, (2020), atribuyen la variación en la degradación de antocianinas a la diferencia entre las variedades de maíz; mientras que, Moreno *et al.*, (2003), concluyen que el proceso de nixtamalización produce oscurecimiento en maíces de grano azul e incrementa el porcentaje relativo de la antocianina 3 glucósido, en tanto que los maíces de grano rojo no presentan cambios en su color tras el proceso de nixtamalizado.

Por su parte Castillo *et al.*, (2009), reportan que tanto la concentración de hidróxido de calcio empleada durante el proceso de nixtamalizado, como el tiempo de cocción, repercuten en las características reológicas de la masa; los experimentos realizados demostraron que las mejores condiciones del proceso de nixtamalizado se dieron al agregar 1.5 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2/100\text{g}$ de maíz, durante un tiempo de 30 minutos de cocción, siendo estos parámetros los que presentaron los más altos valores de viscosidad.

En estudios realizados en maíz azul nativo de Paracho, Michoacán y otro blanco de Sinaloa, se ha demostrado que la nixtamalización provoca pérdida de los ácidos grasos como triglicéridos y diglicéridos, así como de los componentes menores (como estanoles, esteroides y ferulados), esto se debe a la reacción con el hidróxido de calcio, formando sales las cuales son desechadas en el lavado, el grado de insaturación en los principales componentes lipídicos, se ve ligeramente disminuido, con mayor frecuencia en el maíz blanco, además el proceso de amasado, disminuye la concentración del ácido linoleico, a causa de la saponificación y formación de complejos con amilosa (Preciado-Ortiz *et al.*, 2018).

Enríquez-Castro *et al.*, (2020), refieren que después del proceso de nixtamalización, el grano incrementa su porcentaje de humedad, protegiendo la estructura del almidón, promoviendo la gelatinización gradual, lo que resulta en un aumento de volumen, así como un incremento en la absorción de calcio tan necesario en el humano. En lo referente a la

proteína estas se ven afectadas por las altas temperaturas empleadas en este proceso, provocando su solubilidad (Orchardson, 2021). Por otro lado, algunos compuestos bioactivos como las antocianinas también se someten a cambios estructurales, que podrían repercutir en su potencial nutracéutico (Escalante-Aburto *et al.*, 2020), el pH alcalino, temperaturas elevadas y periodos extensos de remojo facilitan el rompimiento de los enlaces éster de otras estructuras derivadas de los polifenoles; la mayoría de estos compuestos fitoquímicos se encuentran en el pericarpio del grano, razón por la cual pueden ser eliminados durante el lavado del nixtamal (Anayansi *et al.*, 2013).

I.1.7 Proceso de extrusión

La extrusión es un proceso que ha sido constantemente evaluado como alternativa a la nixtamalización tradicional. Esta tecnología consiste en la aplicación de energía térmica y mecánica. Se emplean altas presiones y temperaturas a las materias primas mientras fluyen a través de una matriz a una velocidad predeterminada para la obtención de una masa semisólida que luego es forzada a pasar a través de una salida con una forma geométrica determinada (Ramírez-Araujo *et al.*, 2019). En la **figura 4** se presenta un diagrama de un equipo de extrusión prototipo CICATA-IPN.

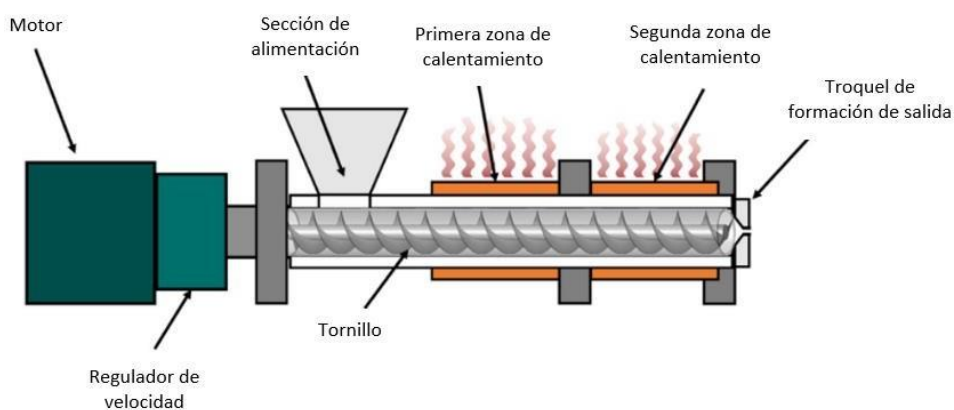


Figura 4. Diagrama esquemático de extrusor monotornillo CICATA-IPN (Cervantes-Ramírez *et al.*, 2020)

Previo a la extrusión los granos enteros de maíz se muelen y se mezclan con agua y cal, Escalante-Aburto *et al.*, (2020) sugieren dejar reposar esta mezcla alrededor de 12 horas en recipientes sellados (a temperatura ambiente o refrigeración) con el fin de lograr una mejor

hidratación de las partículas de almidón y la interacción con las fuentes de calcio; posteriormente el maíz es introducido al extrusor y mediante un tornillo giratorio en el interior de la matriz fluye hacia las diferentes zonas de calentamiento/enfriamiento para finalmente obtener una masa.

El proceso de extrusión presenta diversas ventajas en comparación con el proceso de nixtamalizado tradicional, principalmente la reducción de tiempo durante el proceso, debido a que, la difusión de agua y los iones de calcio al que se someten los granos de maíz previo a la extrusión acelera las reacciones químicas, y como consecuencia, el tiempo que requiere el proceso es más corto (Bazúa *et al.*, 1979). Además, el uso del agua se reduce en un 90 a 95% y se preservan los nutrientes contenidos en el pericarpio y la aleurona del maíz, de gran interés para el tratamiento de maíces pigmentados (Escalante-Aburto *et al.*, 2020; Ramírez-Araujo *et al.*, 2019).

I.2 Cacao (*Theobroma cacao* L.)

I.2.1 Generalidades

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia *Malvaceae*, algunos autores mencionan que la mayor diversidad genética del cacao se concentra en el Alto Amazonas, sin embargo, fueron los mayas en el sur de México, quienes cultivaron por primera vez esta planta (Evert Thomas *et al.*, 2012; Siedentopp, 2009). Se conocen más de 20 especies del género *Theobroma*. Dentro de estas, *T. cacao* es la única especie que se cultiva alrededor del mundo (Wood y Lass, 1985). Esta especie tiene tres grupos genéticos, los cuales se distinguen por sus características morfológicas y anatómicas: Criollo (*T. cacao* Spp. Criollo) (Figura 5A) el cual se desarrolla principalmente en norte de Sudamérica y Centroamérica, se caracteriza por la estructura de su fruto con frecuencia alargado, con punta pronunciada, doblada y aguda; la superficie es generalmente rugosa, delgada, de color verde frecuentemente con salpicaduras de rojo a púrpura oscuro y marcada por 10 surcos muy profundos; sus granos son grandes, gruesos, con forma casi redonda, con los cotiledones blancos o muy ligeramente pigmentados. De este tipo de cacao se obtiene el chocolate de mejor calidad, sin embargo, su producción es baja y es muy susceptible a plagas y enfermedades (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018).

En la **Figura 5B** se muestra el tipo Forastero (*T. cacao* Spp. *Sphaerocarpum*) otorga un fruto de forma ovalada y corta, con coloraciones verde o amarillas al completar el periodo de madurez; su superficie es lisa y presenta un pericarpio espeso y difícil de cortar, esto relacionado con la estructura del mesocarpio el cual se encuentra fuertemente lignificado; en su interior se encuentran granos pequeños y con una forma ligeramente plana, tienen un color entre púrpura claro y oscuro. A diferencia del tipo criollo, este tipo de cacao tiene un nivel de producción alto, razón por la cual el tipo forastero domina la producción mundial (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018).

Finalmente, el tipo Trinitario, se presenta en la Figura 5C; se compone de los tipos criollo y trinitario, es muy variable debido a su origen híbrido, además, es conocido como “cacao fino”, esto debido a su peculiar sabor, atribuido a parte de su germoplasma criollo (Pridmore *et al.*, 2000).

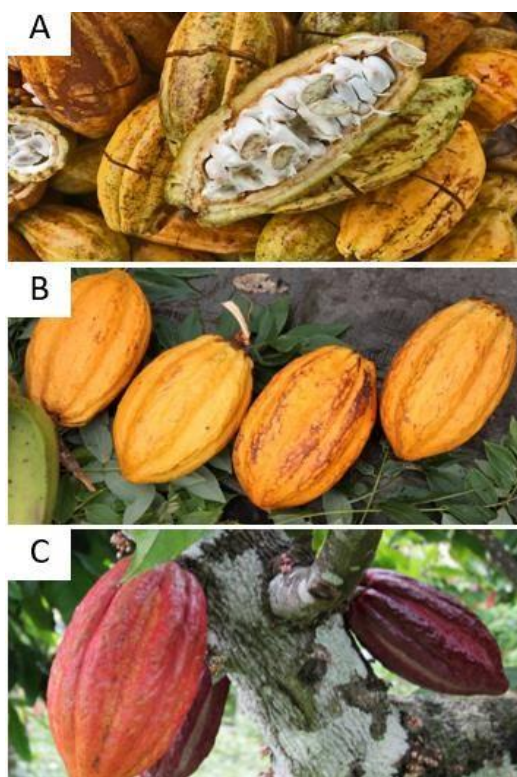


Figura 5. Tipos de Cacao. A) Cacao criollo, B) Cacao forastero, C) Cacao trinitario

El cacao es un cultivo tropical de gran importancia económica y social, condición que ha favorecido su expansión a nivel nacional como internacional (Espinosa-García *et al.*, 2015). A nivel mundial México pertenece a los países tropicales con mayor producción de cacao, ocupando el lugar número 12 (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2018).

I.2.2 Estructura del cacao

El árbol de cacao produce frutos con formas de vainas, compuesto por una concha externa rígida llamada cáscara que corresponde a la parte no comestible del fruto y representa aproximadamente del 45% a 50% del peso total (Aguirre-Medina *et al.*, 2007), las cuales contienen en su interior alrededor de 20 a 40 semillas conocidas como granos de cacao, estas se encuentran envueltas en una pulpa mucilagosa, rica en azúcares, sin embargo el grano también es rodeado por una capa fibrosa llamada cascarilla (Micheli *et al.*, 2010; Beckett, 2008). Las partes previamente descritas se presentan en la **Figura 6**.

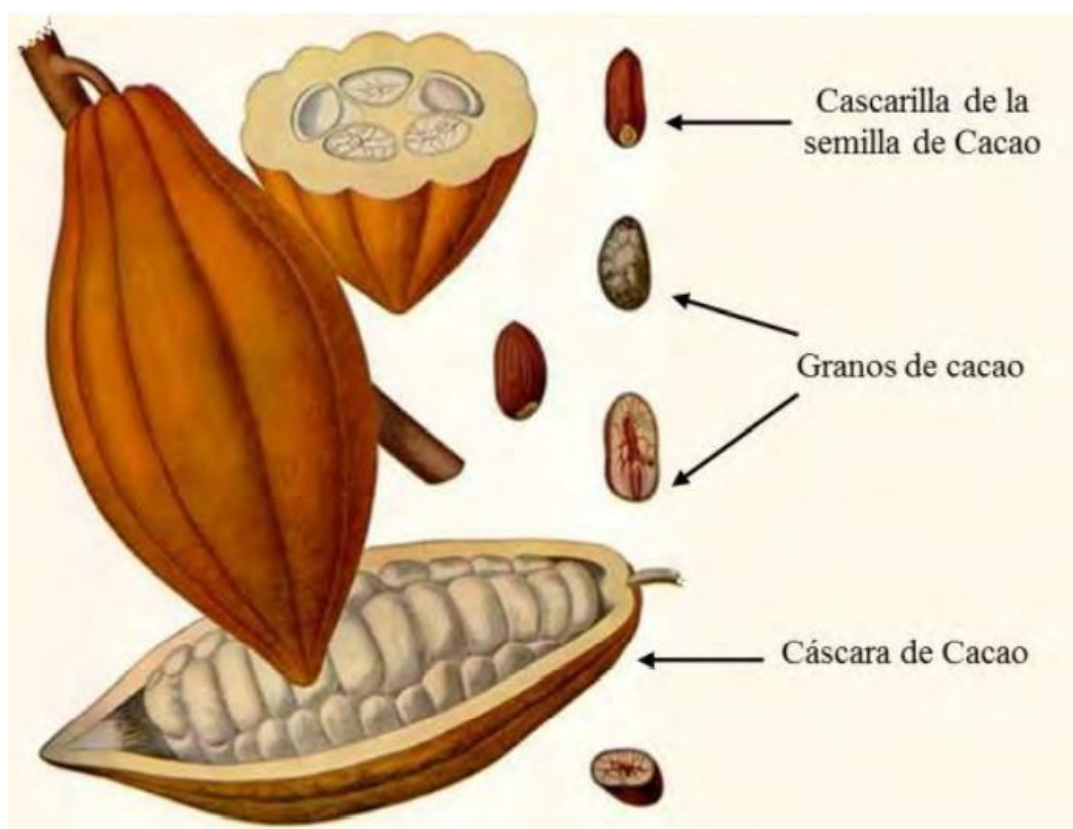


Figura 6. Estructura del grano de cacao.
(Beckett., 2008)

I.2.3 Producción de cacao

Durante el periodo 2015/2016 se produjeron más de 4,0 millones de toneladas métricas de granos de cacao a nivel mundial, de este total se estima que México aportó 26,863 toneladas las cuales cubrieron 41.23% de los requerimientos nacionales, razón por la cual se importó de otros países para abastecer la industria. Se estima que para el año 2024 la

producción de cacao aumente en promedio 4.16%, con un estimado de 38,680 toneladas cosechadas (SAGARPA, 2020).

Los granos de cacao generalmente son comercializados después del proceso de fermentado y secado, estas técnicas dan paso a las principales materias primas de la industria chocolatera, confitera, cosmética e incluso farmacéutica (Micheli *et al.*, 2010).

I.2.4 Composición química

Las almendras o semillas del cacao (*Theobroma cacao* L.), representa el insumo básico para la industria del chocolate y una gran variedad de productos alimenticios, su composición química se presenta en el **Cuadro 4**. Generalmente la cascarilla del grano es retirada previa al proceso de tostado, sin embargo, estudios han demostrado que la cascarilla posee propiedades terapéuticas y medicinales, es abundante en magnesio, ácidos oleicos y linoleico, vitaminas y pectinas. La corteza de cacao posee el alcaloide teobromina con virtudes relevantes para la salud, por beneficiar en cuadros inflamatorios, deficiencia de magnesio, diarreas, astenia (Báez & Gómez, 2016; Llerena *et al.*, 2019).

Cuadro 4. Composición química de la semilla de cacao lavada y seca

Componente	%
Humedad	2 – 5
Lípidos	48 – 57
Proteína	10 - 16
Carbohidratos	27 – 30
Fibra	15 – 17
Cenizas	2.6 – 4.2
Teobromina	0.8 – 1.4
Cafeína	0.07 – 0.1

(Báez & Gómez, 2016)

Los granos de cacao almacenan el alimento para el desarrollo de la planta y dan lugar a las dos primeras hojas de esta cuando la semilla germina. El almacén de alimentos consta de grasa, conocida como manteca de cacao, que conforma casi la mitad del peso seco de la

semilla. La cantidad de grasa y sus propiedades, tales como su punto de fusión y dureza, dependen de la variedad de cacao y de las condiciones ambientales (Chire-Fajardo *et al.*, 2020).

I.2.5 Compuestos bioactivos

El cacao es principalmente consumido por sus características organolépticas, sin embargo, en los últimos años el interés de su consumo se centra en su composición nutricional y sus propiedades antioxidantes (de Oliveira *et al.*, 2020).

Las propiedades antioxidantes del cacao se atribuyen principalmente a su contenido de polifenoles, destacado los del grupo de flavonoides, como las catequinas (37%), antocianinas (4%) y procianidinas (58%), además, los flavonoides, se destacan por su baja toxicidad y elevada acción antioxidante, junto a su capacidad de inhibir la peroxidación lipídica al reducir radicales libres y quelar metales (Negaresh & Marin, 2013).

Por otro lado, en las semillas de cacao alrededor de 55 % lo constituyen los lípidos, de estos el 0.3 % son insaponificables constituidos por más de 30 fitoesteroles cuyo contenido es de aproximadamente 230 mg/ 100 g, de los cuales los más abundantes son Beta-sitosterol, estigmasterol y campesterol y se ha reportado que inhiben la absorción del colesterol exógeno como endógeno, debido a que son más lipofílicos que el colesterol (Muños, Alvarado & Encina., 2011).

I.2.5.1 Flavonoides

Representan los polifenoles con mayor presencia en el grano de cacao, entre 6 y 8 % de peso seco (Grassi *et al.*, 2008). Nehlig, (2013) menciona que el consumo de cacao rico en flavonoides puede ayudar a mejorar la salud vascular y aumentar el flujo sanguíneo cerebral; también inhiben la muerte neuronal por apoptosis inducida por neurotóxicos.

