

A handwritten signature in black ink, appearing to read "García".

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Caracterización física, química, nutracéutica y propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro)”.

Protocolo de Tesis

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

Maestro en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Presenta:

L.N. Patricia Martínez Reyna

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2020-2022.
Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Química



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de
Información



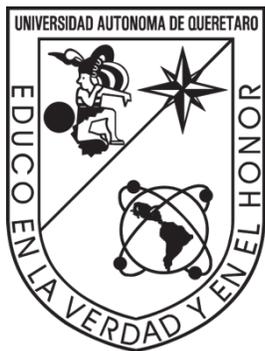
Caracterización física, química, nutracéutica y
propiedades tecnofuncionales de tres variedades de
maíz (*Zea mays*) criollo pigmentado (blanco, amarillo y
negro).

por

Patricia Martínez Reyna

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-300240-0123-123



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

“Caracterización física, química, nutracéutica y propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro)”.

Tesis

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

Presenta

LN. Patricia Martínez Reyna

Dirigido por

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Presidente

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz
Secretario

Dra. Montserrat Hernández Iturriaga
Vocal

Dr. Erick Morales Polanco
Suplente

M. en C. Vanessa Sánchez Quezada
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero 2023.
México.

Agradecimientos

Si tuviera que hacer una lista de a todos los que les agradezco formar parte en este proceso tan bonito, nunca acabaría, pero quiero mencionar a algunos seres muy especiales para mí. Quiero empezar por mi puerto seguro, a mis padres; que han sido mi fuerza en absolutamente todo, por su profundo amor, apoyo y comprensión. A mi muy amado hermano por siempre tener palabras de aliento y hacerme reír todo el tiempo. A mi novio Jonathan por ser luz cuando más lo necesitaba y por siempre tener para mí una sonrisa y mucho cariño; a su familia que me ha brindado cariño y me han abierto las puertas de su casa y corazones. A mi muy amada tribu Dora, Josue, Ely, Isac, Fersita, Fer Rubio, Nemer, Baruc y Adolfo; por hacer de esta experiencia la más bonita, llena de risas, platicas y anécdotas para recordar por siempre; definitivamente sin ustedes no hubiera sido lo mismo. A la Mtra. Vanessa por no solo enseñarme la mayoría de lo que sé en el ámbito científico, si no por mostrarme lo bello que tiene la vida y todo lo que viene por delante. A mi pequeña Athena por ser la fiel amiga y compañera de desvelos. A mi familia en general por permanecer y amarme. A la Dra Sandra Mendoza por transmitirme su conocimiento con cariño y empatía. A la Dra Flavia por confiar en mis capacidades, por ser guía y una excelente maestra. A mi niña interna por sanar y seguir. A mi yo adulto que se esfuerza día a día por ser mejor ser humano. A mis ángeles por ser guardianes y guías de mis temores y sueños. En general, le agradezco a la vida por traerme hasta este momento siempre con el corazón en la frente.

Dedicatoria

A mis padres por ser luz en mi vida
y mi puerto seguro siempre.

Índice General

Índice de Figuras	8
Índice de Tablas	8
Resumen	9
Abstract	10
I. Introducción	12
II. Antecedentes	14
II.1 Historia y producción de maíz	14
II.2 Maíz	14
II.2.1. Maíz y nutrición en México	14
II.2.2. Taxonomía	16
II.2.4. Maíces pigmentados	18
II.2.5. Generalidades de maíces pigmentados	18
II.3 Composición química del maíz	18
II.3.1 Almidón	19
II.3.2 Proteínas	20
II.3.3 Lípidos	21
II.3.4 Fibra dietaria	22
II.3.5 Vitaminas y minerales	23
III.4 Compuestos bioactivos	24
II.4.1 Ácidos fenólicos	25
II.4.1.1. Flavonoides	26
II.4.1.2. Antocianinas	27
II.4.1.3. Carotenoides	29
II. 4.1.4. Fitoesteroles	32
II.5. Pinole Tradicional Mexicano	32
IV. Objetivo general	36
IV.1 Objetivos específicos	36
V. Materiales y Métodos	37
V.1 Material biológico	37
V.1.1 Reactivos	37
V.2. Caracterización física de los granos	37
V.2.1. Tamaño del grano	37
V.2.2. Peso de cien granos	38
V.2.3. Pruebas de flotación (densidad)	38

V.2.4. Tamaño de partícula	38
V.2.5. Disección del grano	38
V.2.6. Color mediante el método espacio de color Cie-Lab.....	39
V.3. Caracterización química de los granos	39
V.3.1. Humedad (Método 925.09).....	40
V.3.2. Determinación de cenizas (Método 923.03).....	40
V.3.3. Lípidos (Método 920.39).....	40
V.3.4. Proteínas (Método 954.01).....	41
V.3.5. Carbohidratos	42
V.4. Caracterización nutracéutica.....	42
V.4.1. Fibra total dietaria.....	42
V.4.2. Fibra insoluble	43
V.4.3. Fibra soluble	44
V.4.4. Almidón total.....	44
V.4.5. Almidón disponible	45
V.4.6. Almidón resistente	46
V.4.7. Cuantificación de compuesto fenólicos	47
V.4.8. Cuantificación de flavonoides.....	47
V.4.9. Extracción de antocianinas totales.....	48
V.4.10. Cuantificación de antocianinas totales	48
V.4.11. Extracción e identificación de carotenoides	49
V.4.12. Capacidad antioxidante por el método ABTS	50
V.4.13. Capacidad antioxidante por el método DPPH*	50
V.4.14. Determinación de compuestos fenólicos por HPLC	51
V.5. Propiedades tecnofuncionales de la harina de maíz.....	51
V.5.1. Determinación de color mediante Cie-Lab en harinas de las tres variedades	51
V.5.2. Capacidad de absorción de agua (CAAS)	52
V.5.3. Índice de absorción de agua (IAA).....	52
V.5.4. Índice de solubilidad en agua (ISA).....	53
V.6. Compuestos Antinutricios.....	53
V.6.1. Ácido Fítico.....	53
VIII. Análisis Estadístico	55
IX. Resultados y Discusión.....	56
IX.1. Caracterización física	56
IX.1.1. Peso, largo, ancho y peso de mil granos (PMG).....	56
IX.1.2. Color en granos y harinas de maíz	57
IX.2. Dureza de grano	60
IX.2.1. Índice de flotación, disección de grano y tamaño de partícula.....	60
IX.3. Caracterización química	64
IX.4. Contenido de compuestos fenólicos libres y capacidad antioxidante en tres variedades de maíz criollo pigmentado	66
IX.4.1. Contenido de compuestos fenólicos totales libres	66
IX.4.2. Contenido de compuestos fenólicos libres por HPLC	68

IX.4.3. Capacidad antioxidante	70
IX.4.4. Correlación de compuestos obtenidos por HPLC y capacidad antioxidante	72
IX.5. Contenido de fibra y almidón	75
IX.6. Parámetros tecnofuncionales	77
IX.6.1. Índice de absorción de agua (IAA), capacidad de absorción de agua subjetiva y solubilidad en agua	77
IX.7. Compuestos Antinutricios	79
IX.8. Desarrollo de la harina tostada de maíz negro para el desarrollo del alimento tradicional "Pinole"	81
IX.8.1. Caracterización química, nutracéutica y capacidad antioxidante de harina de maíz negra tostada	82
IX.8.1.1. Caracterización química de harina de maíz negra tostada	82
IX.8.1.2. Caracterización nutracéutica de harina de maíz negra tostada	83
IX.8.1.3. Capacidad antioxidante de harina de maíz negra tostada	84
IX.8.1.4. Contenido de fibra insoluble, soluble y total en harina de maíz negra tostada	85
IX.8.1.5. Contenido de almidón resistente, total y disponible en harina de maíz negra tostada	86
IX.8.2. Desarrollo, caracterización química, nutracéutica y capacidad antioxidante de Pinole tradicional mexicano	86
IX.8.2.1. Caracterización química de Pinole tradicional mexicano	87
IX.8.2.2. Caracterización nutracéutica del pinole tradicional mexicano	88
IX.8.2.3. Capacidad antioxidante de Pinole tradicional mexicano	89
IX.8.2.4. Contenido de fibra en pinole tradicional mexicano	89
IX.8.2.5. Contenido de almidón resistente, total y disponible en Pinole tradicional mexicano	90
X.9. Sensorial discriminativo del Pinole tradicional mexicano elaborado con maíz negro tostado proveniente de Coscomatepec de Bravo Veracruz y Pinole tradicional mexicano comercial	91
XI.10. Microbiológicos de Harina de maíz negro tostado y Pinole tradicional mexicano	94
XII. Conclusiones	96
XIII. Referencias Bibliográficas	98

Índice de Figuras

Figura 1. Morfología del grano de maíz.....	17
Figura 2. Estructura química del fenol.....	25
Figura 3. Estructuras de ácidos hidroxicinámicos.....	26
Figura 4. Estructura básica de flavonoide.....	27
Figura 5. Semillas de maíz con altos niveles de antocianinas en aleurona(a) y pericarpio (c).	28
Figura 6. Representación de estructura molecular de antocianidina y listado de formas más comunes.....	29
Figura 7. Estructura molecular de carotenoide.....	30
Figura 8. Estructura de Luteína y Zeaxantina.....	30
Figura 9. Maíces pigmentados utilizados para el análisis de carotenoides. Žilic et al. (2012).	31
Figura 10. Estructura química del colesterol y de los principales fitoesteroides.....	32
Figura 11. Modelo o espacio de color Cie-Lab.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Modelo o espacio de color Cie-Lab.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición química de las partes principales del grano de maíz.....	19
Tabla 2. Contenido en promedio de proteína y aminoácidos más abundantes en maíz de diferentes variedades.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3. Contenido de vitaminas y minerales en maíz amarillo expresado en mg/100g	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4. Contenido de antocianinas en tres variedades de maíz... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 5 Caracterización física de tres variedades de maíz criollo.....	57
Tabla 6 Determinación de color en granos de tres variedades de maíz criollo mediante Cie-Lab*	58

Declaración de responsabilidad del estudiante:

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



Patricia Martínez Reyna

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es de los cereales con mayor importancia a nivel mundial, gracias a su consumo, producción y calidad nutritiva que representa. El maíz en latinoamerica fue domesticado por culturas prehispánicas y desde entonces ha estado asociado con la alimentación y gastronomía del mexicano, considerándose la base de la alimentación. La tortilla es la forma de consumo más común en México, representa un consumo per cápita en zona rural de 79. kg y urbano de 56.7 kg. Los maíces criollos pigmentados como el morado, negro, amarillo y rojo son de gran interés, desde el punto de vista nutricional y nutracéutico, debido a que poseen compuestos bioactivos, como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, antocianinas y flavonoides), carotenoides como luteína y zeaxantina, fibra dietética y ácidos grasos poliinsaturados, los cuales se han relacionado con la disminución al riesgo a padecer enfermedades crónicas no transmisibles (ECNTs). El objetivo de este proyecto fue caracterizar física, química, nutracéutica y tecnofuncional tres variedades de maíces criollos *Zea mays* L. (blanco, amarillo y negro) cultivado en la región de Coscomatepec de Bravo de Veracruz, dando diferentes propuestas de alimentos y el desarrollo de un alimento con propiedades nutracéuticas tradicional de la gastronomía mexicana como lo es el pinole. Para las muestras se determinaron el peso, tamaño y color; proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos, fenoles totales, antocianinas, fibra soluble, fibra insoluble y total, así como almidón resistente, disponible y total; propiedades tecnofuncionales (capacidad e índice de absorción de agua y solubilidad). El maíz criollo presentó las mejores características con contenidos de ácidos fenólicos (376.86 mg ácido ferúlico/100 mg), flavonoides (92.14 mg eq quercetina/g), antocianinas (19.81 mg de 3CG /100 g), capacidad antioxidante (6586.99 mM eq Trolox DPPH; 410.45 mM eq Trolox ABTS) elevados. Se identificaron por HPLC el ácido ferúlico, quercetina, catequina y ácido cumárico. Se elaboró el pinole con el maíz negro y se obtuvo un aumento en el contenido nutracéutico de ácidos fenólicos (2392.42 mg ácido ferúlico/100 mg), flavonoides (122.23 mg eq quercetina/g), antocianinas (17.10 mg de 3-cianidina glucósido/100 g), capacidad antioxidante (3487.14 mM eq Trolox DPPH; 320.17 mM eq Trolox ABTS). Los resultados sugieren que el maíz negro tiene potencial para elaborar un alimento nutracéutico con propiedades funcionales y debido a su endospermo harinoso para productos derivados de la nixtamalización, bebidas, mazorcas asadas, extracción de pigmentos; para el maíz blanco para alimentos que requieran una cocción tradicional (pozole precocido, tamales, esquites, entre otros), mientras que para el maíz amarillo debido a la dureza y composición química sea utilizado para fécula de maíz, alimento para ganado y aceite.