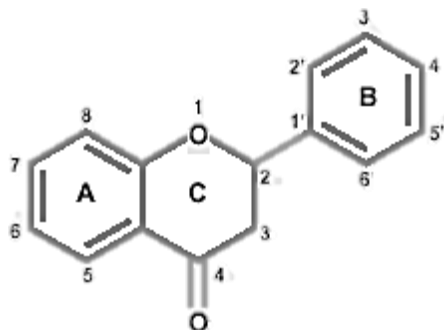


Figura 7. Estructura general de los flavonoides
(Castro & Cambeirio., 2003)

Quiñones *et al.*, (2012) menciona que estos compuestos presentaron efectos vasodilatadores, con capacidad de mejorar el perfil lipídico y atenuar la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), presentando claros efectos antiinflamatorios, además son capaces de modular los procesos de apoptosis en el endotelio vascular.

I.2.5.2 Catequinas

Está compuesta por un Flavan-3-ol que consta de dos anillos de benceno (conocidos como anillo A y anillo B), además de un heterociclo dihidropirano (anillo C) con un grupo hidroxilo unido al carbono 3. El anillo A es análogo a un resto de resorcinol, mientras que el anillo B es similar a un resto de catecol (**Figura 8**).

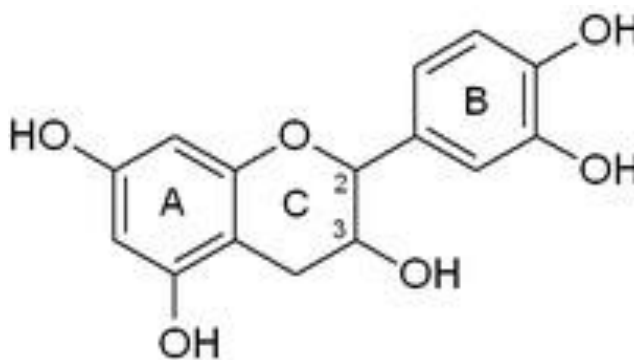


Figura 8. Estructura química de la catequina.
(Musdja *et al.*, 2018)

Las catequinas del cacao muestran una alta biodisponibilidad, y aproximadamente el 25-30 % de catequinas ingeridas son detectables en la orina, lo que implica su rápida eliminación (Lujano *et al.*, 2019).

I.2.5.3 Fitoesteroles

Estos compuestos pertenecen al grupo de los isoprenoides, tienen un núcleo de 17 carbonos dispuestos en 4 anillos con un grupo 3-β hidroxilo, a menudo con un doble enlace en la posición 5,6 y una cadena carbonada con 9 a 10 carbonos (Fernandes & Cabral, 2007). Su estructura química es parecida a la del colesterol; sin embargo, difieren estructuralmente. El colesterol posee 27 átomos de carbono (C27) y los fitoesteroles 28 o 29, debido a la presencia de sustituyentes de tipo metilo (C1) o etilo (C2) en la cadena lateral de la molécula (**Figura 10**).

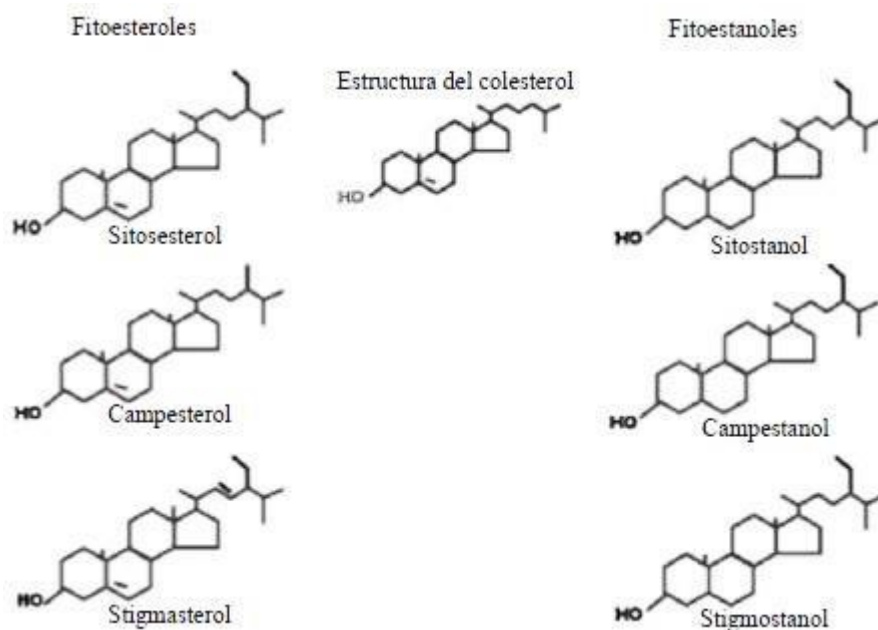


Figura 10. Estructura de los fitoesteroles, fitoestanoles y del colesterol (Illanes *et al.*, 2008)

Los fitoesteroles demuestran capacidad de reducir la absorción de colesterol en el intestino, a través de un mecanismo de competencia, esto debido al parentesco con la estructura química del colesterol (Baginsky *et al.*, 2016). Con la disminución de la absorción se promueve que menos colesterol llegue al hígado, lo que tiene dos efectos: aumento de la

síntesis e incremento de la expresión de los receptores de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Villareal., 2019).

I.2.5.4 Beta-sitosterol

La estructura del Beta-sitosterol (**Figura 11**) es similar con el colesterol, pero se diferencia por un grupo etilo en C24 de la cadena; por ello, este compuesto puede inhibir la absorción de colesterol en el cuerpo y reducir los niveles de él en el plasma sanguíneo; ayuda en la regulación de las funciones hepáticas y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Baginsky *et al.*, 2016).

Su función primordial es mantener la estructura y el adecuado funcionamiento de las membranas celulares de los vegetales de los cuales forma parte.

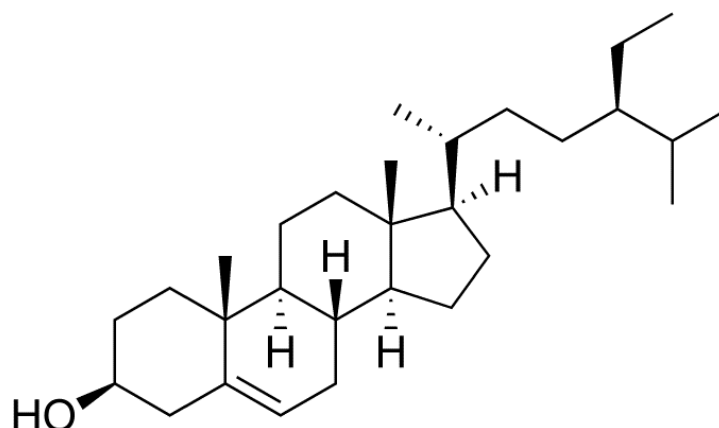


Figura 11. Estructura química de Beta-sitosterol (Illanes *et al.*, 2008)

I.2.5.5 Campesterol

Este fitoesterol difiere del β -sitosterol en un grupo metilo en lugar del grupo etilo. Es coadyuvante en la reducción del colesterol y prevención de riesgos cardiovasculares.

La relación del contenido estigmasterol/campesterol, se usa para determinar la adulteración en manteca de cacao. Se ha determinado que las condiciones de tostado del cacao influyen en el contenido de fitoesteroles (Oracz & Nebesny, 2014).

I.3 Pozol

I.3.1 Origen

El pozol del náhuatl “*pozolli*”, es una bebida elaborada con masa de maíz nixtamalizado. Esta bebida ancestral que los Mayas-Chontales del estado de Tabasco llamaban “*pochotl*”, era altamente apreciada ya que otorgaba energía a los viajeros indígenas y los refrescaba ante las altas temperaturas de esas zonas (Roman, 2011). Se sabe que los indios Mayas, Zoques y Chiapanecas, preparaban el pozol en rituales como ofrenda a los Dioses (CZ, 2023). Además, se le atribuían algunos usos medicinales, como aliviar la fiebre o malestares estomacales.

Su popularidad se extendió por todo el sureste del país y a la llegada de los españoles al sur de México en 1519, su nombre cambio a “pozol”, como es conocido en la actualidad (SADER, 2018).

En documentos coloniales de la región y hasta nuestros días, la bebida ha sido parte de la dieta cotidiana de los agricultores. Una característica distintiva de la misma, es el residuo que queda en el recipiente, en Tabasco conocido como “shish” y en Chiapas como “Motzú”, está compuesto por restos de masa y cacao; que al realizar el tradicional movimiento elíptico del recipiente conocido como “meneado” permite beber y al mismo tiempo masticar los restos de masa y cacao contenidos en la bebida, por esta razón el pozol es considerado una “bebida comestible” que cumple con dos propósitos, saciar la sed y calmar el apetito; esta característica ha otorgado gran popularidad al pozol, sobre todo en factores de carácter tradicionalista (CZ, 2023).

En la actualidad, el pozol es preparado principalmente por mujeres, quienes inician con la preparación del nixtamal y su posterior conversión en bolas de pozol; algunas de ellas recorren las calles ofreciendo la masa de pozol que puede ser preparada por cada familia, sin embargo, es muy común ubicar tiendas de pozol o “pozolerías”, donde se puede adquirir la masa del pozol o la bebida preparada (**Figura 12**).



Figura 92. "Pozoleria" ubicada en el mercado publico Juan Sabines, Tuxtla Gtz. Chiapas. (Leyte., 2022)

El pozol se ha convertido en una bebida de interés turístico, sobre todo el “pozol de cacao”, es común adquirir en presentaciones de 1 L, en vasos de plástico que regularmente incluyen frutas o cacahuates para acompañar la bebida, esta presentación es conocida como “pozol arrecho” (**Figura 13**) y actualmente es la forma más común de comercializar el pozol en Chiapas.



Figura 13. Presentación actual del pozol. (Maza., 2022)

I.3.2 Tipos de pozol

El pozol, en cualquiera de sus presentaciones es una bebida que se consume fría, lo más común es degustarlo al medio día, cuando la temperatura en el sureste del país incrementa.

Existen diferentes tipos de pozol, estos varían en cada región dependiendo del agrado del consumidor. Los más comunes son:

- “Pozol blanco”: Es la base para los diferentes tipos de pozol, está compuesto únicamente por maíz blanco nixtamalizado y molido, disuelto en agua. Originalmente se consumía sin azúcar, acompañado de algunas frutas o dulces típicos de la región.
- “Pozol agrio”: la masa de maíz nixtamalizado sufre un periodo de fermentación de 4 a 5 días, posteriormente la masa se disuelve en agua y se sirve. Este tipo de pozol es rico en penicilina y eficaz contra la resaca, sin embargo, su sabor “agrio” no es del agrado de muchos, lo que hace que esta bebida sea la menos consumida.
- “Pozol de cacao”: Es el tipo de pozol más consumido, ya que la mezcla del maíz nixtamalizado con el cacao otorga sabores más placenteros al paladar del consumidor. A diferencia del resto de los pozoles, este es dulce y ligeramente más espeso (CZ, 2023).

I.3.3 Consumo de pozol en Chiapas

Un estudio realizado en Chiapas entre niños campesinos y urbanos de secundaria en 2017 mostró que los jóvenes realizan un consumo frecuente de pozol, sin embargo, el consumo de bebidas gaseosas también ocupa un lugar relevante en la dieta de estos jóvenes. Algunos aspectos socioculturales repercuten de manera importante en el consumo de pozol, dado que se registró mayor consumo de esta bebida en poblaciones rurales, mientras que en zonas urbanas esta bebida ancestral ha llegado a ser considerada una bebida de bajo nivel social, asociando un mejor nivel económico con la capacidad de poder comprar un refresco embotellado.

I.3.4 Propiedades benéficas a la salud

Una de las características principales del pozol es que funge como una fuente importante de carbohidratos, los cuales al ser ingeridos son transformados en energía, motivo por el cual esta bebida es preferida por trabajadores con largas jornadas laborales pues también ayuda a saciar el hambre e hidratar.

Debido a su elaboración a base de maíz nixtamalizado se considera que proporciona la misma cantidad de proteína y fibra que aportaría el consumo de una porción similar de tortillas (García, 2020).

Existen diferencias nutrimentales entre sus variedades. El pozol de cacao es más rico en fibra y proteína, mientras que el pozol blanco es más abundante en carbohidratos. A pesar del valor nutricional de esta bebida, se consume con demasiada azúcar, tal es el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, donde se encontró que el consumo de pozol es alto, pero agregan tanta azúcar a la bebida que se podría comprar con las mismas cantidades que contiene un refresco embotellado (Meléndez *et al.*, 2020).

II JUSTIFICACIÓN

La constante demanda de maíz en el mundo ha provocado que en años recientes México se haya convertido en el principal importador de maíz híbrido. El afán por abastecer la demanda de maíz ha generado el aumento en la producción, sin embargo, el rendimiento de este se ha visto disminuido, dado que se ha provocado la erosión del suelo y con esto una menor calidad nutrimental en el grano. Por otro lado, los maíces criollos han sido conservados a través de los años gracias a la selección y dispersión de granos por parte de pequeños agricultores, quienes aún se empeñan por mantener la producción de estos ejemplares.

El proceso de nixtamalización ha otorgado a los maíces criollos un amplio uso en la gastronomía mexicana, destacando la implementación de las variedades pigmentadas, en la elaboración de alimentos y bebidas ancestrales, tal es el caso del pozol, consumido popularmente en el sureste del país.

En años recientes el consumo de pozol se ha visto afectado por factores socioculturales, dado que las nuevas generaciones relacionan el consumo de esta bebida con pobreza, mientras que el poder de adquisición de una bebida gaseosa es relacionado con prosperidad y un mejor nivel económico.

Debido a lo anterior, se diseñó un pozol elaborado con harinas nixtamalizadas de maíces criollos, con la intención de fomentar el consumo de bebidas ancestrales al mismo tiempo de promover la producción de maíz criollo y aprovechar las propiedades nutraceuticas de estos, otorgando mayor valor nutrimental al pozol tradicional.

III OBJETIVOS

III.1 Objetivo general

Desarrollar y caracterizar química y nutracéuticamente un pozol elaborado con harinas de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) nixtamalizado y adicionado con cacao (*Theobroma cacao*).

III.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar física, química y nutracéuticamente las harinas nixtamalizadas del maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo).
2. Desarrollar el pozol con las harinas nixtamalizadas por los métodos tradicional y de extrusión de maíz (*Zea mays* L.) criollo azul y rojo, adicionado con cacao (*Theobroma cacao*).
3. Caracterizar física, química y nutracéuticamente las formulaciones de pozol.
4. Evaluar la aceptabilidad de los pozoles formulados mediante un análisis sensorial.

IV Materiales y métodos

IV.1 Materia Prima

Como materia prima se emplearon maíz azul y maíz rojo identificados como azul lote 14 (AL14) y variedad Bajío Rojo Pozolero 01 (VBPZO), los cuales fueron donados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Celaya.

IV.2 Reactivos

Los reactivos de uso general fueron adquiridos en Sigma-Aldrich o en JT Baker: acetonitrilo, ácido acético, sulfato de sodio (Na_2SO_4) ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido bórico (H_3BO_3) rojo de metilo, verde de bromocresol, etanol, éter de petróleo, Folin-Ciocalteu, hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH) metanol, α -amilasa, tripsina, quimotripsina, peptidasa, proteasa, amiloglucosidasa, sulfato de cobre (CuSO_4), persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), carbonato de sodio (Na_2CO_3) agua destilada, agua grado HPLC, (\pm)-catequina, ácido gálico, vainillina, rutina, trolox, 2,2-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), N- α -benzoyl-arginine-p-nitroanilide (BAPNA).

IV.3 Caracterización física del grano de maíz

La determinación de impurezas y granos dañados, así como la determinación de dureza del grano de maíz se midió de acuerdo con las metodologías descritas por Palacios Rojas, (2018).

IV.3.1 Determinación de impurezas y granos dañados

Se pesaron 1000 g de maíz, los cuales fueron colocados en una criba de diámetro de 4.76 mm, misma que se colocó sobre otra criba de orificios de 2.38 mm y ésta sobre una charola de fondo. Paso seguido, las cribas se agitaron manualmente con movimientos oscilatorios y circulares durante 1 minuto. El material que no atravesó las cribas fue retirado de forma manual y colocados en una charola de residuos. Finalmente, se pesaron los residuos y posteriormente se realizó el cálculo de porcentaje de impurezas de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de impurezas} = \frac{(\text{peso de impurezas g})}{1000 \text{ g}} \times 100$$

IV.3.2 Determinación de tamaño por medición directa con Vernier

Se seleccionaron 10 granos al azar de cada lote (azul y rojo), posteriormente se midió el largo, ancho y grosor de cada grano con un vernier electrónico, se registraron las medidas y posteriormente se realizó el cálculo del promedio y la desviación estándar, se consideró el valor más homogéneo aquel con menor desviación estándar.

IV.3.3 Determinación de dureza a través del peso hectolítrico

Para la determinación de la dureza se utilizaron granos de maíz limpios. Se registró el peso de un recipiente de acrílico con capacidad exacta de 1L, el peso obtenido será registrado, posteriormente se dejaron caer los granos de maíz a una distancia de 20 cm hasta desbordar el recipiente, el exceso de granos se eliminó con una espátula. Paso seguido, se registró el peso del recipiente.

La obtención del peso hectolitrico del grano será determinado bajo la siguiente formula:

$$\text{Peso hectolitrico} = (PF - PI)(10) = \text{kg/hL}$$

Donde:

PF= Peso del recipiente lleno

PI= Peso del recipiente vacío

Finalmente, la dureza del grano se determinó de acuerdo con la clasificación del siguiente cuadro:

Cuadro 5. Clasificación de dureza según peso hectolítrico.

Peso hectolítrico kg hL ⁻¹	Dureza
> 75	Duro
74 - 75	Intermedio
< 74	Suave

(Palacios Rojas., 2018)

IV.3.4 Determinación de dureza por índice de flotación

Para la determinación de dureza mediante el índice de flotación, se preparó 500 mL de solución de agua con azúcar al 67%, posteriormente se agregaron 100 granos previamente seleccionados de cada variedad, se agitaron con ayuda de un agitador de vidrio y posteriormente se dejó reposar un minuto, pasado el tiempo se contaron los granos flotantes y su dureza se determinó de acuerdo con lo establecido en la norma de nixtamalizado (NMX-FF034/1-SCFI-2002).

Cuadro 6. Nivel de dureza de acuerdo con la norma mexicana de nixtamalizado (NMX-FF034/1-SCFI-2002)

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (min)
0-12	Muy duro	45
13-37	Duro	40
38-62	Intermedio	35
63-87	Suave	30
88-100	Muy suave	25

(NMX-FF034/1-SCFI-2002)

IV.3.5 Determinación de dureza por disección del grano

Se seleccionaron al azar 10 granos de cada variedad, los cuales se sumergieron en agua a una temperatura de 60° C durante 15 minutos. Posteriormente se separó manualmente cada una de las estructuras del grano (pericarpio, pedicelio, endospermo vitreo, endospermo harinoso y germen) con ayuda de un bisturí, cada estructura se colocó en un recipiente y se secaron a temperatura ambiente durante 10 h, posteriormente se pesó cada tejido por separado. Finalmente se registró el peso de cada estructura y se calculó su porcentaje.

IV.4 Caracterización química

La caracterización química de la materia prima como de las harinas y del pozol se realizó mediante los métodos de la AOAC (2002); humedad (método 925.10), cenizas (método 923.03), lípidos (920.39) y proteína (método 984.13).

IV.4.1 Determinación de humedad

Se pesaron 3 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante. Paso seguido, el crisol se colocó en una estufa con temperatura de 130°C durante 3 horas. Posteriormente se colocaron en un desecador durante 40 minutos, finalmente se pesaron y se calculó el porcentaje de humedad con base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P1 = Peso del recipiente con la muestra humedad (g)

P2 = Peso del recipiente con la muestra seca (g)

P3 = Peso de la muestra (g)

IV.4.2 Determinación de cenizas

Se pesaron 3 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante, estos fueron introducidos en una mufla a una temperatura de 500°C durante 4 horas. La muestra se dejó enfriar en un desecador. Finalmente se pesó el crisol con las cenizas y se calculó su porcentaje con la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P1 = Peso final (g)

P2 = Peso crisol (g)

P3 = Peso de la muestra (g) descienda

IV.4.3 Determinación de proteína

Para la digestión se pesó 0.5 g de muestra desgrasada y se colocó en un matraz de digestión Kjeldahl, se emplearon pastilla catalizadoras y 15 mL de H₂SO₄ concentrado, los cuales fueron introducidos al matraz. Del mismo modo, se preparó un blanco. Los tubos se

colocaron en la plancha digestora calentando gradualmente, hasta alcanzar los 400°C y se dejó enfriar, posteriormente se agregaron 100ml de agua destilada para destilarlos.

Para la destilación se adicionaron 50 ml de NaOH al 40% a los tubos Kjeldahl. Por otra parte, se agregaron 25 mL de ácido bórico al 2.0 N a un matraz Erlenmeyer de 250 mL, así como los indicadores: rojo de metilo y verde de bromocresol. Seguido de esto, el destilado se tituló con HCl 0.1 N, hasta observar un cambio de color de verde a rosa. Finalmente, se determinó el nitrógeno total, se multiplicará por un factor de conversión (6.25) equivalente al porcentaje de proteína presente en el alimento. A continuación, se presenta la fórmula utilizada para hacer la determinación.

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(A - BC)}{D} \times 1.401$$
$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Dónde:

A = Volumen de HCl gastado para titular la muestra (mL)

B = Volumen de HCl gastado para titular la solución blanco (mL)

C = Concentración del HCl (N)

D = Peso de la muestra (g)

IV.4.4 Determinación de lípidos

Se pesaron 3 g de muestra en base seca en cartuchos de celulosa, los cuales se colocaron en el compartimento de extracción Soxhlet, el cual se ensambló en un matraz a peso constante (registrar peso inicial) y se añadieron 100 mL de éter de petróleo (el solvente debe cubrir la muestra y observar el efecto sifón). Seguido de esto se mantuvo la extracción en un flujo de 10 reflujos por hora durante 2 horas. Finalizado el tiempo se retiró el matraz y se secó en la estufa a 100°C para eliminar residuos de solvente y humedad. Se dejó atemperar en un desecador y finalmente se registró su peso y se calculó el porcentaje de lípidos con base a la siguiente formula:

$$\% \text{ lípidos} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P₁ = Peso final (g)

P₂ = Peso del matraz (g)

P₃ = Peso de la muestra (g)

IV.4.5 Determinación de carbohidratos

El porcentaje de carbohidratos se calculó como la diferencia del porcentaje obtenido de los otros componentes mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Cenizas} - \% \text{ Grasa} - \% \text{ Proteína}$$

IV.5 Proceso de nixtamalizado

Se evaluaron 2 métodos de nixtamalizado para la elaboración de las harinas: Nixtamalizado Tradicional (NT) y Nixtamalizado por Extrusión (NE).

IV.5.1 Obtención de harinas por nixtamalizado tradicional

El nixtamalizado tradicional (NT) se realizó de acuerdo con lo descrito por (Contreras-Jiménez *et al.*, 2014), se inició con la cocción de granos limpios en una relación grano:agua de 1:3. El tiempo de cocción fue de 25 min para el maíz rojo y 45 min para el maíz azul (Véase apartado V.3.4), con una concentración de Ca(OH)₂ de 1% respecto al peso del maíz. Después de la cocción, el maíz se dejó reposar en el nejayote por 12 horas, posteriormente el nejayote se drenó y el nixtamal se lavó dos veces para eliminar el exceso de Ca(OH)₂ y pericarpio.

Una vez obtenido el nixtamal, se sometió a un proceso de molienda en un molino de nixtamal manual, posteriormente se secó en una estufa con recirculación de aire (Binder, modelo FD 53-UL) a una temperatura de 45± 1°C. Las harinas resultantes se tamizaron hasta alcanzar un tamaño de partícula = 250 µm.

IV.5.2 Obtención de la harina por extrusión

El proceso de nixtamalizado por extrusión se realizó bajo las condiciones propuestas por Contreras-Jiménez *et al.*, (2014). Para el pretratamiento, el maíz limpio se molió en un

molino Pulvex (Pulvex-200, Pulvex, SA de CV, México, DF) hasta obtener un tamaño de partícula de 800 μm . Se pesaron muestras de 0.4 kg de harina de los diferentes maíces y se acondicionaron 0.21g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por cada 100g de muestra, las harinas se ajustaron a una humedad del 45%, pasadas 12 horas de reposo a 4°C se realizó el proceso de extrusión empleando un extrusor de tornillo simple con 20 hélices, con un diámetro de 0.022 m (Tecnología desarrollada en CICATA-IPN, patente MX/a/2007/016262). Bajo las siguientes condiciones: velocidad de alimentación fija de 20 rpm, temperatura de precalentamiento de 60°C y temperatura de cocción de 90°C.

Las muestras extrudidas se secaron en estufa con recirculación de aire (Binder Modelo FD 53- UL) a $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Finalmente, se molieron en un molino de café (marca Krups) y se pasaron a través de una malla número 60 para seleccionar partículas con un tamaño aproximadamente de 250 μm .

IV.6 Caracterización Nutracéutica

IV.6.1 Determinación de fibra dietaria

La fibra dietaria total se determinó mediante la suma de las cantidades de fibra soluble e insoluble, como lo muestra la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra dietética total} = \% \text{ Fibra insoluble} + \% \text{ Fibra soluble}$$

IV.6.1.1 Determinación de fibra insoluble

La fibra insoluble se determinó siguiendo el método propuesto por Shiga *et al.*, (2003). Se pesó 1 g de muestra previamente pulverizada y desgrasada, la cual se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se le añadieron 50 ml de solución amortiguadora de fosfatos (0.08 mM a pH 6) y 100 μl de α -amilasa. Posteriormente, se incubaron en baño María a 95 °C durante 30 minutos, agitando cada 5 minutos. Se retiraron del baño María y se enfriaron a temperatura ambiente, posteriormente se ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N. Posteriormente, se adicionaron 100 μl de la enzima proteasa de concentración 50mg/ml y se incubó en baño María a 60°C por 30 minutos con agitación continua. Transcurrido el tiempo, se dejó atemperar y nuevamente se ajustó el pH a 4.5 con HCl 0.275 N. Enseguida, se agregaron 100 μl de amilogucosidasa y se incubó por 30 minutos a 60°C con agitación continua. Finalizada la incubación se filtró en un papel Whatman no. 4 (previamente a peso

constante) utilizando un matraz kitazato con un embudo Büchner al vacío. Se realizaron 2 lavados con 15 ml de agua destilada a una temperatura de 60°C, además, 2 lavados con 15 ml de etanol al 80%. El papel filtro con el sólido filtrado se secó en estufa a 40°C durante 24 horas y finalmente se registró su peso. La fibra insoluble se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra insoluble} = \frac{P_2 - P_1}{P_3} \times 100$$

P1 = Peso del papel filtro (g)

P2 = Peso final del papel con el sólido filtrado (g)

P3 = Peso de la muestra (g)

IV.6.1.2 Fibra soluble

La fibra soluble se determinó basándose en la metodología de la determinación de fibra insoluble, se conservó la solución filtrada a la cual se le agregó etanol al 80% en relación 1:1 y se dejó reposar por 48 horas. Posteriormente, se filtró en papel Whatman no. 42 (peso constante). Seguido de esto se hicieron 2 lavados con 15 ml de etanol al 80% y 2 lavados con 15 ml de acetona. Finalmente, se dejó secar el papel filtro a 40°C por 2 horas y se registró su peso. El porcentaje de fibra soluble se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra soluble} = \frac{P_2 - P_1}{P_3} \times 100$$

Donde:

P1 = Peso del papel filtro (g)

P2 = Peso final del papel con el sólido filtrado (g)

P3 = Peso de la muestra (g)

IV.6.2 Extracción de compuestos fenólicos libres

Para la extracción de los compuestos fenólicos se empleó el método descrito por Zavala-López y García-Lara., (2017). Se pesaron 50 mg de muestra (previamente molida) en un microtubo de centrifuga tipo eppendorff y se añadieron 700 µL de metanol al 80% y se agitaron en vortex durante 5 min. A 2500 rpm. Posteriormente se incubaron en agitación constante a 500 rpm durante 15 minutos a una temperatura de 25° C. pasado el tiempo se

centrifugó a 5000 rpm durante 10 min. Finalmente, una vez obtenido el sobrenadante, se almacenó a 4°C protegiéndolo de la luz.

IV.6.2 Cuantificación de compuestos fenólicos

IV.6.2.1 Cuantificación de fenoles totales

Los fenoles totales se cuantificarán utilizando la metodología descrita por Margraf *et al.*, (2015). En una placa de 96 pozos se agregaron 25µL de extracto, posteriormente se añadieron 25µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10). Después se agregaron 200 µL de agua destilada. Paso seguido, se incubó la placa protegiéndola de la luz en incubadora a 50 rpm por 5 min a 40° C. Terminado el tiempo se agregaron 25 µL de NaCO₃ al 10% a cada pozo con ayuda de una pipeta multicanal, inmediatamente la placa se lee en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 760nm. Los resultados obtenidos se compararon con una curva de calibración de ácido ferúlico (0-80 µg/ml). El contenido de fenoles totales se expresó como mg equivalentes de ácido ferúlico por gramo de muestra.

IV.6.2.2 Cuantificación de flavonoides

Los flavonoides se cuantificaron basado en la metodología descrita por Oomah *et al.*, (2005). Se mezclaron 50 µl de extracto metanólico con 180 µl de agua destilada y 20 µl de una solución de 2-aminoetil-difenilborato (10g/L). Se utilizó un espectrofotómetro de placa a una longitud de onda de 404 nm. Las absorbancias obtenidas se compararon con una curva estándar de quercetina. El contenido de flavonoides se expresará como miligramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra.

IV.6.2.3 Determinación de antocianinas totales

Las antocianinas totales serán determinadas a través del método descrito por Condori *et al* (2020). Se preparó una solución de Cloruro de potasio (KCl) al 0.025 M ajustada con HCl (ácido clorhídrico) a un pH de 1, así mismo se preparó una solución de acetato de sodio (C₂H₃NaO₂) al 0.4 M ajustada a un pH de 4.5.

En una placa de 96 pozos se colocaron 50 µL extracto en cada pozo, posteriormente se agregaron 175 µL de solución de KCl, inmediatamente se procedió a leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 y 700 nm. De la misma forma, se colocaron

50 µL de extracto seguido de 175 µL de C₂H₃NaO₂, se repitió el procedimiento descrito anteriormente. Obtenidas ambas absorbancias se realizó cuantificación de antocianinas totales mediante la siguiente fórmula:

$$Abs = (abs_{510} - abs_{700})_{pH1} - (abs_{510} - abs_{700})_{pH4.5}$$

$$\text{Antocianinas totales} = \frac{Abs \cdot PM \cdot FD}{s \cdot d}$$

Donde:

PM: Peso molecular de la antocianina mayoritaria (Cianidina-3-O-glucosido)

FD: Factor de dilución

ε: Coeficiente de extracción molar

d: Altura del pozo

IV.6.3 Determinación de capacidad antioxidante

IV.6.3.1 Capacidad antioxidante por el método DPPH

El método utilizado para medir la capacidad antioxidante fue el descrito por Fukumoto y Mazza, (2000). En una microplaca se añadieron 20 µL de extracto metanólico y 200 µL de solución DPPH. Se tomó lectura a 0, 10, 30, 60 y 90 minutos a 520 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La microplaca se mantendrá cubierta y con ausencia de luz a temperatura ambiente. Los valores serán comparados contra una curva de calibración con trolox (0-800 µM/ml) como estándar. Los resultados se expresaron como µmol equivalente de trolox/ g de muestra.

IV.6.3.2 Capacidad antioxidante por el método ABTS

La capacidad antioxidante se midió por el método descrito por Nenadis *et al.*, (2004). Se preparó una solución acuosa 7nM de ABTS y una solución de K₂S₂O₈ 140 mM. Con las soluciones anteriores, se preparó una solución con 5 mL y 88 µL respectivamente. La solución se dejó en reposo y protegida de la luz por 12 horas para generar el radical. Finalizado el tiempo, se tomaron 500 µL de la solución y se le agregarán 20-25 mL de etanol. La solución se leyó a una longitud de onda de 734 nm, esperando valores entre 0.7 y 1 de absorbancia. Paso seguido, en una microplaca se adicionaron 20 µL de muestra y un control con 20 µL de metanol. Posteriormente, se adicionaron 230 µL de ABTS a cada pozo.

Los valores fueron comparados contra una curva de calibración usando trolox (0-800 $\mu\text{M}/\text{ml}$) como estándar. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de trolox/ g de muestra.

IV.7 Diseño de la bebida

Con las harinas obtenidas se elaboraron cuatro formulaciones para la preparación de la bebida, en ellas se incluyeron los siguientes ingredientes: harina de maíz, cacao, piloncillo y canela, variando únicamente el tipo de harina en cada formulación.

Para las formulaciones se realizará un diseño factorial $2^k = 2^2$, (Cuadro 6) tomando como factor A la variedad del maíz (Azul y rojo) y como factor B el método de nixtamalización (tradicional y extrusión). Dichas formulaciones fueron basadas la elaboración tradicional del pozol.