Palabras clave: compuestos nutraceuticos, maíces criollos, propiedades tecnofuncionales.

Abstract

The maize (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals in world, thanks to its consumption, production and nutritional quality that it represents. The maize in Latin America was domesticated by pre-hispanic cultures and since then it has been associated with the food and gastronomy of the Mexican, being considered the basis of food. The tortilla is the most common form of consumption in Mexico, representing a per capita consumption in rural areas of 79. kg and urban areas of 56.7 kg. Pigmented native maize such as purple, black, yellow and red are of great interest from a nutritional and nutraceutical point of view, because they have bioactive compounds, such as phenolic compounds (phenolic acids, anthocyanins and flavonoids), carotenoids such as lutein and zeaxanthin, dietary fiber and polyunsaturated fatty acids, which have been related to a decreased risk of suffering from chronic non-communicable diseases. The objective of this project was to characterize the physical, chemical, nutraceutical and technofunctional characteristics of three varieties of native maize *Zea mays* L. (white, yellow and black) grown in the Coscomatepec de Bravo region of Veracruz, giving different food proposals and the development of a food with traditional nutraceutical properties of Mexican gastronomy such as pinole. For the samples, the weight, size and color were determined; proteins, lipids, ashes and carbohydrates, total phenols, anthocyanins, soluble fiber, insoluble and total fiber, as well as resistant, available and total starch; techno-functional properties (capacity and rate of water absorption and solubility). The native maize presented the best characteristics with phenolic acid content (376.86 mg ferulic acid/100 mg), flavonoids (92.14 mg quercetin eq/g), anthocyanins (19.81 mg of 3CG/100 g), capacity antioxidant (6586.99 mM eq Trolox DPPH; 410.45 mM eq Trolox ABTS) elevated. Ferulic acid, quercetin, catechin and coumaric acid were identified by HPLC. Pinole was elaborated with black maize and an increase in the nutraceutical content of phenolic acids (2392.42 mg ferulic acid/100 mg), flavonoids (122.23 mg eq quercetin/g), anthocyanins (17.10 mg of 3-cyanidin glycoside/ 100 g), antioxidant capacity (3487.14 mM eq Trolox DPPH; 320.17 mM eq Trolox ABTS). The results suggest that black maize has the potential to produce a nutraceutical food with functional properties and due to its floury endosperm for products derived from nixtamalization, beverages, roasted cobs, pigment extraction; for white maize, it is used for foods that require traditional cooking (precooked pozole, tamales, esquites, among others), while for yellow maize, due to its hardness and chemical composition, it is used for maize starch, cattle feed, and oil.

Keywords: nutraceutical compounds, native maize, technofunctional properties.

I. Introducción

El maíz es un alimento de origen-prehispánico, que ha sido empleado desde tiempos remotos en la dieta humana por su bajo costo, contribuyendo en la cultura y tradición de la población, destacando por sus propiedades nutracéuticas y nutricionales (Prasanna *et al.*, 2020). Asimismo, el maíz representa un alimento fundamental y muy utilizado, es decir una de las principales fuentes de energía en la dieta del mexicano, contiene cerca de 72 % de almidón, 10 % de proteínas y 4 % de grasas; aproximadamente proporciona una densidad energética de 365 kcal/100 g; sin embargo, la cantidad de proteínas es mínima (Ramau *et al.*, 2014).

En México se estima que entre el 60 % y 70 % de la producción de maíz es utilizada como alimento de ganado y entre el 30 % y 40 % se utiliza para la producción de alimentos para el consumo humano, principalmente la tortilla, siendo el consumo de dicho alimento de 1400 millones de tortillas por día en promedio (León-López *et al.*, 2019; Gwartz & Garcia-Casal., 2013). En México la producción nacional es de 90 % de maíz blanco y 10 % de maíz amarillo; siendo la producción de maíz criollo la más baja y la menos mencionada (Martínez., 2020).

El maíz pigmentado representa una riqueza en México no solo por sus propiedades agronómicas, si no por su contenido en diversos compuestos con actividad biológica entre los que destacan los compuestos fenólicos que aportan beneficios para la salud del consumidor (Bello-Pérez *et al.*, 2016). Existen etnias mexicanas que poseen riqueza fitogenética importante como es el caso de los maíces criollos pigmentados; los cuales son primariamente utilizados en autoconsumo para elaborar tortillas, tamales, tostadas, pozole, atole, pinole, entre otros alimentos (Long., 2012). El maíz es fácilmente adaptativo a las condiciones climáticas teniendo un bajo costo por sí solo o como insumo en producciones, pero la parte más relevante es la preservación de preparaciones culinarias tradicionales con maíces criollos ya que ambos se consideran patrimonio cultural inmaterial de la humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Fernández Suárez *et al.*, 2013).

No obstante, dependiendo a la ubicación geográfica en donde son cosechados los maíces pueden presentar diferente contenido nutrimental y nutracéutico, es por ello que el objetivo de esta investigación es caracterizar física, química, nutracéuticamente, así como determinar las propiedades tecnofuncionales de los granos de tres variedades de maíces criollos (amarillo, negro y blanco) y posteriormente en base a las características de cada grano, proponer el uso más idóneo para la elaboración de alimentos.

II. Antecedentes

II.1 Historia y producción de maíz

En la antigüedad el maíz fue domesticado de teosintle (*Zea perennis*) al maíz actual y venerado por algunas culturas prehispánicas. Su domesticación se llevó a cabo en México, donde sigue siendo la base de la alimentación (González-Cortés *et al.*, 2016).

La producción internacional de dicho cereal oscila entre 1,134 millones de toneladas por año (Arriaga-Pérez *et al.*, 2019). Se ha reportado que EUA produce cerca de 279 millones de toneladas al año, China 208 millones de toneladas, Brasil 71 millones de toneladas y México 22 millones de toneladas; México representa el cuarto país con mayor producción en el mundo, los estados con mayor producción son Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Nayarit, Jalisco y Oaxaca (Choperena., 2015; SAGARPA., 2017).

En México el maíz proporcionaba un buen porcentaje de calorías, el consumo per cápita en 2016 era de 196.4 kg de maíz al año (SAGARPA., 2017). Sin embargo, actualmente el consumo de este cereal es alrededor del 70 % del total de calorías en la dieta a través del consumo de alimentos como tortillas, tacos, chips, tamales, botanas, entre otros (Kamau *et al.*, 2020).

II.2 Maíz

II.2.1. Maíz y nutrición en México

El maíz (*Zea mays* L.) se considera la base de la alimentación, el maíz blanco y amarillo son de los más utilizados en procesos de nixtamalización. La nixtamalización es un método antiguo practicado por los aztecas y usado muy popularmente desde entonces en toda América latina y consiste en hervir el maíz en agua que contiene cal (hidróxido de calcio) en un rango de 1 al 5 %, se deja reposar el grano durante la noche, es lavado y molido para convertirlo en masa de maíz, este método mejora el equilibrio de los aminoácidos esenciales y calcio durante

el reposo con óxido de calcio (CaO) comúnmente conocido como cal, proporcionando mayor biodisponibilidad de los compuestos presentes en el grano de maíz (Kamau *et al.*, 2020). Durante la nixtamalización por medio de la cocción alcalina y el remojo se provoca una disolución e hinchamiento de las capas del pericarpio lo que genera que las paredes celulares (partes de la fibra dietaria) se vuelvan más frágiles y sea mucho más fácil su remoción; la masa resultante consiste en fragmentos de germen, residuos de pericarpio y endospermo unificados por el almidón parcialmente gelatinizado y las proteínas y lípidos emulsificados. (Paredes *et al.*, 2018). Dicho proceso se utiliza para la elaboración de alimentos como tortillas, tamales, atoles, tostadas, totopos, chips, entre otros, que son consumidos con frecuencia en México (Méndez-Montalvo *et al.*, 2005).

México se posiciona en los primeros lugares a nivel mundial de obesidad y desnutrición en su mayoría menores de 5 años. Esta estadística es alarmante y por lo cual es importante abordar adecuadamente esta problemática por medio de estrategias específicas para mejorar los productos a base de maíz, fortalecer la cultura gastronómica proporcionando compuestos nutraceuticos para mejorar el estado de salud (Gómez-Delgado *et al.*, 2019).

Si no se aborda este problema aumentará el factor de riesgo para desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles produciendo una alteración en el equilibrio nutricional del individuo y apetito; lo cual puede llevar a un déficit calórico y con ello una respuesta negativa en el organismo como lo es el consumo de reservas como grasa y músculo, manifestando bajo peso, pérdida de musculo, cambios en la piel, pérdida de fuerza y fallo en diferentes órganos (de Ulíbarri *et al.*, 2015).

Nutricionalmente los maíces son fuente importante de energía por su contenido de almidón (el cual posee excelente digestibilidad) y carbohidratos complejos, aminoácidos, algunos minerales como potasio, magnesio, fósforo y fibra. Por otro lado, los maíces pigmentados a parte del contenido nutricional ya mencionado poseen compuestos bioactivos con capacidad antioxidante (Lara, *et al.*, 2004). Sin

embargo, la importancia de dichos maíces no solo son el consumo de la matriz pura, si no la producción de diversos alimentos considerando los diferentes genotipos y variedades de maíces con diferentes propiedades funcionales, nutricionales y nutraceuticas (Mansilla., 2018). México posee una gran diversidad genética de maíz, de las 436 especies existentes 50 se encuentran perfectamente identificadas y solo 25 de ellas se han utilizado para el consumo humano (Antuna-Grijalva *et al.*, 2008).