Cuadro 7. Descripción de los valores codificados de los factores en el diseño estadístico

Formulación	Factor A	Factor B
1	Azul	Tradicional
2	Rojo	Extrusión
3	Azul	Extrusión
4	Rojo	Tradicional

Las formulaciones se realizaron en las instalaciones de la planta piloto de alimentos, bajo las buenas prácticas de manufactura de alimentos, establecidas por la NOM-251-SSA1-2009.

IV.8 Análisis microbiológico

Debido a que el Codex alimentario no establece una norma para la elaboración de pozol, se realizó determinación de coliformes totales por la NOM-113-SSA1-1994, así como la cuantificación de mesófilos por NOM-092-SSA1-1994. Del mismo modo, se realizó la determinación de mohos y levaduras según la NOM-111-SSA1-1994. Dichos análisis se realizaron en la unidad de servicios clínicos de la Universidad Autónoma de Querétaro, para cada una de las formulaciones.

IV.9 Aceptabilidad sensorial del pozol

Se evaluarán las diferentes formulaciones obtenidas tras el diseño factorial. Para dicha evaluación se consideró un panel no entrenado con 60 participantes (Mammasse & Schlich, 2014) de la Universidad Autónoma de Querétaro con un rango de edad de 18-50 años, mismos que fueron reclutados tras la divulgación de un cartel informativo con los datos de la prueba, este fue colocado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro (Anexo 1) y publicado en redes sociales personales y de la facultad (Facebook).

Se excluyeron personas que presenten alguna enfermedad que altere su percepción del sabor o manifiesten alergias a cualquiera de los ingredientes de la formulación (compuestos fenólicos o fibra), mujeres embarazadas o en lactancia, personas con discapacidad mental o que se encuentren bajo algún tratamiento médico. Después de explicar el consentimiento informado (Anexo 2), este fue firmado por el panelista, para de esta manera realizar las dos pruebas, de preferencia y agrado (Anexo 4).

La evaluación sensorial se realizó en las instalaciones de la planta piloto, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Se aseguraron las condiciones adecuadas para la comodidad del panelista: buena iluminación, circulación de aire y temperatura ambiente.

La propuesta del pozol es una bebida a la cual se sugiere realizar movimientos oscilatorios antes de ingerirse, esto con el fin de homogenizar su contenido y poder percibir sus características organolépticas correctamente. Se proporcionó a cada uno de los participantes 25 mL de pozol en vasos transparentes, los cuales se etiquetaron con un código de 3 dígitos aleatorios. Además, se proporcionaron servilletas, un vaso con agua purificada y una galleta neutra “habaneras” los cuales fueron utilizados entre cada una de las muestras con el fin de limpiar el paladar.

Para la prueba sensorial de agrado se utilizó una escala hedónica de 7 puntos desde 1 = me disgusta mucho, hasta 7 = me gusta mucho con respecto al sabor, olor, color, apariencia y textura (Lawless y Heymann, 2010). Mientras que, para la prueba de preferencia el panelista ordenó cada una de las formulaciones según su nivel de agrado (Anexo 4).

Las muestras fueron elaboradas de manera inocua, previniendo la contaminación de estos, siempre cuidando las buenas prácticas de manufactura. El riesgo de la investigación fue denominado categoría A.

IV.10 Digestibilidad in vitro

IV.10.1 Digestibilidad *in vitro* de proteínas

La digestión de la proteína se realizó por el método propuesto por Hsu *et al.*, (1977), con modificaciones. Se preparó una muestra molida finamente, la cual se colocó en tubos con 10 ml de agua destilada (63.8 mg de proteína pura), se ajustó el pH de la solución a 8.0 con HCl o NaOH 0.1 N (según sea el caso), seguido de esto se llevó a baño María a 37 °C y se mantuvo en agitación constante hasta alcanzar la temperatura del baño (15 minutos). Alcanzada la temperatura se adicionaron 1 mL del complejo enzimático (1.58 mg de tripsina, 3.65 mg de quimiotripsina y 0.45 de proteasa en 1 mL de agua destilada) y se incubó durante 10 minutos a 37° C en agitación constante, después se agregó 1ml de proteasa bacteriana (1.48 mg en 1 mL de agua destilada) y se incubó a 55° C por 10 minutos en agitación continua, pasado el tiempo de incubación se dejó enfriar y se midió el pH.

El pH registrado será sustituido en la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de digestibilidad proteica.

$$\% \text{ Digestibilidad de proteína} = 234.84 - 22.5 (\text{pH final})$$

IV.10.2 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en las determinaciones nutraceúticas y fisicoquímicas se expresaron como la media \pm la desviación estándar. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de varianza ANOVA con un nivel de confianza del 95%. La comparación de todos los tratamientos se realizó con un análisis de comparación de medias aplicando la prueba de Tukey. En la evaluación sensorial de aceptabilidad de los pozoles se empleará una prueba de Chi. Todos los análisis se harán utilizando el software JMP.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1 Caracterización física de los granos

V.1.1 Medición de granos e impurezas

La calidad del grano de maíz está determinada por sus características físicas y composición química (Salinas-Moreno *et al.*, 2010). En el **Cuadro 8** se presentan los resultados de la medición de los granos de maíz (*Zea mays* L.) azul y rojo, así como la de impurezas.

Cuadro 8. Tamaño del grano y determinación de impurezas

Maíz	Tamaño ¹			Peso de cien granos ²	Impurezas ³
	Largo	Ancho	Grosor		
MA	11.09 ± 0.009 ^a	8.95 ± 0.25 ^b	5.06 ± 0.58 ^a	37.9 ± 3.03 ^b	1.29 ± 0.002 ^b
MR	10.34 ± 0.17 ^b	10.67 ± 0.34 ^a	4.98 ± 0.46 ^b	41.37 ± 1.52 ^a	4.67 ± 0.40 ^a

MA: Maíz Azul Crudo; MR: Maíz Rojo Crudo. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. ¹Se expresa como centímetros. ²Se expresa como gramos. ³Se expresa como porcentaje.

Los resultados muestran diferencias significativas en el tamaño del grano entre las dos variedades. El maíz azul tuvo un mayor largo, mientras que el maíz rojo presentó mayor ancho y menor grosor comparado con el maíz azul. La diferencia en el tamaño de los granos puede deberse a distintos factores, desde la selección de la semilla por parte de los agricultores hasta los daños que el grano pueda tener a causa de factores ambientales como nutrición de la planta, sequías o plagas durante el cultivo (Mansilla, 2018).

Mediante el peso de cien granos se puede determinar la dureza del grano, la cual puede presentar variación dependiendo de la forma y tamaño del grano, así como de la composición química del endospermo (Olán *et al.*, 2012).

El peso de cien granos funge como referencia para determinar el tamaño del grano, variedad azul presenta granos medianos, mientras que los maíces rojos tienen granos grandes, de acuerdo con lo reportado por Salinas-Moreno *et al.*, (2010). En los procesos alcalinos el tamaño del grano está relacionado con en el grado de cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización, dado que granos más grandes alcanzan un menor cocimiento en comparación con lo granos pequeños durante un mismo lapso.

Respecto al porcentaje de impurezas, los resultados muestran que existen diferencias significativas entre las dos variedades, siendo el maíz rojo quien presentó un porcentaje

mayor con un valor de 4.67 ± 0.40 , mientras que el maíz azul presenta un porcentaje de impurezas de 1.29 ± 0.002 . De acuerdo con la norma NMX-FF034/1-SCFI-2002 estos valores indican un grado de calidad del grano nivel 1.

V.1.2 Índice de flotación y peso hectolítrico

El índice de flotación y peso hectolítrico son variables que están directamente relacionadas con la dureza del grano (Blandino *et al.*, 2010; Gaytán-Martínez *et al.*, 2013). Los resultados del índice de flotación y el peso hectolitrico del maíz (*Zea mays* L.) azul y rojo se muestra en el **cuadro 9**.

Cuadro 9. Índice de flotación y peso hectolítrico de los granos de maíz (*Zea mays* L.)

Muestra	Índice de flotación ¹	Peso hectolítrico ²
MA	2 ± 0.06^a	80.26 ± 0.70^a
MR	89 ± 2.60^b	67.83 ± 0.11^b

MA: Maíz Azul Crudo; MR: Maíz Rojo Crudo. Los resultados representan la media \pm la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. ¹Se expresa como granos flotantes. ²Se expresa como kg/hL.

La dureza está directamente relacionada con el tiempo de cocción durante el proceso de nixtamalizado (Roque-Maciel *et al.*, 2016). Los resultados mostraron diferencias significativas entre las dos variedades, obteniendo un promedio de 89 granos flotantes para el maíz rojo y 2 granos para el maíz azul, estos datos al igual que el peso hectolítrico, indican de acuerdo con la norma NMX-FF034/1-SCFI-2002 el nivel de dureza de los granos de maíz (**Cuadro 10**). De acuerdo con los valores obtenidos los granos de maíz azul se encuentran dentro del rango de maíces “muy duros”, los cuales tendrían un tiempo de cocción de 45 minutos; mientras que los maíces rojos requieren un tiempo de cocción de 25 minutos, ya que se encuentran en el rango de maíces “muy suaves”. La determinación del tiempo de cocción es de gran relevancia debido a que tradicionalmente durante el proceso de nixtamalizado la cocción del grano se mide de acuerdo al desprendimiento del pericarpio del grano con los dedos factor que se ve directamente relacionado con el consumo de energía y combustible, los cuales generalmente provienen de energías no renovables (Roque-Maciel *et al.*, 2016).

Cuadro 10. Tiempo de cocción de acuerdo al número de granos flotantes

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (minutos)
0-12	Muy duro	45
13 - 37	Duro	40
38 - 62	Intermedio	35
63 - 87	Suave	30
88 - 100	Muy suave	25

NMX-FF034/1-SCFI-2002

Las características físicas de los granos de maíz también están relacionadas con el grado de dureza, puesto que aquellos granos que presentan un aspecto vítreo y superficie lisa, cuyo endospermo córneo constituye más del 50% del grano tienden a ser maíces duros, mientras que los maíces suaves presentan un endospermo de aspecto harinoso y opaco, este constituye el 35% del grano (NMX FF-034/1SCF-2002).

El grano de maíz se compone por cuatro estructuras principales pericarpio (5 a 6 %), endospermo (82 a 83%), germen (9 a 10%), pedicelio (0.8 a 1%), se llevó a cabo la disección de los granos y se pesaron cada una de estas estructuras y los resultados que se presentan en el **Cuadro 11**.

Cuadro 11. Disección de los granos de maíz

Maíz	Pericarpio	Endospermo Harinoso	Endospermo vítreo	Germen	Pedicelio
Azul	4.91 ± 0.59 ^b	31.95 ± 0.35 ^b	50.90 ± 0.22 ^a	10.96 ± 1.2 ^a	1.26 ± 0.61 ^a
Rojo	5.63 ± 0.72 ^a	73.91 ± 0.22 ^a	7.19 ± 0.12 ^b	11.86 ± 1.4 ^a	1.41 ± 0.15 ^a

Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T-student. Todos los resultados se reportan como porcentaje (%).

Se observó un porcentaje mayor de pericarpio en el maíz rojo, esto puede deberse al tamaño del grano el cual es superior al tamaño del grano azul. Respecto al porcentaje de endospermo, este se dividió en endospermo harinoso y endospermo vítreo, con el fin de identificar el nivel de dureza del grano, ya que aquellos con mayor porcentaje de endospermo vítreo son relacionados con maíces duros, mientras que a mayor presencia de endospermo harinoso los granos de maíz tienden a ser más suaves (Fernández-Suarez, 2013).

El germen funciona como almacenamiento de nutrientes y hormonas que actúan

como sustrato para enzimas en la etapa de germinación, sin embargo, también está compuesto por un alto contenido de lípidos y proteínas. Los resultados de la disección del germen fueron de 10.96 y 11.89% para el maíz azul y rojo respectivamente, éstos se encuentran dentro de lo reportado por Palacios-Rojas, (2018), donde también se destaca la importancia del contenido de germen para la producción de harinas nixtamalizadas, dado que a mayor contenido de germen mayor contenido lípido, este factor puede provocar problemas de rancidez durante el almacenamiento.

El porcentaje de pedicelio es relevante para la industria nixtamalera, debido a que está relacionado con la apariencia final en la producción de tortillas, esto porque los cambios químicos provocados durante la cocción del maíz en solución alcalina aumenta la presencia de puntos negros en las tortillas, factor que puede resultar perjudicial para la industria.

V.2 Caracterización química de las harinas

La composición química del grano de maíz puede variar por el genotipo de la variedad, el ambiente y las condiciones de siembra, esto se ve reflejado en su valor nutritivo (Paredes-López *et al.*, 2009). Los granos de maíz crudo, azul y rojo, así como las harinas obtenidas a partir de los tratamientos de nixtamalizado por extrusión de ambas variedades, se caracterizaron químicamente (**Cuadro 12**).

Cuadro 12. Caracterización química del grano de maíz (*Zea mays* L.) crudo y harinas nixtamalizadas por extrusión y método tradicional.

Harina	Proteína	Lípidos	Cenizas	Humedad	Carbohidratos
AC	8.31 ± 0.12 ^A	5.48 ± 0.70	1.53 ± 0.05 ^A	8.89 ± 0.20 ^B	75.79 ± 0.42 ^C
AE	7.29 ± 0.24 ^B	5.76 ± 0.03	1.45 ± 0.01 ^A	5.06 ± 0.06 ^A	80.44 ± 0.16 ^A
AT	8.38 ± 0.01 ^A	5.33 ± 0.04	1.49 ± 0.06 ^A	6.67 ± 0.17 ^A	79.13 ± 0.16 ^B
RC	6.47 ± 0.25 ^b	5.57 ± 0.19 ^a	1.51 ± 0.02 ^a	8.55 ± 0.03 ^b	77.90 ± 0.49 ^b
RE	7.39 ± 0.06 ^a	5.42 ± 0.08 ^a	1.36 ± 0.03 ^a	9.11 ± 0.01 ^b	76.72 ± 0.17 ^c
RT	7.08 ± 0.11 ^{ab}	4.84 ± 0.03 ^b	1.56 ± 0.02 ^b	7.65 ± 0.25 ^a	78.87 ± 0.31 ^a

A: Maíz azul; R: Maíz rojo; C: Harina cruda; E: Nixtamalizado por extrusión; T: Nixtamalizado tradicional. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tuke. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las harinas de maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre harinas de maíz rojo. Todos los resultados se expresan en porcentaje (%).

El maíz azul presentó mayor contenido de proteína comparado con el maíz rojo, esto se puede relacionar con la dureza del grano, ya que el contenido proteico determina dicha variable, siendo más duros aquellos con mayor porcentaje de proteína (Bello-Pérez *et al.*,

2016). De acuerdo con los resultados del **Cuadro 12**, el contenido de proteína de maíz rojo no mostró diferencia significativa entre los tratamientos de extrusión y nixtamalizado tradicional, sin embargo, se observó un incremento 14.2 y 9.4%, respectivamente, en relación con el porcentaje de proteína en maíz rojo crudo.

Las harinas obtenidas bajo el proceso de nixtamalización tradicional presentaron porcentajes de proteína semejantes a lo reportado por la literatura, los cuales concuerdan con un porcentaje mínimo de 8% y un máximo de 15% (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013; Bello-Pérez, 2016; Betancourt *et al.*, 2017; Larkins, 2019). Específicamente para maíz azul y rojo, Ortiz-Prudencio (2006) señala que el porcentaje de proteína es de 8.85% a 11.50% y de 10.04% a 11.27%, respectivamente.

Respecto al contenido lipídico no se encontraron diferencias significativas entre las muestras de maíz azul, sin embargo, el maíz rojo extrudido disminuyó su contenido significativamente respecto al grano de maíz crudo, este efecto puede atribuirse a la formación de compuestos con otras biomoléculas como proteínas y carbohidratos debido al movimiento termo-mecánico producido por la extrusión (Gómez-Aldapa *et al.*, 1996). En general los resultados de fracción lipídica se ubican dentro de los valores reportados para maíces criollos, que van del 4.11 a 6.02% (Betancourt *et al.*, 2017).

V.3 Composición fitoquímica de las harinas

Como parte de la caracterización fitoquímica se determinaron fenoles totales, flavonoides y antocianinas libres de los granos de maíz crudo, las harinas de maíz extrudido y las harinas de maíz nixtamalizado azul y rojo, los resultados se presentan en el **Cuadro 13**.