II.2.2. Taxonomía

La morfología y características del maíz de acuerdo a lo reportado por la FAO en 1993 y García en 2017 son las siguientes:

Pertenece al reino: Plantae
División: Anangiospermae
Clase: Monocotyledoneae
Subclase: Apetat
Orden: Poales
Familia: Poaceae, Genero: Zea
Especia: Zea mays L

II.2.3. Estructura del maíz

La planta de maíz es un miembro importante de la familia de las gramíneas (Gramineae). Este cereal es proveniente de la mazorca la cual está constituida de granos grandes aplanados, colocados paralelamente al rededor del fruto. En la Figura 1 se muestra la morfología del grano de maíz, constituido por: pericarpio, endospermo, germen y aleurona (Ai., 2016).

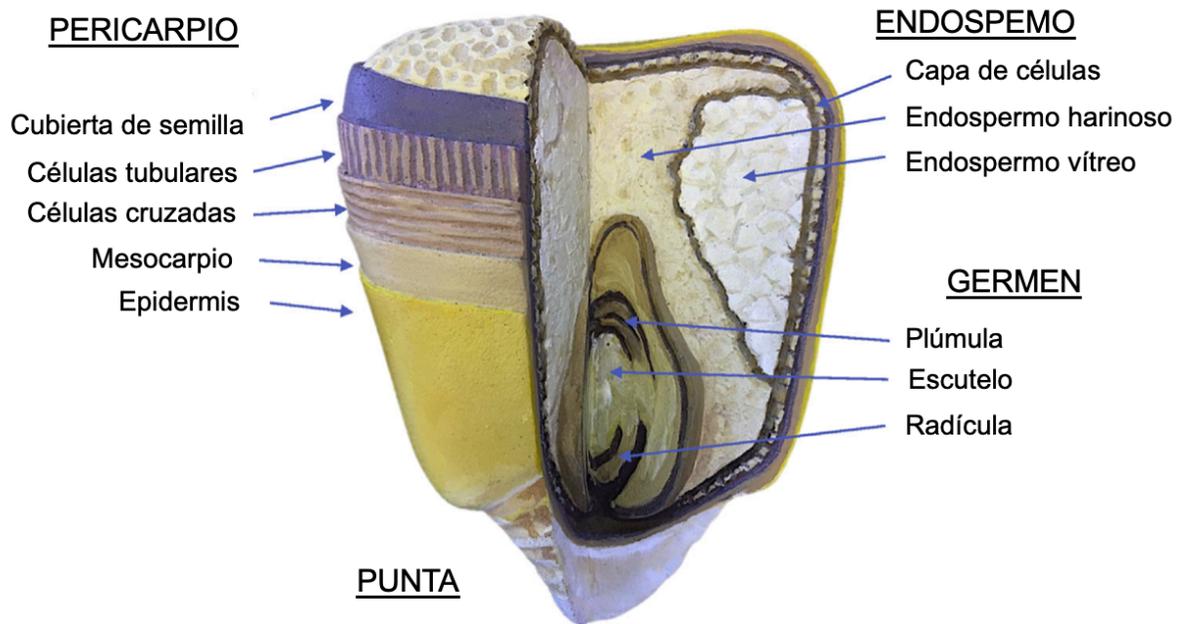


Figura 1. Morfología del grano de maíz.
Perdón & Holopainen-Mantila. (2020)

El pericarpio representa del 5 al 6 % del peso total del grano. Se caracteriza por su alto contenido en fibra, el cual rodea el endospermo, éste a su vez está constituido por 4 capas delgadas llamadas epicarpio, mesocarpio, células cruzadas y células tubulares. El endospermo es el almacén principal de almidón y proteínas, este representa del 82 al 83% del peso del grano. Está compuesto por diferentes tipos de células, como la capa de aleurona la cual se caracteriza por contener aceite, proteína, minerales y algunas vitaminas. Por otro lado, se encuentra también el endospermo corneo el cual está constituido por células alargadas e irregulares. Por último, el endospermo harinoso el cual está localizado en la parte central del grano de maíz. Otra parte importante del grano es el germen el cual representa del 10 al

12% de peso del grano. (Prasanna *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2019; Gwartz & Garcia-Casal., 2013). Es en esta parte del grano es donde se concentran en su mayoría ácidos grasos poliinsaturados, proteínas, minerales y vitaminas como complejo B y E (Grande-Tovar *et al.*, 2013).

II.2.4. Maíces pigmentados

II.2.5. Generalidades de maíces pigmentados

En México los platillos tradicionales como tortillas, pinole, tamales, frituras y atoles son elaborados con maíz criollo pigmentado, los cuales se pueden distinguir por los diversos colores característicos de cada variedad, desde tonos rojos hasta azules. La coloración o pigmentación está dada por su contenido de antocianinas y algunos compuestos fenólicos, principalmente en maíces azules y rojos; a diferencia de los maíces amarillos que se caracteriza por un mayor contenido de carotenoides. Ambos compuestos se han relacionado con el potencial nutracéutico. Dichos compuestos se encuentran en el grano de maíz principalmente en el pericarpio y son los que generan la coloración como se puede observar en la Figura 1 (Serna-Saldívar *et al.*, 2013). Así mismo, estos pigmentos son utilizados en la industria alimentaria y farmacológica como aditivo, lo cual es de interés para el aprovechamiento de este tipo de maíces (Guillen Sánchez., 2010).

II.3 Composición química del maíz

Existe hasta el momento abundante información acerca del grano de maíz, donde los factores ambientales y genéticos pueden generar cambios en la composición química y por tanto influir en las diferentes variedades del grano de maíz (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2020). Méndez-Montalvo *et al.* (2005) reportaron que el grano de maíz común cuenta con un aporte de almidón del 69 al 86 %, proteínas del 8.3 al 11.3 % y 4 al 7 % lípidos. En la Tabla 1 se muestra la composición química dada por la FAO en 1993.

Tabla 1. Composición química de las partes principales del grano de maíz.

Componentes (base seca %)	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteína	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.9	2.7	18.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcares	0.3	0.6	10.8

FAO (1993).

Los maíces poseen compuestos bioactivos, a los que se les atribuye efectos en la salud y nutrición de quienes lo consumen. Algunos de ellos son: fibra dietética, compuestos fenólicos, carotenoides, algunos ácidos grasos como omega 6, fitoesteroles, saponinas, entre otros (Herrera *et al.*, 2014). También se han destacado por su contenido en micronutrientes tales como tocoferoles, vitaminas como tiamina, niacina y ácido fólico (Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

II.3.1 Almidón

El almidón está conformado por amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal unido por puentes de hidrógeno, y consiste en 1,4- α -D-anhidroglucosa en forma de hélice, con una superficie hidrófoba y un núcleo hidrofóbico, las cuales pueden formar cristales contribuyendo a la digestión moderada del almidón por las enzimas intestinales (Salazar-Acosta., 2018).

La amilopectina es un polímero ramificado formado por 1,6- α -anhidroglucosa y está ramificada por cadenas cortas; dicho polímero puede ser de igual forma cristalino o amorfo, lo cual genera que la estructura y su organización pueda ser modificada y tenga cambios importantes en la resistencia a la digestión enzimática. Se ha reportado que el contenido de almidón en maíz morado y blanco es de 71 g/100 g, sin embargo, cuando el maíz llega a su madurez fisiológica el contenido de almidón es diferente; conteniendo 81.7 g/100 g en maíz azul y 76.22 g/100g en maíz blanco (Agama-Acevedo *et al.*, 2013).

Dentro de las propiedades benéficas a la salud del consumidor el almidón está relacionado con la velocidad, digestión y absorción del mismo a nivel intestinal; nutricionalmente el almidón se puede clasificar como almidón de rápida, lenta disponibilidad y almidón resistente (AR) siendo este también de baja digestibilidad, sin embargo, los beneficios de consumir un alimento rico en AR son el control glucémico, disminución de colesterol, triglicéridos y la absorción de algunos minerales (Raigond *et al.*, 2015).

El AR es considerado como la suma del almidón y productos de la degradación del mismo que no son absorbidos en el intestino delgado; a este compuesto se le ha resaltado por su potencial como prebiótico funcional, de tal forma que es un ingrediente no digerible, el cual puede beneficiar al consumidor, estimulando selectivamente la actividad de bacterias que se encuentran en el colon (Zaman *et al.*, 2015).

II.3.2 Proteínas

El contenido de proteínas en el grano de maíz se encuentra entre 7 y 13 % corresponde a proteínas de almacenamiento, enzimas para el metabolismo y proteínas estructurales. Las proteínas en los cereales son deficientes en algunos aminoácidos esenciales; por ejemplo en el maíz es alto en metionina y lisina pero deficientes en lisina y triptófano. Las prolaminas (52%), en su mayoría zeínas, se encuentran en el endospermo; mientras que las globulinas y albúminas se almacenan en el germen y aleurona (Aguirre Mancilla *et al.*, 2019; Sharif *et al.*, 2019). En el caso de las gluteínas se concentran en su mayoría en el germen y endospermo (Prasanna *et al.*, 2020).

La zeína es rica en aminoácidos como: 1.5 g de glutamina, 19.3 g de leucina, 9 g de prolina y 8.3 g de alanina de aminoácidos por 100 gramos de maíz, siendo deficiente en triptófano, lisina y aspartato (Shukla & Cheryan., 2001). La lisina es importante ya que es esencial en el crecimiento de tejidos y una correcta absorción de calcio a nivel intestinal (Aguirre Mancilla *et al.*, 2019). Por otro lado, la importancia del triptófano radica en que es precursor de vitaminas como niacina y vitamina B.

Sin embargo, a pesar de tener una baja cantidad de aminoácidos ya mencionados, tiene suficiente cantidad de leucina, isoleucina y niacina (Tefera., 2020). Dentro de la actividad biológica de la zeína la literatura ha reportado que ayuda a evitar la peroxidación lipídica y el efecto inhibitor de la actividad tirosinasa; posee de igual forma una propiedad antioxidante de los daños creados por rayos UV, así como antiinflamatorio y anticancerígeno (Luo *et al.*, 2016). Vidal Martínez *et al.* (2008) reportaron el contenido proteico de diferentes variedades de maíces criollos pigmentados, los granos azules tenían un mayor contenido en proteínas, principalmente se encontró lisina y triptófano como aminoácidos abundantes. Por otro lado, Vera-Guzmán *et al.* (2012) informaron que el contenido de proteína y aminoácidos como triptófano y lisina fue mayor en poblaciones nativas de maíz mixteco a comparación con las poblaciones comerciales (ver Tabla 2).

Tabla 2. Contenido en promedio de proteína y aminoácidos más abundantes en maíz de diferentes variedades.

Maíces	Azul	Amarillo	Blanco	Rojo	Pinto
Proteína base seca (%)	11.9	11.9	12.3	12.6	13.3
Lisina (%)	0.348	0.404	0.413	0.395	0.400
Triptófano (%)	0.065	0.068	0.067	0.068	0.067

Vera-Guzmán *et al.* (2012).

Actualmente se han realizado entrecruzamientos de diferentes genotipos con la finalidad de generar maíces con una mejor calidad de proteína y con ello mantener un mayor nivel de lisina y triptófano; la importancia de ello es que, al consumir un maíz, no solamente estaremos consumiendo los nutrientes comunes de un cereal como carbohidratos, fibra, lípidos; si no una mayor cantidad de proteína y puede crear un impacto positivo en la salud de la población que lo consume (Tefera., 2020).