Cuadro 13. Composición fitoquímica del grano de maíz (*Zea mays L.*) crudo y harinas obtenidas por nixtamalizado tradicional y por extrusión azul y rojo

Harinas	Fenoles totales ¹	Flavonoides ²	Antocianinas ³
AC	191.92 ± 0.25 ^A	3.22 ± 0.002 ^A	25.63 ± 0.53 ^A
AE	169.36 ± 0.14 ^B	1.78 ± 0.007 ^B	5.68 ± 0.82 ^B
AT	162.00 ± 0.15 ^C	1.45 ± 0.002 ^C	2.88 ± 0.13 ^C
RC	194.85 ± 0.02 ^a	3.11 ± 0.002 ^a	20.65 ± 0.75 ^a
RE	159.78 ± 0.07 ^b	2.11 ± 0.02 ^b	10.05 ± 0.23 ^b
RT	138.32 ± 0.06 ^c	1.06 ± 0.03 ^c	2.02 ± 0.13 ^c

A: Maíz azul; R: Maíz rojo; C: Harina cruda; E: Nixtamalizado por extrusión; T: Nixtamalizado tradicional. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas

entre las harinas de maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre harinas de maíz rojo. ¹Fenoles totales libres se expresan como mg equiv. De ác. Ferúlico/100g muestra. ²Flavonoides totales libres se expresan como mg equiv. De quercetina/100g muestra, ¹Antocianinas totales se expresan como mg de cianidina 3 glucosido/L.

De acuerdo con los resultados los maíces crudos presentaron mayor contenido compuestos fenólicos libres, siendo el maíz rojo el que presentó mayor cantidad (194.85 mg de ácido ferúlico/100 g de muestra), estos datos concuerdan con lo reportado por Loarca-Piña *et al.*, (2019), quienes reportan un rango de estos compuestos de 69.47 a 130.38 mg de ác. Gálico/100 g de muestra para maíces azules; mientras que para maíces rojos reportan un rango de 81.59 a 212.84 mg de ácido gálico/100 g de muestra.

De la parra *et al.*, (2017), reportan una disminución en el contenido fenólico de los maíces posterior a la nixtamalización, atribuyeron la disminución de estos compuestos al proceso alcalino al que fueron sometidos debido a que se produce un hinchamiento del grano y con ello el rompimiento del pericarpio, liberando compuestos fenólicos al agua de nejayote, sin embargo aquellos compuestos que se encuentran en la aleurona del grano tienden a adherirse al endospermo del grano, estructura que les permite retener mayor cantidades de estos compuestos (Serna *et al.*, 1990; Rojas *et al.*, 2007).

Por su parte Serna-Saldivar *et al.*, (2013) mencionan que la nixtamalización puede causar cambios relevantes en el perfil fitoquímico del maíz, debido a que durante este proceso se retira gran parte del pericarpio del grano, zona donde se encuentran algunos compuestos fenólicos de tipo flavonoide como las antocianinas. Sin embargo, dicho efecto solo es parcial dado que la disminución de compuestos fenólicos totales se presenta en ambas harinas, siendo las extrudidas las que presentaron menor pérdida de dichos compuestos, esto se puede atribuir a que durante el proceso de extracción se mantienen estructuras del grano como es el pericarpio y la aleurona.

En el contenido de flavonoides se observó la misma tendencia, siendo los maíces crudos los que presentaron un contenido más alto en comparación con los tratados por ambos métodos de nixtamalización, con valores de 3.22 y 3.11 µg de quercetina/100 g de muestra, para maíz azul y rojo respectivamente. Mientras que en las harinas tratadas con el método tradicional y extrudidas presentaron diferencias significativas, siendo las extrudidas las que mantuvieron mayor cantidad de flavonoides con 1.78 y 2.11 µg de quercetina/100 g de muestra, en harinas de maíz azul y maíz rojo respectivamente. Aunque los compuesto

bioactivos no son indispensables en la dieta para una correcta nutrición, aportan un valor significativo para la salud del consumidor, de las cuales se destacan su efecto preventivo contra: estrés oxidativo, cáncer, alto colesterol, arterioesclerosis y enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles (Cereceres-Aragón *et al.*, 2020). Los maíces pigmentados presentan grandes ventajas al contener estos compuestos en su estructura, ya que otorgan valor agregado a los alimentos que se elaboren a partir de ellos.

El contenido de antocianinas totales mostró resultados más altos en los maíces crudos, resaltando el maíz azul con un contenido de 25.63 mg de cianidina-3-O-glucosido/100 g de muestra, mientras que el maíz rojo presentó un contenido de 20.65 mg de cianidina-3-O-glucosido/100 g de muestra, estos resultados superan lo reportado por Loarca Piña *et al.*, (2019) quienes mencionan 3.89 y 10.24 mg de cianidina-3-O-glucosido/100 en granos azul y rojo respectivamente, las diferencias pueden atribuirse a la diferencia en la variedad del grano, así como los posibles cambios entre cosechas.

Serna-Saldivar *et al.*, (2013) mencionan que procesos termo-alcálinos como la nixtamalización, provocan la degradación de hasta un 80% de las antocianinas, este efecto se vio reflejado en los resultados presentados en el cuadro 14, los maíces azul y rojo mostraron una disminución de 89 y 90.3% respectivamente. Mientras que en los resultados de esta propuesta la degradación fue menor de 78 y 47%. Los resultados sugieren que las harinas nixtamalizadas por extrusión de maíz rojo, conservaron la mayor cantidad de flavonoides y a su vez de antocianinas dado a que estas se encuentran en la aleurona y el pericarpio del grano, estructuras que durante el proceso de extrusión no se remueven, caso contrario al método de nixtamalizado tradicional donde son retiradas en el agua de nejayote.

V.4 Capacidad antioxidante de las harinas

La capacidad antioxidante de las harinas osciló en un rango de 393.52 a 437.78 μM equivalente de Trolox/100 g de muestra para la prueba de ABTS, sin embargo no se encontraron diferencias significativas para la prueba de DPPH en el maíz azul (**Cuadro 14**). Las harinas crudas de maíz rojo y azul presentaron mayor contenido de capacidad antioxidante, con una cantidad de 437.78 y 427.10 μM equivalente de Trolox/100 g de muestra, respectivamente. Las harinas nixtamalizadas por su parte, presentaron diferencias

significativas comparadas con las harinas de maíz crudo, dichas diferencias son atribuidas al proceso termoalcalino al que fueron sometidas, debido a que gran parte de los compuestos fenólicos (haciendo énfasis en las antocianinas) son sensibles a la presencia de luz, oxígeno, pH, presencia de iones metálicos (Ca^{2+}) y de la temperatura (Bordignon-Luiz *et al.*, 2007), factores que se encuentran presentes en los procesos de nixtamalizado los cuales podrían desestabilizar las antocianinas al mismo tiempo que reducen su contenido. Este efecto se ve directamente relacionado con la capacidad antioxidante de las harinas. Por lo tanto, la capacidad antioxidante de los granos de maíz pigmentado, está directamente relacionada con la cantidad de compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides y antocianinas) presentes en el grano de maíz (Vazquez-Olivo *et al.*, 2017). Sin embargo, esta se puede ver afectada por la variedad genética y las condiciones de crecimiento en las que se desarrolla la planta (Flores-Naveda *et al.*, 2021).

Cuadro 14. Capacidad antioxidante de las harinas crudas y nixtamalizadas

Harina	ABTS	DPPH
AC	427.10 ± 0.06 ^A	68.59 ± 0.17 ^A
AE	399.94 ± 0.27 ^B	68.06 ± 0.07 ^A
AT	398.41 ± 0.47 ^B	68.25 ± 0.09 ^A
RC	437.78 ± 0.27 ^a	68.73 ± 0.06 ^b
RE	428.93 ± 0.06 ^b	68.31 ± 0.04 ^b
RT	393.52 ± 0.20 ^e	69.39 ± 0.03 ^a

A: Maíz azul; R: Maíz rojo; C: Harina cruda; E: Nixtamalizado por extrusión; T: Nixtamalizado tradicional. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las harinas de maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre harinas de maíz rojo. Los resultados se expresan como μM equivalente de Trolox/100 g de muestra

V.5 Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total de las harinas

El pericarpio del grano es la estructura donde se encuentra la fibra dietaria, la cual está compuesta principalmente por arabinosa, heteroxilanos, celulosa y ácidos fenólicos, como el ácido ferúlico (Carvajal-Millan *et al.*, 2007). Los resultados del contenido de fibra dietaria total así como soluble e insoluble se presentan en el **Cuadro 15**.

Los maíces crudos tuvieron un porcentaje de fibra total de 15.80 y 12.53% para maíz azul y rojo respectivamente, dentro de este porcentaje se cuantificó el contenido de fibra

soluble, la cual incrementó en las harinas de ambos tratamientos. Paredes-López *et al.*, (2009), reportan que procesos como la nixtamalización pueden provocar el hinchamiento y la disolución de las capas del pericarpio y con ello las paredes celulares de la fibra dietaria de esta parte del grano se vuelven frágiles, lo que conlleva a la pérdida de fibra dietaria insoluble e incrementa el porcentaje de fibra dietaria soluble, dicho incremento puede otorgar beneficios a la salud, diversos estudios han relacionado los alimentos con alto contenido de fibra soluble con la sensación de saciedad a nivel de estómago, reduciendo la ingesta de alimentos. Por su parte a niveles de colon la fibra soluble aumenta su capacidad de fermentabilidad, viscosidad y estimula la proliferación de bacterias ácido lácticas, ya que se genera una producción de ácidos grasos de cadena corta como el ácido butírico, que es el principal sustrato de las células de la mucosa intestinal (Eswaran *et al.*, 2013).

Cuadro 15. Contenido de fibra dietaria, insoluble, soluble y total

Harina	Fibra soluble	Fibra insoluble	Fibra total
AC	13.95 ± 0.20 ^C	1.83 ± 0.03 ^A	15.8 ± 0.23 ^{AB}
AE	16.85 ± 0.26 ^A	1.36 ± 0.02 ^B	18.05 ± 0.20 ^A
AT	15.52 ± 0.35 ^B	1.19 ± 0.06 ^B	16.89 ± 0.37 ^B
RC	11.05 ± 0.04 ^c	1.49 ± 0.08 ^a	12.53 ± 0.04 ^c
RE	16.56 ± 0.02 ^a	1.46 ± 0.11 ^a	18.02 ± 0.14 ^a
RT	13.58 ± 0.02 ^b	1.56 ± 0.04 ^a	15.14 ± 0.14 ^b

A: Maíz azul; R: Maíz rojo; C: Harina cruda; E: Nixtamalizado por extrusión; T: Nixtamalizado tradicional. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las harinas de maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre harinas de maíz rojo. Todos los resultados se expresan en porcentaje (%).

V.6 Formulación del polvo para pozol

Obtenidas las harinas nixtamalizadas por el proceso de extrusión y el método tradicional (AE, AT, RE Y RT) se desarrollaron cuatro formulaciones para la elaboración del pozol, las cuales se describen en el **Cuadro 16**.

Cuadro16. Formulación de pozol

Ingrediente	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
AE	6	-	-	-
AT	-	6	-	-
RE	-	-	6	-
RT	-	-	-	6
Endulzante	0.8	0.8	0.8	0.8
Cacao	0.04	0.04	0.04	0.04
Canela	90	90	90	90

A: Maíz azul; R: Maíz rojo; E: Nixtamalizado por extrusión; T: Nixtamalizado tradicional. Para una porción de 100 mL. Las cantidades se expresan en porcentaje (%).

Dichas formulaciones fueron basadas en la elaboración tradicional del pozol, hecho con masa de maíz blanco nixtamalizado.

V.6.1 Caracterización química de las formulaciones

Los resultados de la caracterización química de las formulaciones se presentan el **Cuadro 17**. Comparado con las harinas tratadas con ambos métodos de nixtamalización, las formulaciones presentaron un contenido menor de proteínas, siendo la formulación PRT la que presentó el porcentaje más elevado con 4.19%. Este suceso puede deberse a la interacción que existe entre los carbohidratos y proteínas dando lugar a una reacción de Maillard (Björck & Asp., 1983), permitiendo la unión del grupo amino de los aminoácidos con el grupo carbonilo de los CHO, por lo que el contenido final podría presentar una ligera sobreestimación.

Existen pocas referencias respecto a la composición nutrimental del pozol, en general sobre las bebidas tradicionales elaboradas con maíz. Ayala-Padilla., (2022) reporta un rango de proteína de 9.75 a 11.95 g/100 g en masa de pozol elaborada con maíz blanco, las diferencias de dichos datos con los resultados obtenidos en este trabajo pueden deberse a la variedad del maíz empleado, dado que existen reportes de un aporte mayor de proteína de los maíces blancos (Chan-Chan *et al.*, 2021; Martinez-Guardia *et al.*, 2016).

Respecto al contenido lipídico se observó un incremento en el contenido en cada formulación, siendo la formulación PAT la de menor porcentaje (6.43%). Otros autores han reportado un rango de 7.93 a 19.69 g/ 100 g para pozol de cacao y un porcentaje de 6.48% para su variante pozol blanco que es elaborado únicamente con maíz blanco nixtamalizado (Ayala-Padilla., 2022; Ramos-Guillen., 2011). El incremento en el contenido lipídico en las

formulaciones es principalmente atribuido a la adición de cacao a las harinas, ya que aproximadamente el 50% de grano seco está constituido por grasas (Báez & Gómez, 2016), además los ácidos grasos presentes en el cacao, son en su mayoría ácidos grasos saturados como el esteárico, el cual no es aterógeno y no aumenta el colesterol en la sangre (Salinas & Moreno., 2012).

El contenido de carbohidratos de mantuvo en el rango obtenido en las harinas tratadas, a excepción de la formulación PAT Y PRT, que fueron las que presentaron mayor (85.27%) y menor (68.48%) porcentaje respectivamente, todos los resultados se encontraron por debajo del control comercial. Ayala-Padil a., (2022), menciona que en “pozol de cacao” elaborado con maíz blanco existe un rango de 60.85 a 75.81% en carbohidratos, esto puede deberse principalmente a la variedad en la materia prima empleada, a diferencia del maíz blanco, los maíces pigmentados contienen mayor porcentaje de carbohidratos, el cual también puede variar dependiendo de la dureza del grano (Salinas-Moreno *et al.*, 2012).

Cuadro 17. Caracterización química de las formulaciones

Formulación	Proteína	Lípidos	Cenizas	Humedad	Carbohidratos
PAE	3.26 ± 0.14 ^A	7.98 ± 0.10 ^A	0.23 ± 0.03 ^A	7.53 ± 0.31 ^A	80.88 ± 0.27 ^B
PAT	3.38 ± 0.23 ^A	6.43 ± 0.47 ^B	0.09 ± 0.01 ^B	4.45 ± 0.06 ^B	85.27 ± 0.59 ^A
PRE	3.53 ± 0.09 ^b	7.14 ± 1.43 ^b	0.27 ± 0.02 ^a	7.34 ± 0.03 ^a	75.98 ± 1.66 ^a
PRT	4.19 ± 0.15 ^a	9.64 ± 0.65 ^a	0.23 ± 0.01 ^b	5.14 ± 0.22 ^b	68.48 ± 0.77 ^b
PC	1.94 ± 0.07	10.52 ± 1.71	0.03 ± 0.01	3.01 ± 0.68	84.18 ± 1.20

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con maíz rojo. Todos los resultados se expresan en porcentaje (%).

V.6.2 Caracterización fitoquímica de las formulaciones

Los resultados de la caracterización fitoquímica de las formulaciones se presentan en el **Cuadro 18**. En ella se cuantifico el contenido de fenoles y flavonoides totales, tanto de las formulaciones como del control comercial, todas las formulaciones presentaron mayor contenido de fenoles y flavonoides totales comparado con el control. Los resultados del contenido de fenoles totales oscilaron entre 603.97 y 626.37 mg equiv. de ácido ferúlico/100g muestra. No existen reportes del contenido fenólico del pozol, sin embargo, se observó un aumento notorio de estos compuestos entre las formulaciones con maíz pigmentado y el pozol

comercial elaborado con maíz blanco, factor que podría otorgar valor agregado a la bebida, ya que diversos estudios han relacionado el consumo de estos compuestos bioactivos con potenciales beneficios a la salud (Zhirkova *et al.*, 2016; Colombo *et al.*, 2021).

Cuadro 18. Composición fitoquímica de las formulaciones para pozol

Formulación	Fenoles totales	Flavonoides totales
PAE	626.37 ± 14.07 ^A	25.07 ± 0.11 ^A
PAT	625.54 ± 17.59 ^A	23.66 ± 0.47 ^B
PRE	603.97 ± 10.55 ^a	24.16 ± 1.17 ^a
PRT	584.40 ± 3.51 ^b	21.16 ± 0.23 ^b
PC	356.74 ± 12.90	12.32 ± 0.47

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con de maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con maíz rojo. ¹Fenoles totales libres se expresan como mg equiv. De ác. Ferúlico/100g muestra. ²Flavonoides totales libres se expresan como mg equiv. de quercetina/100g muestra.

V.6.3 Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total de las formulaciones.

La literatura menciona que los alimentos que han sido obtenidos con maíz nixtamalizado presentan un alto contenido de fibra, esto debido a que los procesos termo-alcalinos facilitan el rompimiento de la pared celular del pericarpio del grano, estructura donde se encuentra en mayor contenido de fibra dietaria (Paredes-López., 2009). No se ha reportado el contenido de fibra de pozol, sin embargo, los resultados presentados en el **Cuadro 19** fueron comparados con un pozol comercial, esto con el fin de tener una referencia respecto al contenido de fibra en el pozol originalmente elaborado con maíz blanco y por el método tradicional de nixtamalizado.