II.3.3 Lípidos

Los lípidos en los cereales se almacenan principalmente en el germen y en menor cantidad en la aleurona. En el germen de maíz se encuentran más de 85% de lípidos; entre ellos triglicéridos en cantidades importantes, ricos en ácidos linoleico (46.8 g /100 g de grasa total) y oleico (33.9 g/100 g de grasa total), y fosfolípidos, a los cuales se les ha atribuido un efecto benéfico en el funcionamiento cerebral

(Serna-Saldívar *et al.*, 2013; Alezones *et al.*, 2010). Por otro lado, compuestos como fosfoglucolípidos y glucolípidos se encuentran en mayor cantidad en el endospermo (Urango., 2018).

A partir del maíz se puede obtener aceite de maíz; el cual es extraído y consumido comúnmente; posee un contenido bajo en ácidos grasos saturados 12 %, alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados 60 % y ácidos grasos monoinsaturados 23 % (Serna-Saldívar *et al.*, 2013; Urango., 2018).

II.3.4 Fibra dietaria

La fibra en el grano de maíz se encuentra principalmente en el pericarpio y está integrada por heteroxilanos (clasificado como fibra soluble), celulosa, ácidos fenólicos, ácido ferúlico (predominantemente en el salvado de maíz), arabinoxilanos, entre otros (Márquez-Escalante *et al.*, 2018). Una propiedad muy importante de los heteroxilanos es que generan un incremento en la absorción de ciertos minerales mejorando la función a nivel del colón, evitando que a la larga se padezca de cáncer o enfermedades crónicas no transmisibles (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

La fibra tiene un papel fisiológico y nutricional muy importante en la dieta humana, generando una disminución a nivel sanguíneo del colesterol, reducción de enfermedades cardiovasculares, cáncer de colon y control de estreñimiento, entre otros; al consumir la ingesta recomendada diaria que es de 25-38 g/día (Calderón-Cisneros., 2019). Los granos enteros como el maíz aportan cantidades importantes de fibra dietética, especialmente la insoluble, que mejora la función gastrointestinal, también poseen β -glucanos y fructanos los cuales forman parte de la fibra soluble y tienen un efecto en la reducción de las concentraciones plasmáticas de colesterol y del índice glicémico (De la Calle., 2017).

Los cereales que preservan su salvado también poseen propiedades anti-obesogénicas, regulación de glucosa a nivel sérico, anticancerígeno y regulación intestinal evitando el estreñimiento. Estudios recientes como el descrito por

Márquez-Escalante *et al.* (2018), concluyen que los arabinosilanos tienen un efecto benéfico promoviendo la buena salud intestinal al estimular el crecimiento de bacterias benéficas, aportando un estado favorable en quienes consumen granos enteros. Los arabinosilanos son polisacáridos que están presentes en el maíz, se pueden encontrar en el endospermo, aleurona, la cutícula y pericarpio, conocidos comúnmente como salvado. Dichos efectos se pudieron observar en diferentes fuentes y probados en diferentes modelos animales con ratas, cerdos, ratones y hámsteres (Márquez-Escalante *et al.*, 2018).

II.3.5 Vitaminas y minerales

El contenido de vitaminas y minerales en el maíz puede variar dependiendo de la zona de cultivo del maíz. Las vitaminas se encuentran mayormente en el salvado de maíz; algunas de ellas son tiamina, riboflavina, complejo B, niacina, careciendo de vitamina C y B12. (Gwirtz & Garcia-Casal., 2013). Mientras que el maíz contiene diferentes minerales principalmente magnesio, fósforo, potasio, se encuentran en mayor cantidad en el salvado del maíz, cabe mencionar que se ha descrito que el maíz carece de hierro, tal como se puede apreciar en la Tabla 3 (Ranum *et al.*, 2014).

Tabla 3. Contenido de vitaminas y minerales en maíz amarillo expresado en mg/100g.

Vitaminas/minerales (mg/100g)	Maíz entero	Salvado de maíz	Almidón de maíz
Tiamina	0.39	0.01	0
Riboflavina	0.20	0.10	0
Niacina	3.63	2.74	0
Ácido Pantoténico	0.42	0.64	0
Piridoxina	0.62	0.15	0
Folato	19.00	4.00	0

Calcio	7.00	42.00	2.00
Fe	2.71	2.71	0.47
Magnesio	127.00	64.00	3.00
Fosforo	210.00	72.00	13.00
Potasio	287.00	44.00	3.00
Sodio	35.00	7.00	9.00
Zinc	2.21	1.56	0.06
Cobre	0.31	0.25	0.05
Manganeso	0.49	0.14	0.05
Selenio	15.50	16.5	2.80

Gwartz & Garcia-Casal., (2013).

Se ha descrito que, al consumir el maíz en forma de tortilla, algunos nutrientes son más biodisponibles, esto se debe a la nixtamalización del maíz, como niacina que se encuentra unida al grano de maíz de manera cruda, por lo que durante el proceso de ebullición y la digestión enzimática liberan de la matriz esta vitamina siendo más biodisponible al consumirlo (Kamau *et al.*, 2020).

Algunas de las vitaminas presentes en el maíz están implicadas en procesos biológicos importantes como las vitaminas de tipo B como por ejemplo, la tiamina que es vital en el crecimiento; riboflavina, está involucrada en la descomposición de grasas; niacina, importante en el mantenimiento de piel y nervios; ácido pantoténico, esencial para el funcionamiento de cerebro y sistema nervioso (Berry, 2021).

III.4 Compuestos bioactivos

El maíz contiene diferentes compuestos bioactivos importantes; estos se definen como aquellos que aportan un beneficio a la salud más allá de los considerados como nutrición básica, dichos compuestos son estudiados por sus efectos benéficos

al consumidor (Herrera *et al.*, 2014). Los maíces pigmentados son una buena fuente de estos compuestos como el maíz morado que es rico en flavonoides, como las antocianinas y dentro de ellas la más abundante es 3-glucosido de cianidina (Rabanal-Atalaya *et al.*, 2021). Los maíces con pigmentos amarillos y naranjas son ricos en carotenoides tales como luteína y zeaxantina (Petroni *et al.*, 2014).

II.4.1 Ácidos fenólicos

Los compuestos fenólicos pertenecen a la gran variedad de metabolitos secundarios que sintetizan las plantas; estos metabolitos corresponden a moléculas orgánicas que provienen de algunas sustancias que fueron sintetizadas a partir del metabolismo primario y se caracterizan por tener en su estructura un anillo aromático con uno o más hidroxilos (ver Figura 2) (Peñarrieta *et al.*, 2014). Las rutas para la síntesis de estos son la del ácido shikímico y/oruta del ácido mevalonato; estos compuestos se agrupan en 4 clases principalmente terpenos, compuestos fenólicos, alcaloides y glucósidos (Martín-Gordo *et al.*, 2018).

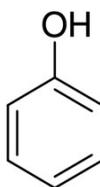


Figura 2. Estructura química del fenol.

Peñarrieta *et al.* (2014).

En el maíz los compuestos fenólicos más identificados son los ácidos hidroxicinámicos, en donde el contenido de los mismos dependerá del maíz del mismo maíz; se ha reportado que la familia de las gramíneas posee cantidades altas de ácido ferúlico y ácido p-cumárico (ver Figura 3) (Vázquez-Olivo., 2016).

El ácido ferúlico es el compuesto fenólico presente en mayor cantidad en el maíz, se ha reportado que su contenido es alrededor de 216 a 340 mg/100 g de maíz. El contenido de dichos compuestos depende de factores como condiciones

ambientales, maduración, genética, plagas de insectos o patógenos y exposición a luz UV (Bento-Silva *et al.*, 2018). En la Figura 3 se ejemplifica dos de los ácidos hidroxicinámicos que se encuentran comúnmente en el maíz: ácido p-cumárico y ácido ferúlico.

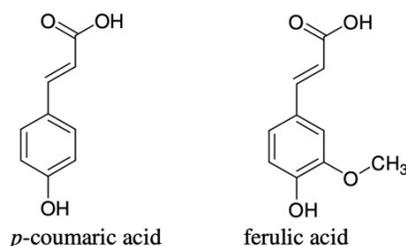


Figura 3. Estructuras de ácidos hidroxicinámicos.

Peñarrieta *et al.* (2014).

Se ha informado que el ácido ferúlico tiene funciones biológicas importantes como: antialérgica, antimicrobiana, anticarcinogénica, mejora la condición de diabético, entre otros (Zduńska *et al.*, 2018). La absorción de este compuesto está en un rango de 20 a 1 mg, otra de las funciones destacadas es que otorga rigidez a la célula, ya que los compuestos fenólicos se unen a los polisacáridos que se encuentran en la pared celular (Tuli *et al.*, 2019).

Biológicamente los compuestos fenólicos evitan el estrés oxidativo, es decir disminuyen la presencia de moléculas llamadas radicales libres, las cuales reaccionan con moléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos, manifestándose posteriormente en enfermedades tales como diabetes, enfermedades cardiovasculares, degenerativas y autoinmunitarias (Avello & Suwalsky *et al.*, 2006). Los compuestos fenólicos son muy susceptibles a ser oxidados debido a los diversos grupos hidroxilos presentes en el o los anillos aromáticos, es por ello que tienen una capacidad antioxidante importante (Abarca-Vargas., 2018).

II.4.1.1. Flavonoides

Los flavonoides son pigmentos que se encuentran con mayor frecuencia en los frutos, flores y semillas, mayormente en las aleuronas y pericarpio (Salinas *et al.*, 2010). El término flavonoide viene del latín "flavus", el cual significa amarillo, ya que muchos de estos compuestos una vez purificados son de este color, la estructura general de los flavonoides se muestra en la (ver Figura 4) (Peñarrieta *et al.*, 2014). Los flavonoides más comunes en maíz son kaempferol y quercetina (Bento-Silva *et al.*, 2018). Estos metabolitos se clasifican por su estructura en diferentes subgrupos como chalconas, flavonas, flavonoides, antocianinas, entre otras (Falcone-Ferreya *et al.*, 2012).

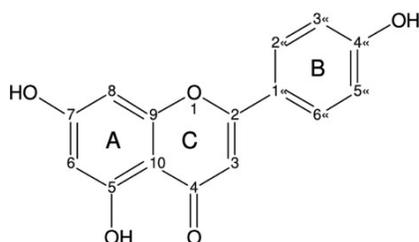


Figura 4. Estructura básica de flavonoide.

Peñarrieta *et al.* (2014).

Dentro de los múltiples efectos biológicos los flavonoides tienen un beneficio en la prevención de enfermedades. La quercetina en el maíz que representa el 60 % al 75 % del total de flavonoles y flavonas del total de la dieta; dicho flavonoide se ha reconocido por sus efectos vasodilatadores, antihipertensivos y evita el estrés oxidativo, gracias a su capacidad de atrapar radicales libres; de igual forma también pueden afectar la actividad de numerosas enzimas, actuando tanto como inhibidores o como inductores (Duarte, J & Pérez-Vizcaíno., 2015).

II.4.1.2. Antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos que están presentes en cereales negros, morados, azules, rosados, rojos y magentas. Dentro de las antocianinas más encontradas en maíz se encuentran: cianidina 3- glucósido, pelargonidina 3-

glusido; dichas estructuras son las responsables de los pigmentos rojos, azules y morados en maíz, (ver Figura 5) (Bento-Silva *et al.*, 2018).

Existen más de treinta tipos de antocianidinas, solo seis son más comunes en los cereales, tales como: la pelargonidina, cianidina, peonidina, malvidina, petunina y delfinina, destacando que su biosíntesis proviene del metabolismo de fenilpropanoides (Zhu., 2018). Una de las antocianinas más comunes en maíz es el 3-glucósido de cianidina, la cual se encuentra comúnmente en maíz morado, azul y rojo (Ver Tabla 5). La coloración de los maíces está estrechamente relacionada con la estructura molecular que presenta cada antocianina en las posiciones 3' y 5' (Ver Figura 6) (Peñarrieta *et al.*, 2014).

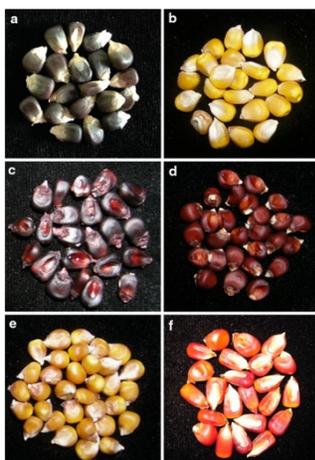


Figura 5. Semillas de maíz con altos niveles de antocianinas en aleurona(a) y pericarpio (c).

Petroni *et al.* (2014).

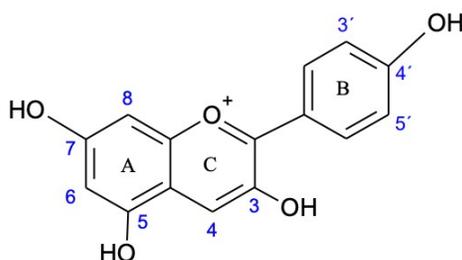
Estos compuestos poseen efectos benéficos en la salud como: antioxidantes, anticarcinogénicos (Bontempo *at al.*, 2015); actividad antidiabética (Hong *et al.*, 2013); obesidad (Xie *et al.*, 2018); previenen enfermedades cardiovasculares (Cassidy, 2018), entre otras actividades. En el maíz morado las antocianinas se encuentran en mayor cantidad en el pericarpio y aleurona (Petroni *et al.*, 2014).

Tabla 3. Contenido de antocianinas en tres variedades de maíz.

Maíz	Cianidina 3-glucósido (µg/g bs)
Morado	3.312
Azul	450
Rojo	127

bs: base seca

Zhu. (2018).



Aglicona	Grupo sustituyente	
	3'	5'
Pelargonidina	H	H
Cianidina	OH	H
Delfinidina	OH	OH
Peonidina	OCH ₃	H
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃

Figura 6. Representación de estructura molecular de antocianidina y listado de formas más comunes.

Peñarrieta *et al.* (2014).

II.4.1.3. Carotenoides

Los carotenoides se encuentran en alimentos como pigmentos naturales liposolubles, se pueden encontrar en hongos, frutas, plantas, entre otros; dichos compuestos forman parte de los tetraterpenos, es decir compuestos formados por una cadena de 40 carbonos y 8 unidades de isopreno, con enlaces simples y dobles, en donde al final de esta cadena se encuentran ciclos (Ver Figura 7) (López & Di Sarli *et al.*, 2016).

Existen diferentes tipos de carotenoides y se pueden dividir de acuerdo a su actividad provitamina A, que en tal caso son β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina; dichos compuestos pueden dividirse de acuerdo a sus grupos funcionales, en donde se encuentran las xantofilas, entre ellas las más conocidas y

abundantes son la luteína y zeaxantina (Ver Figura 8) (Milani *et al.*, 2016).

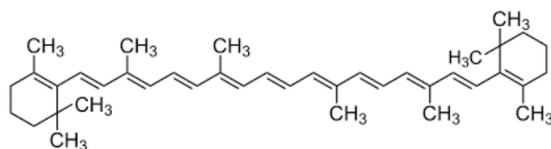
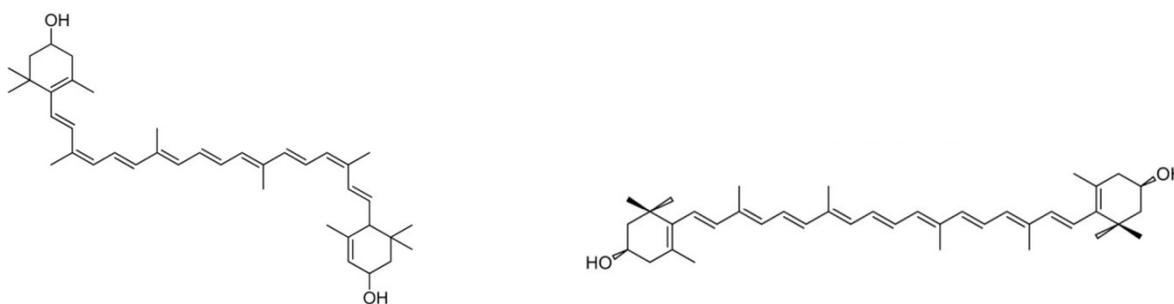


Figura 7. Estructura molecular de carotenoide.

Jia & Sun *et al.* (2017).



Zeaxantina

Luteína

Figura 8. Estructura de Luteína y Zeaxantina.

Jia & Sun. (2017).

Žilic *et al.* (2012) determinaron el contenido de carotenoides en diferentes variedades de maíz (Ver Figura 9) y encontraron que en el maíz naranja presentó mayor cantidad con 22.42 mg/kg a diferencia de maíz amarillo limón, rojo oscuro y azul que se encontraban libres de β -carotenos; el color blanco, amarillo y rojo contenían una cantidad inferior a 0.75 mg/kg; los maíces rojos y naranjas presentaron una concentración mayor de luteína 13.89 y 11.14 mg/kg respectivamente y finalmente observaron una concentración de luteína (<0.08 mg/kg) en maíces de color amarillo limón, rojo y azul claro.

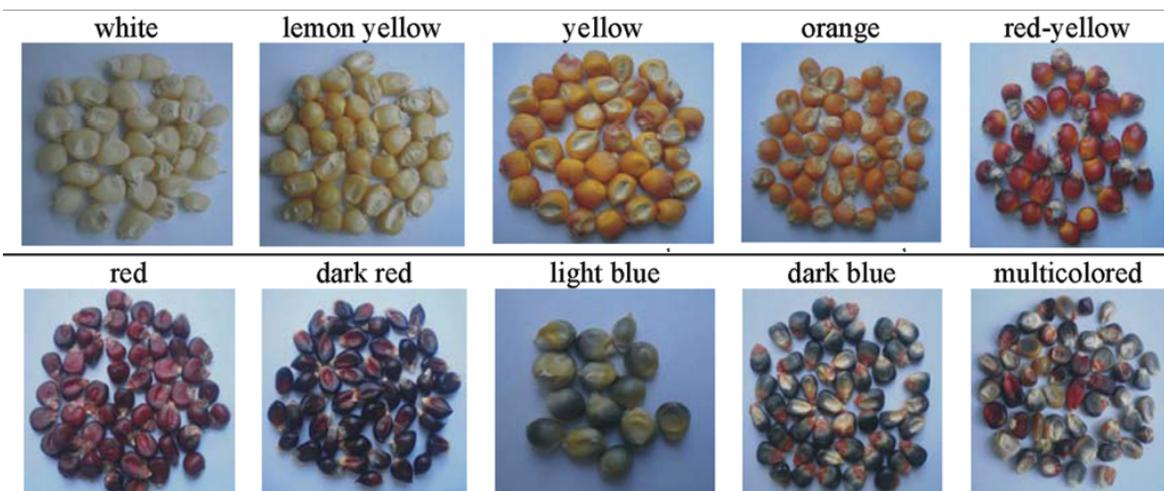


Figura 9. Maíces pigmentados utilizados para el análisis de carotenoides.

Žilic et al. (2012).

Muzhingi *et al.* (2016) realizaron un estudio para determinar el tipo de carotenoides en diferentes variedades de maíces híbridos y amarillos en donde concluyeron que el maíz contenía mayor cantidad de luteína, zeaxantina y B-criptoxantina; en donde los maíces híbridos pro vitamina A tuvieron mayor cantidad de β -criptoxantina y β -caroteno que el maíz amarillo común.

Una de las funciones más importantes de los carotenoides como luteína y zeaxantina es que se encuentran en la retina humana, en donde su función es proteger la mácula del daño de la luz y mejorar la vista (Jones., 2018). Para ello existen factores importantes como el procesamiento de la matriz alimentaria, en este caso maíz (cocido, natural o procesado), calidad y grasas dietéticas que se consuman (ayuda a solubilizar los carotenoides para ejecutar su actividad protectora), fibra dietética, entre otros (El-Sayed., 2013). Además, la luteína y zeaxantina han demostrado ser protectoras contra el daño oxidativo por luz, mejorando la función visual, cataratas y degeneración macular (Jia & Sun., 2017).

II. 4.1.4. Fitoesteroles

El maíz es rico en fitoesteroles o esteroides vegetales como sitoesterol, campesterol y estigmaesterol, poseen una estructura similar al colesterol (Ver Figura 9), los cuales son conocidos por su disminución del mismo en el organismo, previniendo las enfermedades cardiovasculares (Serna-Saldívar *et al.*, 2013). El consumo de estos fitoesteroles se ha descrito que tiene efectos hipocolesterolémicos a nivel plasmático, entre otros (Valenzuela & Ronco *et al.*, 2004). El maíz representa una de las fuentes más importantes y se encuentra en otros alimentos como semillas, legumbres y cereales; la aplicación de procesos como nixtamalización en granos como maíz (pericarpio y germen) puede llegar a afectar las cantidades y biodisponibilidadde estos compuestos (Gottau., 2018).

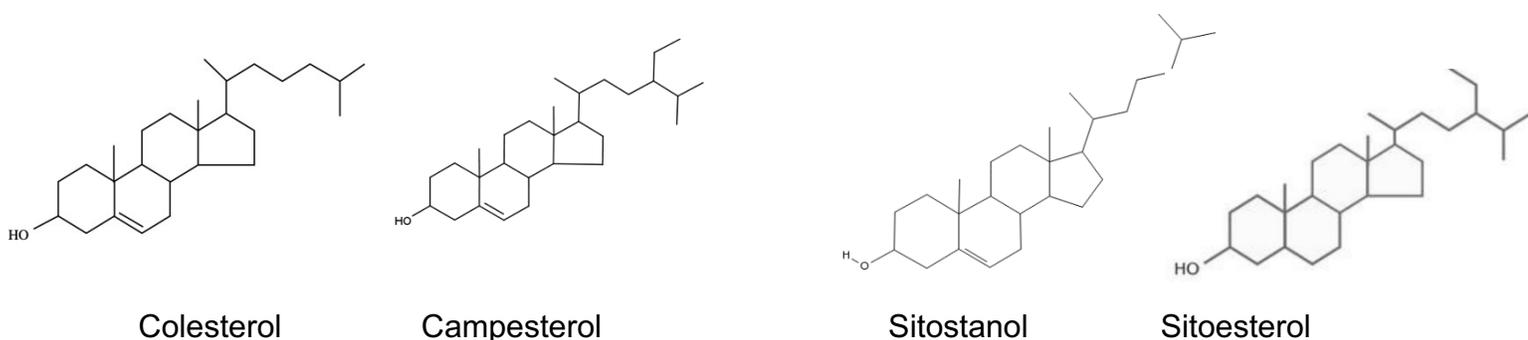


Figura 10. Estructura química del colesterol y de los principales fitoesteroles.