Los resultados en este trabajo mostraron diferencias significativas en el contenido de fibra soluble entre las formulaciones elaboradas con harina de maíz azul tratadas por ambos métodos de nixtamalizado, no así para las elaboradas con harina de maíz rojo, sin embargo, todas las formulaciones presentaron mayor contenido de fibra soluble que el pozol comercial. Respecto al contenido de fibra insoluble, no se encontraron diferencias significativas entre las formulaciones, aunque todas las formulaciones aumentaron en cantidad comparado con las harinas iniciales, las cuales se mantuvieron en un rango de 1.19 a 1.86 %.

Dentro de los con alto contenido de fibra se destacan: vegetales, cereales y leguminosas, los resultados obtenidos en todas las formulaciones superaron el contenido de fibra soluble e insoluble reportado para algunos alimentos comerciales como All-Bran, Conflakes, Frijoles enlatados, por mencionar algunos, dichos productos presentan un contenido menor al 10% de fibra dietaria (Duarte & Baranzini., 2008).

Cuadro 19. Contenido de fibra dietaria, soluble, insoluble y total

Muestra	Fibra soluble	Fibra insoluble	Fibra total
PAE	13.58 ± 0.09 ^b	2.68 ± 0.26 ^A	15.75 ± 0.16 ^b
PAT	16.56 ± 0.02 ^a	3.27 ± 0.24 ^A	19.35 ± 0.22 ^a
PRE	15.52 ± 0.35 ^a	3.04 ± 0.30 ^a	17.84 ± 0.66 ^a
PRT	13.85 ± 0.26 ^a	2.54 ± 0.54 ^a	15.59 ± 0.27 ^b
PC	14.87 ± 0.01	3.85 ± 0.03	18.11 ± 0.03

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado; PC: Pozol control. Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Letras mayúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con maíz azul, letras minúsculas significan diferencias estadísticas entre las formulaciones con maíz rojo. Todos los resultados se expresan en porcentaje (%).

V.6.4 Digestibilidad *in vitro* de las formulaciones

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* realizada a las formulaciones se presentan en el **Cuadro 20**. No se encontraron diferencias significativas en las formulaciones elaboradas con harinas de maíz rojo, sin embargo, en la formulación PRT se encontró el porcentaje de digestibilidad *in vitro* más alto de todas las formulaciones. Aunque no se han reportado datos de digestibilidad *in vitro* de pozol, los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Milán-Carrillo *et al.*, (2017), quienes diseñaron una bebida funcional a partir de maíz azul y frijol negro, encontrando un porcentaje de digestibilidad *in vitro* de 88.1%, así mismo, Lozano-Aguilar, (2008) reporta una digestibilidad *in vitro* de proteína de 81.9% para pinole de maíz tradicional. Los cambios en la digestibilidad de las proteínas pueden deberse principalmente al proceso de nixtamalizado al que fueron sometidas las harinas, dado que procesos termo-alcálicos pueden alterar la estructura del maíz reduciendo ligeramente la solubilidad de las albuminas, globulinas y prolaminas, debido al enlazamiento de proteínas y la ruptura de su estructura (Paredes-López., 2009).

Cuadro 20. Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de las formulaciones

Formulación	Digestibilidad <i>in vitro</i>
PAE	86.01 ± 0.15 ^B
PAT	88.14 ± 0.31 ^A
PRE	88.92 ± 0.15 ^a
PRT	89.15 ± 0.15 ^a
PC	86.77 ± 0.39

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado; PC = Pozol comercial Los resultados representan la media ± la desviación estándar. Diferentes letras entre las columnas expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de Tukey. Todos los resultados se expresan como porcentaje (%).

V.5 Evaluación sensorial

El objetivo de la evaluación fue destacar las formulaciones con mayor aceptabilidad sensorial por parte del panelista, evaluando parámetros como olor, color, sabor, textura, densidad y agrado general de las formulaciones, mediante una escala hedónica de siete puntos que fueron de me agrada demasiado a me disgusta demasiado. Además, se realizaron algunas preguntas de introducción para identificar el nivel de conocimiento de los participantes respecto a las bebidas tradicionales, a lo que el 51% respondió que conocía las bebidas ancestrales, sin embargo, el 53% de los participantes desconocía que es el pozol.

V.5.1 Olor

Todas las muestras fueron evaluadas por 60 panelistas no entrenados. En la **Figura 14** se presentan los resultados del nivel de agrado a cada formulación. Todas las bebidas presentaron mayor inclinación a “me gusta” para este atributo, sin embargo, se destaca la formulación elaborada con harina de maíz rojo nixtamalizada por el método tradicional (PRT), la cual obtuvo mayor índice de “me gusta”, además, algunos panelistas la calificaron con “me gusta demasiado”.

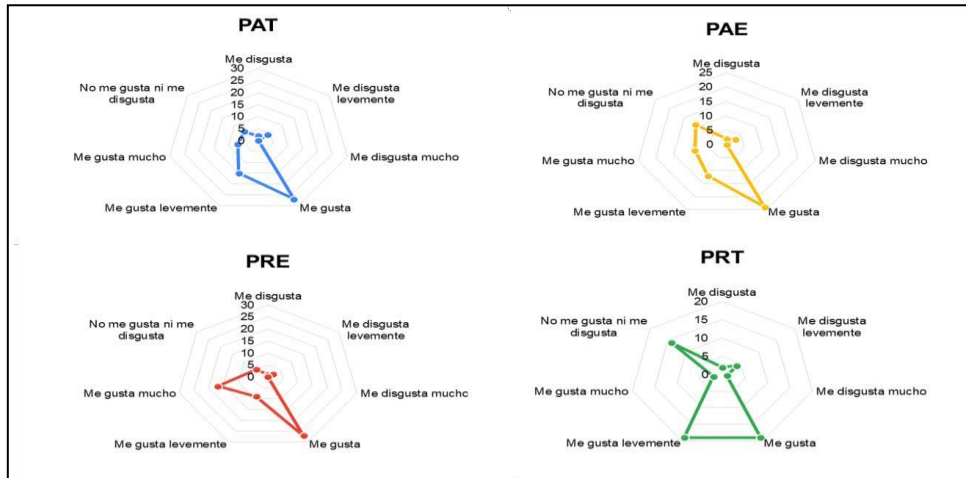


Figura 14. Grafica de araña del análisis sensorial de olor a las formulaciones
 PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido;
 PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

V.5.2 Color

Para el atributo de sabor, se muestran los resultados en la **Figura 15**. El 40% de los panelistas se inclinaron por “me gusta” para las formulaciones PAE, PRE y PRT. Destacando a la formulación PAE la cual tuvo mayor porcentaje (8%) de “me gusta mucho”.

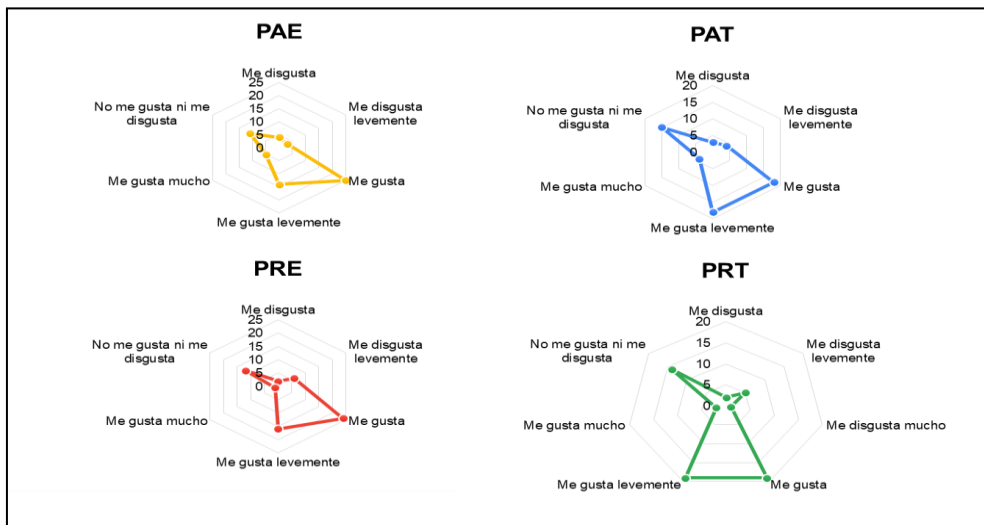


Figura 15. Grafica de araña del análisis sensorial de color a las formulaciones.
 PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido;
 PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

V.5.3 Sabor

Los resultados para el atributo de sabor se encuentran en la **Figura 16**. EL 40% de los panelistas asignó el parámetro “me gusta” a la formulación PAE, elaborada con harina de maíz azul extrudido. En general todas las formulaciones recibieron buena aceptación por parte de los panelistas, haciendo poca diferencia entre ellas.

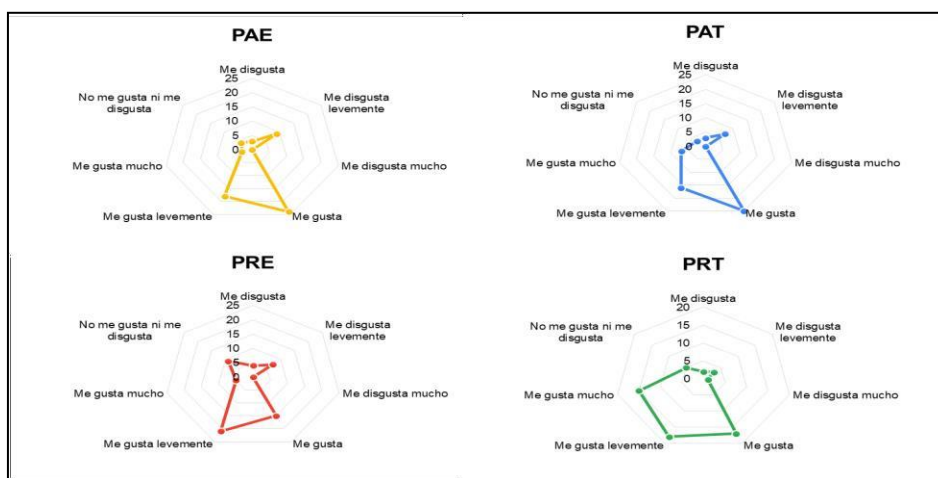


Figura 16. Grafica de araña del análisis sensorial de sabor a las formulaciones.

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

V.5.4 Densidad

La densidad es un factor muy importante en el pozol, dado que, por la naturaleza de la bebida tiende a sedimentar, cualidad que podría resultar desagradable para quienes no sean consumidores habituales de pozol. En la **Figura 17** se presentan los resultados al atributo de densidad, en el a el 32% de los panelistas seleccionaron “no me gusta ni me disgusta” para la formulación PRE, mientras que para la formulación PAT 37% de los panelistas seleccionaron el atributo “me gusta”.

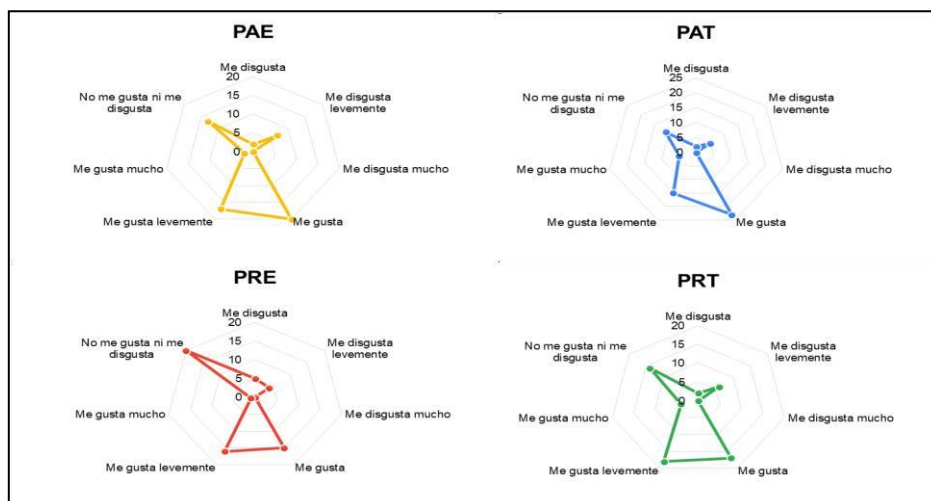


Figura 17. Grafica de araña del análisis sensorial de densidad a las formulaciones. PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

VI.5.5 Agrado general

En la **Figura 18** se observa el nivel de agrado general asignado por los panelistas, donde la tendencia en todas las formulaciones se inclina al parámetro “me gusta”, siendo mayor en la formulación PAE con 42% de preferencia por los panelistas. Este dato se corroboró cuando los panelistas realizaron la prueba de orden de preferencia, en ella asignaron del 1 al 4 el orden de mayor agrado de las formulaciones, siendo 1 la de mayor preferencia y 4 la de menor preferencia.

En la **Figura 19** observa como la formulación PAE fue la formulación con mayor aceptabilidad en el orden de agrado con 35.5% de preferencia, este dato es relevante, debido a que indica que las harinas de maíz azul extrudidas pueden ser incluidas en la elaboración de bebidas, dado que han mostrado una buena aceptabilidad sensorial. La formulación PRT se presentó en segundo lugar de agrado con 33% de preferencia. La formulación con menor nivel de agrado fue PRE con 27%.



Figura 18. Mapa de calor del análisis sensorial de agrado general a las formulaciones.

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

En general los resultados fueron considerados favorables, debido a que la respuesta de los panelistas en su mayoría fue “me gusta” para todas las formulaciones, lo que indica que las bebidas diseñadas son aceptadas sensorialmente por panelistas no entrenados, que adicionalmente mencionaron no conocer el origen de la bebida, sin embargo argumentaron que el sabor fue agradable y que de ser un producto en venta ellos lo comprarían.

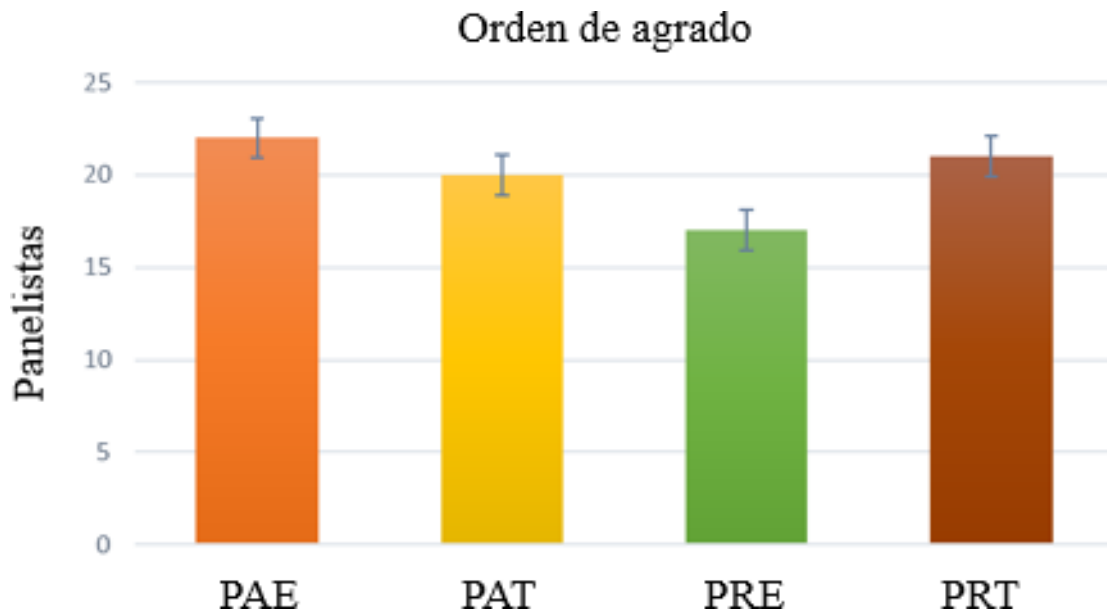


Figura 19. Grafica de barras correspondiente al orden de agrado de las formulaciones.

PAE = Pozol maíz azul extrudido; PAT = Pozol maíz azul nixtamalizado; PRE = Pozol maíz rojo extrudido; PRT = Pozol Rojo nixtamalizado, PC: Pozol control.

VII. CONCLUSIONES

Se obtuvieron cuatro harinas nixtamalizadas donde el proceso de extrusión permitió conservar mayor contenido de compuestos fenólicos, principalmente en las harinas de maíz rojo (33% de pérdida) destacando el contenido de antocianinas totales, el cual se conservó 50% más respecto a las harinas de maíz azul.