Maldonado-Saavedra *et al.* (2012).

II.5. Pinole Tradicional Mexicano

El pinole es uno de los alimentos más antiguos de México, comenzó a ser elaborado desde la época prehispánica y consiste en una mezcla de maíz, endulzado con piloncillo o azúcar y canela. El nombre de pinole proviene del nahuatl ponolli que significa “maíz molido y tostado”, este alimento anteriormente era utilizado para generar energía, en su mayoría cuando se realizaban viajes largos a pie (Arcos, 2021). Las antiguas poblaciones utilizaban un comal para realizar el tostado del maíz y un metate para la molienda (Choperena, 2015). El tostado era

uno de los procesos más usados por diversas poblaciones como los Aztecas para alargar el almacenamiento del maíz y resguardarlo como alimento de emergencia, debido a la energía que posee (Littaye, 2015).



Figura 11. Representación del comal que utilizaban en el tostado de maíz.

De Orellana (2012).

Este alimento ancestral era consumido y ha sido asociado con el buen rendimiento atlético de los Tarahumaras (corredores de largas distancias), era un alimento básico que consumían en su día a día (Littaye, 2015).

Actualmente es consumido en bebidas calientes, galletas y atoles. Su alto consumo es gracias al contenido de carbohidratos, ya que otorga cantidad suficiente, es rico también en minerales como fósforo, hierro, magnesio y alta cantidad en fibra. Incluso se han reportado que puede ser útil para la reducir el riesgo de anemia (Nabor, 2019).

III. Justificación

Gran cantidad de preparaciones culinarias tradicionales mexicanas hacen del maíz criollo uno de los elementos fundamentales de la cocina nacional e internacional. Así mismo, los maíces criollos representan el sustento de miles de familias mexicanas que lo producen a menor escala; representando una herencia de tradición agricultora y culinaria variada a base de este tipo de maíz. No obstante, existen factores alarmantes como: la modernización, el crecimiento estimado de la población para el 2050 y creciente urbanización, el alcance de la industria alimentaria, el cambio climático, bajos rendimientos del maíz criollo, estilos de vida y dietas totalmente diferentes a las tradicionales, consumiendo más productos procesados, ricos en azúcares, grasas saturadas y sal. Así mismo el aumento del consumo de maíces híbridos debido a los rendimientos más altos que puede generar en menor tiempo, lo cual lo vuelve una materia prima valiosa para las industrias alimenticias. Sin embargo, todo ello ha llevado a disminuir la siembra, producción y consumo de alimentos hechos a base de maíces criollos y con ello la disminución de nutrientes y compuestos que tienen un efecto benéfico en el organismo. Se ha descrito ya su potencial benéfico debido a su contenido de compuestos bioactivos tales como los compuestos fenólicos, carotenoides (maíz amarillo y naranja), antocianinas (maíz azul, morado y negro) y fibra dietética.

Por lo que sugerir el incremento, rescate, consumo y producción sostenible de dichos maíces es de suma importancia; fomentando espacios, tecnologías y sobre todo conocimiento del valor que tiene este cereal, ya que forman parte de nuestra historia, cultura y tradiciones.

Los maíces criollos representan un área de oportunidad para conocer las características físicas, químicas y nutraceuticas de las diferentes variedades de maíz criollo no pigmentados y pigmentados, en este caso hablando específicamente de maíces amarillos, negros y blancos; con la finalidad de identificar los diferentes beneficios y contenido nutricional de dichos maíces.

En particular es de interés estudiar el potencial benéfico, funcional y versatilidad de los maíces cultivados en Coscomatepec de Bravo, Veracruz, ya que han sido poco estudiados y se sabe que dependiendo de la ubicación geográfica y las condiciones ambientales de los maíces, éstos poseerán diferente contenido nutricional y nutracéutico. Por otro lado, también es de interés determinar las propiedades tecnofuncionales que presenta cada grano de maíz en sus diferentes variedades para poder sugerir posibles usos de los maíces para la producción de alimentos nutracéuticos y con ello pueda aumentar su valor agregado, así como proponer un alimento nutracéutico tradicional mexicano.

Sin embargo, una de las razones más importantes para realizar este trabajo es el rescate del os germoplasma del maíz, ya que como se ha dicho anteriormente su consumo es bajo debido a la poca remuneración monetaria de los agricultores y con ello se van extinguiendo especies con alto potencial para ser usado como alimento. La preservación, utilización, protección y conservación del germoplasma de maíces criollos nativos de dicha zona abonar a la solución de problemas prioritarios.

IV. Objetivo general

Identificar las diferencias físicas, químicas, nutracéuticas y las propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (*Zea mays L.*) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro) para sugerir usos potenciales de los granos para la elaboración de alimentos funcionales.

IV.1 Objetivos específicos

1. Determinar las características físicas y química de los granos de tres variedades de maíces criollos (blanco, amarillo y negro).
2. Determinar contenido total de los metabolitos secundarios (fenoles, flavonoides, antocianinas y carotenoides) de los granos de tres variedades de maíces criollos (blanco, amarillo y negro).
3. Evaluar las propiedades tecnofuncionales de los granos de los maíces criollos (blanco, amarillo y negro).
4. Proponer un alimento nutracéutico con propiedades funcionales.

V. Materiales y Métodos

V.1 Material biológico

Se utilizaron tres variedades pigmentadas (blanco, amarillo y negro) de maíz (*Zea mays* L.), adquiridos en la localidad de Coscomatepec de Bravo, Veracruz, México. Ubicado en las coordenadas geográficas 19° 04' latitud norte y 97° 03' longitud oeste, a una altura de 1520 promedio metros sobre el nivel del mar. Correspondientes a la cosecha de 2019.

V.1.1 Reactivos

Los reactivos utilizados son los siguientes: Na₂SO₄, CuSO₄, H₂SO₄, NaOH, HCl, α-amilasa, metanol, etanol, Na₂CO₃, columna Zorbax Eclipse XDB-C18 (Agilente Technologies, 4.6 x 250 mm, 5 μm), ácido acético, agua destilada, acetonitrilo, AlCl₃, cloruro de potasio, TFA, columna Zorbax SB Aq 3.5 μm 4.6 × 150mm (No. Parte: 863953- 914) y una pre-columna SecurityGuard™ cartridge kit Phenomenex® (No. Parte: KJ0-4282), metanol acidificado (pH 2), HCl al 1%, enzima Termamyl, reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa, KCl-HCl a pH 1.5, solución de Pepsina (1g de Pepsina /10 mL de buffer KCl-HCl pH 1,5), hidróxido de calcio, cartuchos de celulosa.

V.2. Caracterización física de los granos

Dentro de la caracterización física del grano de maíz se avaluó el peso específico, tamaño y color. Se realizó siguiendo la metodología propuesta por García-Campos. (2020).

V.2.1. Tamaño del grano

La determinación de tamaño se realizó utilizando un vernier de precisión en 20 granos tomados al azar; la medición incluyó largo, ancho y grosor.

V.2.2. Peso de cien granos

Se pesaron 100 g de maíz de cada muestra y con una balanza analítica y un recipiente de volumen conocido; el resultado fue multiplicado por 10 y dicho peso fue reportado en Kg hL^1 .

V.2.3. Pruebas de flotación (densidad)

La prueba de flotación del grano se realizó mediante lo propuesto por López *et al.* (2004). En una solución de nitrato de sodio (300ml) ajustada a 1.250 g/ml (± 0.001) de densidad previamente preparada, se vertieron 100 granos limpios y por medio de un agitador de vidrio se separó uno de otro, posterior a ello se agitó y se esperó 1 min para revisar la muestra. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó como el índice de flotación. Se determinó la dureza y calidad mediante los siguientes parámetros:

Granos flotantes = Dureza

- 0–12 granos = Muy duros
- 13–37 granos = Duros
- 38–62 granos = Intermedio
- 63–87 granos = Suaves
- 88–100 granos = Muy suaves

V.2.4. Tamaño de partícula

Para determinar la distribución de partícula se siguió el método de Bedolla y Rooney. (1984). Se pesaron 50 g de harina de maíz por triplicado y se colocaron en una fila de tamices (No. 20, 30, 40, 50, 60, 80 y charolas). Estos se colocaron en el vortex a una velocidad de 3 durante 15 minutos, al término del tiempo los tamices se separaron y se pesaron c/fracción retenida.

$$\text{g muestra en c/tamiz} * 100\%/50 \text{ g}$$

V.2.5. Disección del grano

Para determinar los componentes del grano se realizó una disección; dicha metodología fue realizada por Aragón-Cuevas *et al.* (2012). Se sumergieron 5

gramos de maíz en agua (85°C) por 15 min para facilitar la disección, posteriormente las partes del grano que son pericarpio, germen y endospermo (vítreo y harinoso) fueron separados manualmente utilizando un bisturí. La dureza se determinó con base en la relación endospermo vítreo y harinoso que se encontraron en el grano. Si se encuentra más endospermo vítreo con respecto al endospermo harinoso será indicativo de que el grano es más duro.

V.2.6. Color mediante el método espacio de color Cie-Lab

Se realizó la determinación del color mediante la metodología realizada por McGuire. (1992). Se colocaron las muestras en una caja Petri con superficie y laterales blancos mediante el sistema CIEL*a*b* (International Commission on Illumination, Viena) ubicando el lente sobre la muestra; se empleó un colorímetro Konica Minolta® CM5100-W con condiciones del iluminante (D65) y observador (10°), el cual se calibró colocando el equipo frente a una placa de calibración de color blanco y se usó el software Spectra Magic NX CM 5100 W® para medir las coordenadas a*, b* y L*.

Donde:

L*: valores de luminosidad (claridad u oscuridad)

C: saturación; tono

+a*= variación roja

-a*=verde

+b*=amarillo

-b*=azul

V.3. Caracterización química de los granos

Para la caracterización química de los maíces pigmentados se realizó un molido y tamizado uniforme con la finalidad de homogeneizar el tamaño de partícula. El grano se molió con un molino de martillos, equipado con un tamiz 60 (0.250mm). La caracterización química se llevó a cabo por medio de las metodologías AOCC (2002).

V.3.1. Humedad (Método 925.09)

Se pesaron 2 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante. Posteriormente, el crisol se introdujo en una estufa con temperatura de 130°C durante 3 horas. Enseguida se colocó en un desecador por 40 minutos para que enfriara, después se pesó y se calculó el porcentaje de humedad con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = (P_2 - P_1) / P_3 * 100$$

Dónde:

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

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

P₃ = Peso de la muestra (g)

V.3.2. Determinación de cenizas (Método 923.03)

Se pesó 3 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante. Se introdujo el crisol en una mufla a una temperatura de 550-600°C durante 4 horas o hasta que las cenizas se tornen blancas. Posteriormente, se pasó a enfriar a un desecador. Transcurrido el tiempo se pesó el crisol con las cenizas y se calculó su porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Cenizas} = (P_2 - P_1) / P_3 * 100$$

Dónde:

P₁ = Peso final (g)

P₃ = Peso crisol (g)

P₃ = Peso de la muestra (g)

V.3.3. Lípidos (Método 920.39)

Se pesó 3 g de muestra en base seca en cartuchos de celulosa, posteriormente se

colocaron en el compartimento de extracción Soxhlet, el cual se ensambló en un matraz a peso constante (se registró peso inicial) y se añadió 100 mL de éter de petróleo (el solvente debe cubrir la muestra y observar el efecto sifón). Se mantuvo la extracción en un flujo de 10 reflujos por hora durante 4 horas. Terminado el tiempo se retiró el matraz y se secó en la estufa a 100 °C para eliminar residuos de solvente y humedad. Posteriormente se dejó atemperar en un desecador y finalmente se registró su peso y se calculó el porcentaje de lípidos con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje Lípidos (\%)} = (P_2 - P_1) / P_3 * 100$$

Dónde:

P₁= Peso final (g)

P₂= Peso del matraz (g)

P₃= Peso de la muestra (g)

V.3.4. Proteínas (Método 954.01)

Para la digestión se pesó 1 g de muestra desgrasada y se colocó en un matraz de digestión Kjeldahl, así como también los siguientes catalizadores, 3.5 g de Na₂SO₄, 0.4 g de CuSO₄ y 15 mL de H₂SO₄ concentrado. Del mismo modo se preparó otro tubo sin añadir la muestra (blanco). Los tubos se colocaron en la plancha digestora calentando gradualmente, hasta alcanzar los 400 °C y que el contenido se torne de verde-turquesa. Se dejó enfriar y posteriormente se le agregaron 100 mL de agua destilada para la posteriormente pasarlos al destilador. Para la destilación se adicionó 50 mL de NaOH al 40% a los tubos Kjeldahl. Por otra parte, se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL en el cual se le agregó 25 mL de ácido bórico al 0.2 N, así como los indicadores rojos de metilo y verde de bromocresol. Enseguida se tituló el destilado con HCl 0.1 N previamente valorado, observando un cambio de color de verde a rosa. Para finalizar, se determinó el nitrógeno total, se multiplicó 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.

$$\% \text{Nitrógeno} = (A-B) C/D * 1.401$$

$$\% \text{Proteína} = \% \text{Nitrógeno} * 5.65$$

Dónde:

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

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

C = Concentración del HCl (N)

D = Peso de la muestra (g)

FE = 5.65

V.3.5. Carbohidratos

La determinación del contenido de carbohidrato total se realizó por cálculo indirecto mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{CT} = 100 - (\% \text{H} + \% \text{L} + \% \text{C} + \% \text{F} + \text{Pc})$$

Dónde:

%CT = porcentaje de carbohidrato total

%H = porcentaje de humedad de la muestra

%L = porcentaje de lípidos

%C = porcentaje de ceniza

%F = porcentaje de fibra cruda

%Pc = porcentaje de proteína

V.4. Caracterización nutracéutica

V.4.1. Fibra total dietaria

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

$$\text{Porcentaje de Fibra dietética total (\%)} = \% \text{ Fibra insoluble} + \% \text{ Fibra soluble}$$

V.4.2. Fibra insoluble

La fibra insoluble se determinó mediante la metodología que realizó Shiga *et al.* (2003). Para ello se pesó 1 g de muestra pulverizada, se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se protegió de la luz y añadieron 50 mL de solución amortiguadora de fosfatos (0.08mM a pH 6) y 100 µl de α-amilasa. Posterior a ello, se incubó en baño maría a 95°C durante 30 min, agitando cada 5 minutos. Se repitió el baño maría y se dejó que llegara a T ambiente, posterior a esto se ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N. Una vez que se ajustó el pH se procedió a adicionarle 100 µL de la enzima proteasa de concentración 5 mg/mL, una vez realizado esto; se incubó en baño maría a 60 °C por 30 minutos con agitación continua. Una vez transcurrido dicho tiempo se dejó templar la muestra y se ajustó de nuevo el pH a 4 con HCl 0.275 N. Posterior a ello se agregarán 300 µl de amiloglucosidasa y se incubó por 30 minutos a 60 °C con agitación continua. Una vez pasado el tiempo de incubación se volvió a incubar por 30 minutos a 60 °C con agitación continua. Posterior a ello solo quedó filtrar la muestra con un papel Whatman no. 4 (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 %.

Finalmente se secó el papel filtro con el sólido en una estufa a °C durante 24 horas y finalmente se registró su peso. En el papel filtro permaneció la fibra insoluble que posterior a dicho tratamiento se calculó mediante la siguiente fórmula el resultado:

$$\text{Porcentaje de Fibra insoluble (\%)} = (P_2 - P_1) / P_3 * 100$$

Donde:

P₁ = Peso del papel filtro (g)

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

P₃ = Peso de la muestra (g)

V.4.3. Fibra soluble

La determinación de fibra soluble se realizó basándonos en la metodología de fibra insoluble, en donde se conservó la solución filtrada y se le agregó un volumen igual de etanol al 80 % y se dejó reposar por 24 h. Posterior a ello se filtraron en un papel Whatman no. 42 (peso constante). Una vez realizado este filtrado se realizó 2 lavados con 15 mL de acetona para finalmente dejar secar en el papel filtro a 60 °C por 24 h y se registró su peso. El porcentaje de fibra soluble se obtuvo a través de la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de Fibra soluble (\%)} = (P_2 - P_1) / P_3 * 100$$

Donde:

P₁= Peso del papel filtro (g)

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

P₃= Peso de la muestra (g)

V.4.4. Almidón total

La determinación de almidón total se realizó con la metodología realizada por Soto. (2010). Se colocaron 50 mg de muestra previamente molida en un tubo de centrifuga de 50 ml, se agregaron 15 mL de agua destilada, se agregó la enzima a Termamyl 120 µL una cantidad de 100 µL, se mezcló la suspensión en un agitador magnético. Posterior a ello se colocó el tubo en la centrifugadora en un baño de agua hirviendo a 97 °C por 15 min y se mezcló cada 5 min. Una vez terminado el tiempo se dejó enfriar a T ambiente y se continuó agitando y se transfirió la muestra a un frasco volumétrico de 25 mL, se diluyó enjuagando cuidadosamente y se agregó el volumen de 25 mL con agua destilada. Posterior a ello se transfirió a un tubo de test 25 mL, se agregó 2 ml de buffer de acetato de sodio-ácido acético a pH 4.75 a 0.1 M. Se agregó la enzima Amiloglucosidasa la cantidad de 50 µL (3,5 mg de Amiloglucosidasa x ml de sulfato de amonio 3.2 M.) e incubó la muestra a 60 °C por 30 min, mezclando con cuidado cada 5 min. Una vez terminado el tiempo se transfirió a un matraz volumétrico de 10mL, se diluyó enjuagando cuidadosamente

el volumen de 100mL con agua destilada. Posterior a ello se transfirió 1ml de la muestra a un tubo de centrifuga y se agregó 1 ml de aguadestilada y 4ml de reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa a la muestraal blanco y a los estándares la misma proporción (5,6 g de glucosa oxidasa / peroxidasa en 100 ml de buffer tris-fosfato pH 7,0 a 0,5 M), incubar a 37 °C por 60 min, homogenizando cada 30 min. Finalmente se centrifugó a 3000 g durante 10 min. Se calibró el espectrofotómetro a cero con el blanco y se leerá la absorbancia a 450 nm de longitud de onda. Se utilizó la curva de glucosaanhidra.

$$\text{Porcentaje de AT (\%)} = \frac{(\mu\text{L de glucosa} * 10^3 * 25 * 100 * 0.9) / \text{Peso de muestra (mg)}}{*100}$$

V.4.5. Almidón disponible

El análisis de almidón se realizó por la metodología descrita por Goñi *et al.* (1997). Para ello se separaron 50 mg de muestra y se le adicionaron 20mL de agua en un matraz, el cual se agitó durante 10 min a T ambiente. Posterior a ello se cubrió el matráz con papel aluminio y adicionaron 100µL de α-amilasa termoestable a la solución y se llevó a un baño a 95 °C con agitación constante durante 20 min, una vez pasado el tiempo se dejó enfriar el matráz a T ambiente y su contenido fue aforado a 100 mL. El siguiente paso fue colocar en un tubo Eppendorf color ámbar colocar 1 mL de solución amortiguadora de acetato (pH 4.75 y 0.4 M), 25 µL de amiloglucosidasa y 300 µL de muestra. La solución que resulte de este proceso se llevó a incubar bajo agitación constante a 60 °C durante 30 min. Finalmente, dichas muestras se dejaron a T ambiente y se centrifugaron a 1000 rpm durante 5 min. Y se realizaron 2 lavados de 1 mL con agua destilada. Los sobrenadantes de la muestra fueron recuperados y aforados a 10 mL con agua. Para la medición de las muestras se realizaron con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de AD (\%)} = \frac{(\frac{\mu\text{g}}{\mu\text{L}} \text{ de glucosa}) (\text{volumen})(\text{dilución}) (0.9) (100)}{\mu\text{g de muestra (mg)}}$$

V.4.6. Almidón resistente

La determinación de almidón resistente se utilizó la metodología propuesta por Soto. (2010). Se pesaron 100 mg de una muestra molida de harina y se colocaron en un tubo de centrifuga de 50 mL. Se agregaron 10 mL de buffer KCl-HCl a pH 1,5 (ajustar el pH con 2 M HCl ó 0,5 M NaOH). Y también 0.2 mL de solución de Pepsina (1g de Pepsina /10 mL de buffer KCl-HCl pH 1,5). Se mezcló, se dejó en baño de agua a 40 °C por 60 min con un constante batido. Se dejó enfriar a temperatura ambiente. Y posterior a ello se agregaron 9ml de buffer 0,1 M Tris-maleato a pH 6,9 (ajustar el pH con 2 M HCl ó 0,5 M NaOH). Y a esta mezcla agregó 1 ml de α -amilasa (40 mg de α -amilasa / ml de buffer 0,1M Tris – maleato a pH 6,9), se mezcló nuevamente, se incubó durante 16 horas en el baño de agua a 37 °C con agitación constante. Una vez terminado el tiempo se centrifugaron las muestras por 15 min a 3000; desechando los sobrenadantes. Se lavó al menos una vez con 10 ml de agua destilada, centrifugó y nuevamente se desecharon los sobrenadantes. Posterior a ello se agregaron 3 mL de agua destilada al residuo y se humedeció la muestra cuidadosamente. Se le agregaron 3 ml de 4 M KOH, mezclaron y dejaron por 30 minutos a temperatura ambiente, en todo este proceso se batió contantemente. Una vez pasado el tiempo se agregaron 5,5 ml de 2 M HCl y 3 mL buffer 0,4 M de acetato de sodio – ácido acético pH 4,75 (ajustar pH con 2 M HCl o 0,5 M NaOH). Se agregaron 80 μ L de enzima Amiloglucosidasa (3,5 mg de Amiloglucosidasa x ml de sulfato de amonio 3.2 M.), mezclaron y dejaron por 45 min en baño de agua a 60 °C con agitación constante. Se centrifugaron por 15 min a 3000 g, se recolectaron los sobrenadantes y se guardaron en frascos volumétricos. Se lavaron residuos con 10 mL de agua destilada, se centrifugaron nuevamente y combinaron los sobrenadantes con lo que se obtuvo anteriormente. Se preparó una curva estándar de solución líquida de glucosa (10 – 60 ppm). Y se colocó 1 ml de agua destilada, 1 mL de muestra y 1 mL de los estándares y se pusieron en diferentes tubos de ensayo. Se agregaron 2 ml del reactivo de glucosa (GOD-POD)