Se diseñaron cuatro formulaciones de pozol, preparadas con harinas obtenidas por los diferentes métodos de nixtamalizado, dichas formulaciones incrementaron su contenido de fibra soluble e insoluble, mientras que el contenido de proteínas se mantuvo en un rango de 7.29 a 8.38%, no así para el contenido lipídico el cual no mostró diferencias significativas en las harinas de maíz azul, lo que confirma que el proceso de nixtamalizado (tradicional y extrusión) mejora las propiedades nutricionales del maíz, lo que podría beneficiar el desarrollo de nuevos productos que tengan como materia prima maíces criollos pigmentados, incrementando así el mercado a donde pueden ser dirigidos. La elaboración de pozol con maíces pigmentados permitió otorgar valor agregado a la bebida, debido a que se incrementó el contenido fenólico y con esto sus propiedades nutraceuticas, las cuales pueden presentar potenciales beneficios a la salud del consumidor.

La aceptabilidad sensorial de la bebida se posicionó como “me gusta” para los atributos de olor, color, sabor y textura, siendo la formulación maíz azul extrudido (PAE) la que se posicionó como la de primer orden en preferencia por parte de los panelistas, lo que podría indicar que el proceso de extrusión puede ser una alternativa emergente eficaz para el proceso de nixtamalizado en la elaboración de pozol, ya que, además, nos permitió conservar mejores propiedades nutraceuticas en la formulación.

Esta innovación en el proceso de elaboración del pozol fue aceptada en consumidores no habituales de dicha bebida, haciendo énfasis en la región centro de México donde se conocen poco las bebidas ancestrales. De este modo se fomentaría el consumo de las bebidas tradicionales y con ello la implementación del maíz criollo en el desarrollo de pozol mediante la nixtamalización por extrusión.

Este trabajo permite ampliar el panorama de las bebidas tradicionales y el uso de los maíces criollos en su elaboración, la caracterización realizada permitió conocer el contenido nutricional y fitoquímico de esta bebida, datos que carecían de referencia en la literatura. Sin

embargo, hace falta realizar otras evaluaciones para conocer otras propiedades como la vida de anaquel del producto.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- AOAC. (2002). Official methods of analysis (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists
- Abreu, A. T. A. y, M. P. Milke-García, G. A. Argüello-Arévalo, Calderón-de la Barca, A. M., Carmona-Sánchez, R. I., Consuelo-Sánchez, A., Coss-Adame, E., García-Cedillo, M. F., Hernández-Rosiles, V., Icaza-Chávez, M. E., Martínez-Medina, J. N., Morán-Ramos, S., Ochoa-Ortiz, E., Reyes-Apodaca, M., Rivera-Flores, R. L., Zamarripa-Dorsey, F., Zárate-Mondragón, F., & Vázquez-Frias, R. (2021). Fibra dietaria y microbiota, revisión narrativa de un grupo de expertos de la Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México*, 86(3), 287-304. <https://doi.org/10.1016/j.rgm.2021.02.004>
- Adebo, O. A., Oyedeji, A. B., Adebisi, J. A., Chinma, C. E., Oyeyinka, S. A., Olatunde, O. O., Green, E., Njobeh, P. B., & Kondiah, K. (2021). Kinetics of Phenolic Compounds Modification during Maize Flour Fermentation. *Molecules*, 26(21), 6702. <https://doi.org/10.3390/molecules26216702>
- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Alegria-Marroquín, J., Castillo-Ruiz, O., y Saldaña-Trinidad, S. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potenciar su consumo. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 5: 272-276. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/4/54.pdf>
- Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López, T., & Hervert-Hernández, D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27(1), 73-76.
- Anayansi, E.-A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Barrón-Hoyos, J. M., Figueroa-Cárdenas, J. de D., & López-Cervantes, J. (2013). The nixtamalization process and its effect on anthocyanin content of pigmented maize, a review. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 429-437.
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). 2—Maizes. En E. K. Arendt & E. Zannini (Eds.), *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (pp. 67-115e). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098924.67>
- Avendaño-Arrazate, C. H., López-Gómez, P., Iracheta-Donjuan, L., Vázquez-Ovando, A., Bouchan, R., Cortés-Cruz, M., & Borrayo, E. (2018). DIVERSIDAD GENÉTICA Y SELECCIÓN DE UNA COLECCIÓN NÚCLEO PARA LA CONSERVACIÓN A LARGO PLAZO DE CACAO (*Theobroma cacao* L). *Interciencia*, 43(11), 770-777.
- Ayala-Padilla, E. (2022). "Caracterización de bebidas tradicionales mexicanas para el desarrollo de saborizantes que puedan ser incorporados a fórmulas lácteas", [Tesis de maestría], Universidad Autónoma de Querétaro. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro. [RI006537.pdf \(uaq.mx\)](https://repositorio.uaq.mx/RI006537.pdf)
- Báez, O. L., & Gómez, M. N. B. (2016). Materiales de cacao de interés farmacológico (*Theobroma cacao* L.). *Espacio I+D, Innovación más desarrollo*, 5(11), Article 11. <https://doi.org/10.31644/IMASD.11.2016.a05>
- Baginsky, C., Figuero, V., Rodríguez, L., Pinheiro, A. C., & Silva, P. (2016). *Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican*. <http://www.alanrevista.org/ediciones/2016/1/art-2/>

- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., Utrilla-Coello, R. G., Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspecto nutraceuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063.
- Björck, I., & Asp, N. G. (1983). The effects of extrusion cooking on nutritional value a literature review. *Journal of Food Engineering*, 2(4), 281-308.
- Castillo, V. K. C., Ochoa, M. L. A., Figueroa, C. J. D., Delgado, L. E., Gallegos, I. J. A., & Morales, C. J. (2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(4), 425-432.
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Alvarez-Párril a, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2018). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutricion Hospitalaria*. <https://doi.org/10.20960/nh.2171>
- Cervantes-Ramírez, J. E., Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodríguez-García, M. E., Reyes-Vega, M. de la L., Ramírez-Jiménez, A. K., Contreras-Jiménez, B. L., & Gaytán-Martínez, M. (2020). Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116555. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116555>
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2021). Chemical and nutritional characterization of high quality protein maize (*Zea mays* L.) varieties developed in Yucatan, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21.
- Chire-Fajardo, G. C., Ureña-Peralta, M. O., Hartel, R. W., Chire-Fajardo, G. C., Ureña-Peralta, M. O., & Hartel, R. W. (2020). Composicion de acidos grasos y contenido de solidos grasos de cacao peruano para la produccion de chocolate óptimo. *Revista chilena de nutrición*, 47(1), 50-56. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000100050>
- Condori, M. B., Aro, J. M. A., Cáceres, A. E. M., & Mendoza, J. R. (2020). Determinacion de antocianinas y capacidad antioxidante en extractos de (*Muehlenbeckia volcanica*). *Revista de investigaciones altoandinas*, 22(2), 161-169. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.604>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, 3, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>
- Colombo, F., Di Lorenzo, C., Petroni, K., Silano, M., Pilu, R., Falletta, E., Biella, S., & Restani, P. (2021). Pigmented Corn Varieties as Functional Ingredients for Gluten-Free Products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(8), 1770. <https://doi.org/10.3390/foods10081770>
- CONABIO. (2020). *Razas de maíz de México*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Contreras-Jiménez, B., Morales-Sánchez, E., Reyes-Vega, M. L., & Gaytán-Martínez, M. (2014). Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA - Journal of Food*, 12(3), 263-270. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.840804>

- Cui, S. W., & Roberts, K. T. (2009). CHAPTER 13 - Dietary Fiber: Fulfilling the Promise of Added-Value Formulations. En S. Kasapis, I. T. Norton, & J. B. Ubbink (Eds.), *Modern Biopolymer Science* (pp. 399-448). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374195-0.00013-6>
- Cz, J. (2023). Pozol: A Must-Try Beverage from Southern Mexico » Savoteur. *Savoteur*. <https://www.vamonostomexico.com/mexican-gastronomy/pozol-drink/>
- De Oliveira, A. P., Milani, R., Efraim, P., Morgano, M., & Tfouni, S. A. V. (2020). Cd and Pb in cocoa beans: Occurrence and effects of chocolate processing. *Food Control*, *119*, 107455. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107455>
- Dias, R., Pereira, C. B., Pérez-Gregorio, R., Mateus, N., & Freitas, V. (2021). Recent advances on dietary polyphenol's potential roles in Celiac Disease. *Trends in Food Science & Technology*, *107*, 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.033>
- Domínguez, G. (2013). *Bioconversión de la cascarilla de cacao por Aspergillus niger para la obtención de quitosano* [Tesis]. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/3334>
- Duarte, P. R., & Romero Baranzini, A. L. (2008). Fibra Base De Frutas, Vegetales Y Cereales: Función De Salud. *Revista Mexicana de agronegocios*, *23*(1345-2016-104211), 613-622.
- Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2001). Separation and characterization of anthocyanins by HPLC. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *00*(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0103s00>
- Eswaran S, Muir J, Chey WD. Fiber and functional gastrointestinal disorders. *Am J Gastroenterol* 2013; *108*:718-27.
- Enríquez-Castro, C. M., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B., Quintero-Ramos, A., Ledesma-Osuna, A. I., López-Cervantes, J., & Gerardo-Rodríguez, J. E. (2020). Physicochemical, Rheological, and Morphological Characteristics of Products from Traditional and Extrusion Nixtamalization Processes and Their Relation to Starch. *International Journal of Food Science*, e5927670. <https://doi.org/10.1155/2020/5927670>
- Escalante-Aburto, A., Mariscal-Moreno, R. M., Santiago-Ramos, D., & Ponce-García, N. (2020). An Update of Different Nixtamalization Technologies, and Its Effects on Chemical Composition and Nutritional Value of Corn Tortillas. *Food Reviews International*, *36*(5), 456-498. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649693>
- Escudero-Álvarez, E., & González-Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, *21*, 61-72.
- Espinosa-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Inurreta-Aguirre, H. D., & Góngora-González, S. F. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *6*(5), 1051-1063.
- Evert Thomas, Maarten van Zonneveld, Judy Loo, Toby Hodgkin, Gea Galluzzi, & Jacob van Etten. (2012). *Present Spatial Diversity Patterns of Theobroma cacao L. in the Neotropics Reflect Genetic Differentiation in Pleistocene Refugia Followed by Human-Influenced Dispersal*. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0047676>
- FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana* (Vol. 25). <https://books.google.com.mx/books?id=bd0mMwECAAJ>
- Gabay, O., Sanchez, C., Salvat, C., Chevy, F., Breton, M., Nourissat, G., Wolf, C., Jacques, C., & Berenbaum, F. (2010). Stigmasterol: a phytosterol with potential anti-

- osteoarthritic properties. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(1), 106-116.
<https://doi.org/10.1016/j.joca.2009.08.019>
- F. de la Rosa Reyna, Xóchitl, García León, Israel, Hernández Mendoza, José, Morales Baquera, Jaime, & Quiroz Velásquez, Jesús Di Carlo. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 1-9. Epub 00 de diciembre de 2022. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>
- Fernandes, P., & Cabral, J. M. S. (2007). Phytosterols: Applications and recovery methods. *Bioresource Technology*, 98(12), 2335-2350.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.006>
- Flores-Naveda, A., Díaz-Vázquez, F., Ruiz-Torres, N. A., Vázquez-Badillo, M. E., Niño-Medina, G., Camposeco., Montejo, N., Rodríguez-Salinas, P. y García-López, J. I. (2021). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. *ITEA-Inf. Tec. Econ.* 20:1–16.
- Galindo-Olguín, C. N., Cruz-Cansino, N. del S., Ramírez-Moreno, E., Ariza-Ortega, J. A., Camacho-Bernal, G. I., & Cervantes-Elizarrarás, A. (2021). El maíz y la nixtamalización: Modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(19), 205-213.
<https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7236>
- Gaytán-Martínez, M., Martínez-Bustos, F., & morales sanchez, E. (2000). Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50, 366-373.
- Grădinaru, M. (2020). *Argumentarea factorilor ce determină calitatea și siguranța produselor de panificație cu adaos de porumb* [Thesis, Universitatea Tehnică a Moldovei]. <http://repository.utm.md/handle/5014/12882>
- Grassi, D., Ferri, C., Blumber, J. B., Properzi, G., Casale, R., Lippi, C., Necozione, S., & Desideri, G. (2008). *Blood pressure is reduced and insulin sensitivity increased in glucose-intolerant, hypertensive subjects after 15 days of consuming high-polyphenol dark chocolate*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18716168/>
- Guardia, M. M., Palacios, I. P., & Arroyo, H. H. M. (2016). Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. *Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó*.
- Guo, W., & Beta, T. (2013). Phenolic acid composition and antioxidant potential of insoluble and soluble dietary fibre extracts derived from select whole-grain cereals. *Food Research International*, 51(2), 518-525.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.008>
- Hernández, A. G. (2010). *Tratado de nutrición*. Editorial Médica Panamericana.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=561427>
- Hernández, I. A., & Acevedo, F. (2020). *Qué nos aportan los maíces*. Biodiversidad Mexicana, CONABIO.
https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_maices
- Hernández-García, B. (2020). *La fibra y su papel en la prevención de enfermedades*. 8(2), 3.
- Hernández-Quintero, J., Rosales, A., Molina-Macedo, A., Miranda-Piliado, A., Wilcox, M., Hernández-Casillas, J., & Palacios Rojas, N. (2017). Cuantificación de antocianinas mediante espectroscopía de infrarrojo cercano y cromatografía líquida en maíces

- pigmentados. *Revista fitotecnia mexicana publ. por la Sociedad Mexicana de Fitogenética*, 40, 219-225. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.2.219-225>
- Hosoda, K., Miyaji, M., Matsuyama, H., Haga, S., Ishizaki, H., & Nonaka, K. (2012). Effect of supplementation of purple pigment from anthocyanin-rich corn (*Zea mays* L.) on blood antioxidant activity and oxidation resistance in sheep. *Livestock Science*, 145(1), 266-270. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.001>
- Illanes, A., Álvarez, L., & Álvaro, G. (2008). Esterificación quimioselectiva de fitosteroles de madera mediante lipasas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(1), 17-35.
- INEGI. (2022). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2019*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>
- INFOSIAP. (2020). *Avance de Siembras y Cosechas Resumen por estado*. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- García. (2020, noviembre 17). *El Poder del Consumidor*. El Poder del Consumidor. <https://elpoderdelconsumidor.org/2020/11/el-poder-de-el-pozol/>
- García-Lara, S., Chuck-Hernández, C., & Serna-Saldívar, S. O. (2019). Development and structure of the corn kernel. En *Elsevier eBooks* (pp. 147-163). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811971-6.00006-1>
- Kim, Y., & Je, Y. (2016). Dietary fibre intake and mortality from cardiovascular disease and all cancers: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Archives of cardiovascular diseases*, 109(1), 39-54.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Time-Intensity Methods. In sensory evaluation of food: principles and practices (pp. 179-201). New York, Ny: Springer, New York.
- Lawton, J. W., & Wilson, C. M. (2003). Proteins of the kernel. *Corn: chemistry and technology*, (Ed. 2), 313-354.
- Llerena, W. F. T., Guevara, M. D. G., & Mora, S. M. O. (2019). *Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) como infusión: Caso Tungurahua-Ecuador*. 20(50). [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CC/20-50%20\(2019\)/151561447004/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CC/20-50%20(2019)/151561447004/)
- Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, J. de D., Castaño-Tostado, E., Ramos-Gómez, M., Reynoso, R., & Mendoza, S. (2019). Chemical characterization, antioxidant and antimutagenic evaluations of pigmented corn. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3177-3184. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03671-3>
- Lujano, E., Manganiello, L., Contento, A., & Ríos, Á. (2019). Identificación y cuantificación de Catequinas y Procianidinas en cacao procedente de Ocumare de la Costa, Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(2), 192-201.
- Lozano-Aguilar, O., Solórzano-Vega, E., Bernal-Lugo, I., Rebolledo-Robles, H., & Jacinto-Hernández, C. (2008). "Pinole" de alto valor nutricional obtenido a partir de cereales y leguminosas. *Ra Ximhai*, 4(2), 283-294.
- Mammasse, N., & Schlich, P. (2014). Adequate number of consumers in a liking test. Insights from resampling in seven studies. *Food Quality and Preference*, 31, 124-128. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.01.009>
- Meléndez, C., López, E., Jenatton, M., & Morales, H. (2020, noviembre 26). *Tomar vida: Una bebida prehispánica de maíz como camino hacia el conocimiento, conciencia y dignidad*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24834.71368>