(5,6 g deglucosa oxidasa / peroxidasa en 100 ml de buffer tris-fosfato pH 7.0 a 0,5 M) a cada tubo de ensayo. Se mezcló y dejó por 30 minutos en un baño de agua a 37 °C. La absorbancia se leyó a 500 nm por 5-45 min. Finalmente, se calibró el espectrofotómetro a cero con el blanco y se utilizó la curva de glucosa anhidra.

$$\text{Porcentaje de AR (\%)} = \frac{\mu\text{g de glucosa} * 45\text{mL de aforo} * 0.9 * 100}{1000 * \text{mg de la muestra}}$$

V.4.7. Cuantificación de compuesto fenólicos

Para la cuantificación de fenoles totales se utilizó la metodología desarrollada por Singleton y Rossi (1965). Se agregaron 500 μl del extracto metanólico, 250 μl de agua grado HPLC y 125 μl del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10) a un vial ámbar, enseguida se agitó en vórtex por 5 minutos. Consecutivamente se agregaron 625 μl de Na_2CO_3 (70 g/L) y se incubó por 2 horas en la oscuridad. La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 760nm. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos con una curva de calibración de ácido gálico (0-80 $\mu\text{g/mL}$). El contenido de fenoles totales se expresó como mg equivalentes de ácido ferúlico por gramo de muestra.

V.4.8. Cuantificación de flavonoides

La cuantificación de flavonoides se desarrollará por el método descrito por Oomah *et al.* (2005). Se mezclará 50 μl de extracto metanólico con 180 μl de agua destilada y 20 μl de una solución de 2-aminoetildifenilborato (10g/L). Se utilizará un espectrofotómetro lector de placa y se monitoreará a una longitud de onda de 404 nm. Las absorbancias que se obtengan se compararán con una curva estándar de rutina. El contenido de flavonoides se expresará equivalentes de quercetina en $\mu\text{g/mg}$.

V.4.9. Extracción de antocianinas totales

Para la extracción de antocianinas se siguió la metodología realizada por Nankar *et al.* (2016) con algunas modificaciones. Se pesaron 0.5 g de muestra molida y tamizada, se le adicionaron 4 mL de metanol acidificado con HCL al 1%, se aplicaron ultrasonido por 10 minutos y se centrifugaron a 4000 rpm por 15 min a una T de 0°C. Posterior a ello se adicionaron 3 mL de metanol acidificado y se le aplicó ultrasonido por 10 min. Se volvió a centrifugar a 4000 rpm por 15 minutos a T de 0°C. Se agregaron 3 mL de metanol acidificado y finalmente se colocaron en recipientes ambar y se refrigeraron. Debe quedar un volúmen final de 10 mL.

V.4.10. Cuantificación de antocianinas totales

Para la cuantificación de antocianinas se siguió la metodología realizada por Nankar *et al.* (2016) con algunas modificaciones de Maltabar (2020). Se realizaron dos buffers para la cuantificación. El primero: un buffer de cloruro de potasio con un pH=1 para ello se pesaron 1.864 g de cloruro de potasio y se mezclaron con 980 mL de agua destilada usando un agitador magnético. Posteriormente se ajustó el pH a 1 con HCl concentrado y se aforó finalmente con 1 L de agua destilada. El segundo: buffer de acetato de sodio con un pH= 4.5 para ello se pesaron 32.812 de acetato de sodio y se mezclaron en 980 mL de agua destilada; el pH se ajustó a 4.5 y se aforó a 1 L con agua destilada. Se realizó por duplicado y se añadió de la siguiente forma a los tubos eppendorf:



1ml extracto de
muestra
+
2 ml buffer de
ClK



1ml extracto de
muestra
+
2 ml buffer de
AcNa

Se vació cada réplica en una cubeta para espectrofotómetro y se medirá a 530nm. El contenido total de antocianinas (TAC) fue calculado en base a la ley de Beer y los valores TAC se expresaron como equivalentes de 3-glucósido de cianidina como se muestra en la ecuación:

$$TAC = (A \times MW \times DF \times 103) / (\epsilon \times l) \quad (1)$$

Donde:

A= (A510 -A700) pH=1,0 – (A510 – A700)

M=masa molar de cianidina 3-glucósido=449.2g/mol

DF=factor de dilución (1 en 50)

10 a la 3=factor para convertir g a mg

ϵ =absortividad molar =26 900L mol.cm

10 a la 3 = factor para convertir g a

l= longitud del paso de celda = 1

V.4.11. Extracción e identificación de carotenoides

La extracción de carotenoides se realizó mediante la metodología propuesta por Moreno-Escamilla *et al.* (2017). Se pesaron 50 mg (0.05g) de muestra en un tubo falcon de 50 mL, se le adicionaron 10 ml de acetona, se llevó al vortex por unos segundos hasta que todo este integrado, se sonicó por 20 minutos cubierto de la luz, pasado dicho tiempo se centrifugó por 10 minutos a 2500 rpm a una T de 20°C. Dichos pasos se repitieron 2 veces más, recuperando en las 3 ocasiones el sobrenadante junto; el sobrenadante fué empleado para las lecturas. Si se utilizó placa de 96 pozos se añadirán 250 μ l por triplicado de cada extracto; si se mide con celda de cuarzo se añadió 1 ml de cada muestra y se realizó la lectura a 474 nm. Para la determinación de los mg de β -caroteno/mg muestra se realizará la siguiente ecuación:

$$\text{mg de } \beta\text{-caroteno/mg muestra} = (A \cdot V \cdot DF \cdot 10) / (Y \cdot E \cdot \text{cm})$$

Donde:

A= Absorbancia

V= volumen (30 mL)

DF=Factor de dilución

E % cm= Coeficiente de extinción de β -caroteno

V.4.12. Capacidad antioxidante por el método ABTS

La determinación de la capacidad antioxidante se llevó a cabo mediante la metodología realizada por Nenadis *et al.* (2004). En una placa con 96 pozos en donde se les añadió 0.02 mL de extracto metanólico (expresado como 100 μ M equivalentes de (+) - catequina) y se agregaron 230 μ l de una solución preparada de ABTS (5 ml de una solución acuosa de ABTS 7mM y 88 μ l de a solución de persulfato de sodio (K₂S₂O₈) a 140 mM para obtener una concentración final de 2.45 mM, después de almacenarla en obscuridad durante 16 h, la solución deberá ser diluida en etanol hasta que el valor inicial de absorbancia sea 0.7 ± 0.5 a una longitud de onda de 734 nm). El extracto metanólico y los estándares fueron preparados por triplicado. La placa se leyó al tiempo 0, 10, 20, 30, 60, 90 y 120 min a 520 nm en un espectrofotómetro. La placa se mantuvo cubierta y en la obscuridad a temperatura ambiente entre lecturas. La capacidad antioxidante se expresó como μ g equivalentes de Trolox (TEAC).

V.4.13. Capacidad antioxidante por el método DPPH*

La determinación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH* se realizó mediante lo realizado por Brand-Williams *et al.* (1995) modificado por Fakumoto y Mazza. (2000) adaptado para su uso en microplaca. En una plaza de 96 pozos se añadieron 0.02 ml de extracto metanólico (expresado como 100 μ M equivalentes de (+)- catequina) y 0.2 ml de solución de DPPH* (150 μ M). El extracto metanólico y los estándares fueron preparados por triplicado. La placa se leyó al tiempo 0, 10, 20, 30, 40 ,60, 90 y 120 min a 520 nm en un espectrofotómetro. La placa se mantuvo cubierta y en la oscuridad a temperatura ambiente entre las lecturas. La actividad antirradical (ARA) se calculó como porcentaje de inhibición de DPPH y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ARA} = 100 \cdot (1 - A \text{ muestra} / A \text{ control})$$

Donde:

A muestra= la absorbancia de la muestra a 520nm

A control= la absorbancia del control (ausencia de antioxidante)

V.4.14. Determinación de compuestos fenólicos por HPLC

Para la determinación de HPLC se utilizó lo reportado mediante Figueroa *et al* (2018). Para ello se realizó una reconstitución de los extractos etanol-agua (1-1), la cual fué filtrada con jeringa y acrodiscos con un tamaño de poro de 0.2 μm . Los maíces fueron analizados mediante un cromatógrafo de líquidos de solución rápida Agilent serie 1260 acoplado a un detector de diodos. La separación cromatográfica se realizó en una columna Zorbax Eclipse Plus C18 (4,6 \times 150 mm, 1,8 μm) a un caudal de 0,5 mL/min utilizando un volumen de inyección de 10 μL . Las fases móviles fueron agua acidificada (0.1 % ácido fórmico, v/v) y acetonitrilo como solvente A y B, respectivamente. Se usó el siguiente gradiente lineal de varios pasos para lograr una separación eficiente: 0,0 min [A:B 95/5], 25,0 min [A:B 50/50], 33,0 min [A:B 0/100] y 36,0 min [A:B 95/5]. Finalmente, las condiciones iniciales se mantuvieron durante 4 min al final de cada análisis para equilibrar el sistema antes de la siguiente inyección. La temperatura de la columna y el compartimiento del muestreador automático se estableció a 25 $^{\circ}\text{C}$ y 4 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

V.5. Propiedades tecnofuncionales de la harina de maíz

V.5.1. Determinación de color mediante Cie-Lab en harinas de las tres variedades

Se realizó la determinación del color mediante la metodología realizada por McGuire. (1992). Se colocó la harina de las tres variedades de maíces criollos en una caja Petri con superficie y laterales blancos mediante el sistema CIEL*a*b*

(International Commission on Illumination, Viena) ubicando el lente sobre la muestra; se empleó un colorímetro Konica Minolta® CM5100-W con condiciones del iluminante (D65) y observador (10°), el cual se calibró colocando el equipo frente a una placa de calibración de color blanco y se utilizará el software Espectra Magic NX CM 5100 W®

Donde:

L*: valores de luminosidad (claridad u oscuridad)

C: saturaciónh: tono

+a*= variación roja

-a*=verde

+b*=amarillo

-b*=azul

V.5.2. Capacidad de absorción de agua (CAAS)

La capacidad de absorción de agua subjetiva (CAA) se obtuvo de acuerdo a Bedolla *et al.* (1983), con algunas modificaciones, de la siguiente forma: se pesaron 100 g de harina de maíz de cada variedad, se colocó en un recipiente de acero inoxidable, se agregó agua pura a temperatura tibia utilizando una bureta de 50 ml de capacidad, se mezcló manualmente hasta obtener una consistencia de masa adecuada para elaborar tortilla. La capacidad de absorción de agua se expresó en mililitros de agua a temperatura ambiente (25°C), por gramo de harina de maíz de cada variedad. La prueba se realizó por triplicado.

V.5.3. índice de absorción de agua (IAA)

El índice de absorción de agua (IAA