- Meza-Daniel (2022), consultado en: [Festival de platillos extravagantes hechos con Nucú en Tuxtla - El Heraldo de Chiapas | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Chiapas y el Mundo](#) el 22 de agosto de 2023.
- Michel, M. R., Aguilar-Zárate, P., Espinoza-Velázquez, J., Aguilar, C. N., & Rodríguez-Herrera, R. (2020). Efecto del medio ambiente sobre la composición química y propiedades físicas del grano de maíz poliembriónico. *Tip revista especializada en ciencias quimicobiológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e2020.0.221>
- Micheli, F., Guiltinan, M., Gramacho, K. P., Wilkinson, M. J., Figueira, A. V. de O., Cascardo, J. C. de M., Maximova, S., & Lanaud, C. (2010). Chapter 3—Functional Genomics of Cacao. En J.-C. Kader & M. Delseny (Eds.), *Advances in Botanical Research* (Vol. 55, pp. 119-177). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380868-4.00003-X>
- Moran, H., Romero, G., Jiménez-Pérez, C., & Rico, D. (2013). *Potencial nutracéutico de los Maíces pigmentados*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1565.5203>
- Mora-Rochín, S., Gaxiola-Cuevas, N., Gutiérrez-Urbe, J. A., Milán-Carrillo, J., Milán-Noris, E. M., Reyes-Moreno, C., Serna-Saldivar, S. O., & Cuevas-Rodríguez, E. O. (2016). Effect of traditional nixtamalization on anthocyanin content and profile in Mexican blue maize (*Zea mays* L.) landraces. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 563-569. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.009>
- Moreno, Y. S., Martínez-Bustos, F., Hernández, M. S., Paczka, R. O., & Vázquez, J. L. A. (2003). Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 37(6), 617-628.
- Moskovitz, D. N., & Kim, Y.-I. (2004). Dietary Fiber. En L. R. Johnson (Ed.), *Encyclopedia of Gastroenterology* (pp. 597-612). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-386860-2/00184-2>
- Mudgil, D., & Barak, S. (2019). Classification, Technological Properties, and Sustainable Sources. En C. M. Galanakis (Ed.), *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications* (pp. 27-58). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00002-2>
- Musdja, M. Y., Rahman, H. A., & Hasan, D. (2018). ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CATECHINS ISOLATE OF UNCARIA GAMBIE ROXB IN MALE RATS. *Life : international journal of health and life sciences*, 4(2), 34-46. <https://doi.org/10.20319/ijhls.2018.42.3446>
- Nehlig, A. (2013). The neuroprotective effects of cocoa flavanol and its influence on cognitive performance. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), 716-727. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04378.x>
- Oracz, J., & Nebesny, E. (2014). Influence of roasting conditions on the biogenic amine content in cocoa beans of different *Theobroma cacao* cultivars. *Food Research International*, 55, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.032>
- Orchardson, E. (2021, marzo 23). ¿Qué es la nixtamalización? *CIMMYT*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-nixtamalizacion/>
- Paredes-López O, Guevara-Lara F, Bello-Pérez L. (2009), La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92, 60-70.
- Palacios Rojas, N. (2018). *Calidad nutricional e industrial de maíz: Laboratorio de calidad nutricional de maíz “Evangalina Villegas”:* protocolos. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/19667>

- Peralta-Vázquez, C. (2019). En riesgo, cultivo de maíz en México. *Universo - Sistema de noticias de la UV*. <https://www.uv.mx/prensa/reportaje/en-riesgo-cultivo-de-maiz-en-mexico/>
- Preciado-Ortíz, R. E., Vázquez-Carrillo, M. G., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Guzmán-Maldonado, S. H., Santiago-Ramos, D., & Topete-Betancourt, A. (2018). Fatty acids and starch properties of high-oil maize hybrids during nixtamalization and tortilla-making process. *Journal of Cereal Science*, 83, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.08.015>
- Quiñones, M., Miguel, M., & Alexandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89.
- Ramírez-Araujo, H., Gaytán-Martínez, M., & Reyes-Vega, M. L. (2019). Alternative technologies to the traditional nixtamalization process: Review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.007>
- Ramírez-Guillermo, M. Á., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., & Gutiérrez, O. A. (2018). VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS y SEMILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE PLANTACIONES EN TABASCO, MÉXICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 117-125. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.117-125>
- Ramos-Guilén R. J. (2011), “PROYECTO PARA LA ELABORACION DE UNA BEBIDA TRADICIONAL CHIAPANECA A BASE DE MAIZ (*Zea mays*).” [Tesis de licenciatura] Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. [Residencia profesional \(tecnm.mx\)](http://Residencia profesional (tecnm.mx))
- Rocha-Villarreal, V., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., Serna-Saldivar, S. O., & García-Lara, S. (2018). Hydrothermal treatment of maize: Changes in physical, chemical, and functional properties. *Food Chemistry*, 263, 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.003>
- Roman, V. (2011, noviembre 1). *El Pozol: Bebida Ancestral*. Los Sabores de México y el mundo. <https://lossaboresdemexico.com/el-pozol-bebida-ancestral/>
- Romero, C. I. F., & Amaro, R. M. G. (2022). *Expectativas del maíz nativo en tiempos de COVID*. https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10_34-10/17-ciencia-hoy/1582-expectativas-del-maiz-nativo-en-tiempos-de-covid
- Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., & Herrera-Corredor, J. A. (2016). Nixtamalization of five corn varieties with different kernel hardness: Impact in fuel consumption and physicochemical properties. *Agrociencia*, 50(6), 727-745.
- SADER, S. T. (2018). *Pozol con cacao: Bebida ancestral*. gob.mx. <http://www.gob.mx/agricultura/tabasco/articulos/pozol-con-cacao-bebida-ancestral?idiom=es>
- Salinas Moreno, Y., Cruz Chávez, F. J., Díaz Ortiz, S. A., & Castillo González, F. (2012). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 33-41.
- Secretaría de Salud. (2017). *¿Cuánta fibra dietética se debe consumir?* gob.mx. <http://www.gob.mx/salud/articulos/cuanta-fibra-dietetica-se-debe-consumir>
- Serna-Saldivar, S. O., & Chuck-Hernandez, C. (2019). Chapter 17—Food Uses of Lime-Cooked Corn With Emphasis in Tortillas and Snacks. En S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn* (Third Edition, pp. 469-500). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00017-6>

- Shukitt-Hale, B., Bielinski, D. F., Lau, F. C., Willis, L. M., Carey, A. N., & Joseph, J. A. (2015). The beneficial effects of berries on cognition, motor behaviour and neuronal function in ageing. *The British Journal of Nutrition*, *114*(10), 1542-1549. <https://doi.org/10.1017/S0007114515003451>
- SIAP. (2020). *Avance de siembras y cosechas Resumen nacional por estado OTOÑO-INVIERNO 2020 RIEGO+TEMPORAL*. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Siedentopp, U. (2009). El cacao, planta medicinal y de deleite. *Revista Internacional de Acupuntura*, *3*(4), 197-200. [https://doi.org/10.1016/S1887-8369\(09\)73160-6](https://doi.org/10.1016/S1887-8369(09)73160-6)
- Sierra-Macías, M., Andrés-Meza, P., Palafox-Caballero, A., & Meneses-Márquez, I. (2016). Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, *3*(9), 12-21.
- Singh, P., Arora, A., Strand, T. A., Leffler, D. A., Catassi, C., Green, P. H., Kelly, C. P., Ahuja, V., & Makharia, G. K. (2018). Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology: The Official Clinical Practice Journal of the American Gastroenterological Association*, *16*(6), 823-836.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.06.037>
- Statista. (2020). *Consumo anual per cápita de granos y cereales en México, por tipo*. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/592154/consumo-aparente-de-los-principales-cultivos-basicos-en-mexico/>
- Tan, J., McKenzie, C., Potamitis, M., Thorburn, A. N., Mackay, C. R., & Macia, L. (2014). Chapter Three—The Role of Short-Chain Fatty Acids in Health and Disease. En F. W. Alt (Ed.), *Advances in Immunology* (Vol. 121, pp. 91-119). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800100-4.00003-9>
- Trehan, S., Singh, N., & Kaur, A. (2018). Characteristics of white, yellow, purple corn accessions: Phenolic profile, textural, rheological properties and muffin making potential. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(6), 2334-2343. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3171-5>
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Fondo Editorial Biogénesis*, 185-209.
- Vazquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L. y Heredia, J. B. (2017). Antioxidant capacity of lignin and phenolic compounds from corn stover. Springer. 1-8.
- Villarreal, D. Z., & García-Marín, P. C. (2016). El uso de las cenizas como posible precursor de la nixtamalización en el oeste de Mesoamérica. *Revista de Geografía Agrícola*, *57*, 7-18.
- Villarreal, D. A. (2019). El papel de la nutrigenómica y los nutraceuticos en la prevención de las enfermedades cardiovasculares; revisión de la literatura. *Revista cubana de cardiología y cirugía cardiovascular*, *25*(3), 312-339.
- Watson, S. A. (2003). Descripción, desarrollo, estructura y composición del grano de maíz. *Maíz: química y tecnología*, (Ed. 2), 69-106.
- Zhirkova, E., Skorokhodova, M., Martirosyan, V., Sotchenko, E., Malkina, V., & Shatalova, T. (2016). Chemical composition and antioxidant activity of corn hybrids grain of different pigmentation. *Food and Raw Materials*, *4*, 85-91. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-85-91>
- Zhu, Y., Xia, M., Yang, Y., Liu, F., Li, Z., Hao, Y., Mi, M., Jin, T., & Ling, W. (2011). Purified anthocyanin supplementation improves endothelial function via NO-cGMP

activation in hypercholesterolemic individuals. *Clinical Chemistry*, 57(11), 1524-1533. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2011.167361>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Cartel de reclutamiento



FACULTAD DE QUÍMICA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

ES LA HORA DEL POZOL

El laboratorio de nutraceuticos busca voluntarios para participar en un analisis sensorial en apoyo al proyecto:

Desarrollo y caracterización química y nutraceutica de un pozol elaborado con maíz criollo pigmentado y adicionado con cacao.

Requisitos:

- Ser mayor de edad (18 a 50 años)
- Genero indistinto
- No presentar enfermedades que afecten la percepción al sabor
- No presentar alergias al consumo de maíz pigmentado o cacao
- No embarazadas ni lactantes

MÁS INFORMACIÓN

SU IDENTIDAD PERMANECERÁ ANÓNIMA Y LOS DATOS SERÁN EMPLEADOS ÚNICAMENTE CON FINES DE INVESTIGACIÓN

Anexo 2. Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Título del proyecto: Desarrollo y caracterización química y nutracéutica de un pozol elaborado con diferentes tipos de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) y adicionado con cacao (*Theobroma cacao*).”

Investigador principal: Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Investigador asistente: Ing. Atalia Esperanza Reyes Escobar

Introducción

Usted ha sido invitado a participar de manera voluntaria a una evaluación sensorial como panelista no entrenado, para probar una nueva bebida que consiste en un Pozol elaborado con maíz criollo pigmentado (azul y rojo) adicionado con cacao. La muestra que usted probará contiene los siguientes ingredientes: maíz criollo pigmentado (azul y rojo) nixtamalizado, cacao tostado, piloncillo y canela.

Si usted decide participar en el estudio, es importante que considere la siguiente información. Sientase libre de preguntar cualquier asunto que no le quede claro.

Objetivo del estudio

El proposito del presente estudio es desarrollar un pozol a base de maíz (*Zea mays* L.) criollo pigmentado (azul y rojo) y cacao (*Theobroma cacao*) tostado para obtener una bebida de calidad nutricional como alternativa de bebida refrescante que además fomente el uso de maíces criollos pigmentados.

Selección de participantes

A este estudio serán invitadas a participar personas sanas no entrenadas, consumidores habituales, sin exclusión de género en un rango de 18-50 años y con aptitud para comunicarse y describir sensaciones percibidas.

Criterios de exclusión

Personas que presenten reacciones alérgicas a alguno de los ingredientes antes descritos (compuestos fenólicos o fibra) o que presenten algún padecimiento que les impida su apreciación sensorial. Mujeres embarazadas o en lactancia, personas con discapacidad mental o que se encuentren bajo algún tratamiento médico.

Criterios de inclusión

Personas sanas entre 18-50 años, sin exclusión de género. Sin ninguna intolerancia o alergia a alguno de los ingredientes de la formulación en ensayo (ver datos de composición).

Procedimiento

Se deberá de leer el consentimiento informado al panelista al cual se le entregará la muestra del alimento a probar.

En caso de que acepte se procederá a realizar los siguientes pasos:

Llenar los datos correspondientes en el documento entregado tales como; fecha, nombre del participante, No. De muestra y firma del consentimiento informado. Seguido del llenado de estos datos personales, se tendrá que llenar los Formatos 1 y 2 en donde se encontrará una prueba de agrado, y una de escala hedónica, en esta seleccionará las escalas de acuerdo con su preferencia por la formulación del pozol.

Duración de estudio

La prueba sensorial tiene una duración de entre 15 a 30 minutos, que transcurren desde que se da a conocer el consentimiento informado hasta que el panelista termina de llenar los formatos de agrado y/o preferencia.

Beneficios

No hay un beneficio directo ni económico por su participación en el estudio, sin embargo, si usted acepta participar, está colaborando con la Universidad Autónoma de Querétaro para encontrar una bebida funcional y poder ser llevada como un producto alimenticio al mercado.

Confidencialidad

Toda la información que usted nos proporcione para el estudio será de carácter estrictamente confidencial de acuerdo con los lineamientos estipulados por el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud (Artículos 13 y 16), Ley de Información Estadística y Geográfica (Artículos 38 y 42) y los del comité de bioética de la UAQ.

Toda la información que usted nos proporcione para el estudio será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto y no estará disponible para ningún otro propósito. Usted quedará identificado con un número y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos.

Participación voluntaria

Su participación en este estudio es absolutamente voluntaria. Usted está en la libertad de negarse a participar o de retirar su participación del mismo en cualquier momento.

Riesgos potenciales

La participación en este estudio no implica riesgos en su salud, ya que será un producto inocuo al igual que los insumos utilizados durante el *análisis* sensorial. Sin embargo, se recomienda que no participen personas que tengan intolerancia o alergia a alguno de los componentes de la formulación. Es importante resaltar que la presente propuesta es revisada y aprobada por el comité de bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

En caso de requerir atención médica como consecuencia de la participación en el estudio, esta se brindará en la unidad médica FarmaUAQ.

Contacto

Si usted tiene alguna pregunta, comentario o preocupación, con respecto al proyecto, por favor comuníquese con Ing. Atalia Esperanza Reyes Escobar al siguiente número de teléfono 965 119 14 55 o al correo ataliareyesco@gmail.com.

Agradecemos de antemano su autorización y consentimiento. Se le proporcionará una copia del presente documento para posibles futuras aclaraciones.

Participante

Al firmar este documento acepto y manifiesto bajo la protesta de decir la verdad y estar en condiciones de participar en la totalidad de las etapas del estudio.

Firma: _____ Fecha: _____.

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Investigador Responsable
loarca@uaq.mx

Ing. Atalia Esperanza Reyes Escobar
Estudiante Responsable
ataliareyesco@gmail.com

Testigo 1

Testigo 2

Anexo 3. Revocación del consentimiento informado

Santiago de Querétaro; Querétaro a _____ de _____ del _____.

Mediante la presente, el(la) que suscribe C. _____
_____ declara la revocación del consentimiento informado de estudio “Evaluación sensorial de los pozoles elaborados con harinas nixtamalizadas de maíz (*Zea mays* L.) adicionado con cacao (*Theobroma cacao* L).”, lo anterior por así convenir a mis intereses, firmado el día _____ en el que consentí mi participación.

Firma del participante: _____.

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Investigador Responsable
loarca@uaq.mx

Ing. Atalia Esperanza Reyes Escobar
Estudiante Responsable
ataliareyesco@gmail.com

Testigo 1

Testigo 2

Anexo 4. Boleta de análisis sensorial.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Formato 1

Prueba sensorial de escala hedónica de 5 puntos

Producto: Pozol elaborado con maiz criollo pigmentado (azul y rojo) adicionado con cacao

Edad: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Frente a usted se encuentran cuatro muestras de pozol, por favor, coloque el código de la muestra sobre la línea y pruebe cada una de ellas de izquierda a derecha e indique su nivel de agrado, marcando con una X la opción que más se acerque a su preferencia. Solo debe marcar una opción.

Nota: No olvide enjugar su boca entre cada muestra.

No. De muestra: _____

Características	Color	Olor	Sabor	Apariencia	Textura
Me gusta extremadamente					
Me gusta mucho					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta mucho					
Me disgusta extremadamente					

No. De muestra: _____

Características	Color	Olor	Sabor	Apariencia	Textura
Me gusta extremadamente					
Me gusta mucho					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta mucho					
Me disgusta extremadamente					

No. De muestra: _____

Características	Color	Olor	Sabor	Apariencia	Textura
Me gusta extremadamente					
Me gusta mucho					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta mucho					
Me disgusta extremadamente					

No. De muestra: _____

Características	Color	Olor	Sabor	Apariencia	Textura
Me gusta extremadamente					
Me gusta mucho					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta mucho					
Me disgusta extremadamente					



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Formato 2

Análisis sensorial

Fecha: _____

Edad: _____

Sexo: _____

Instrucciones: Frente a usted se presentan las muestras de las formulaciones de pozol. Por favor pruebe cada una de ellas e indique el orden de preferencia de acuerdo a su nivel de agrado colocando el código de la muestra.

Código de la muestra	Orden de Preferencia

Comentarios:
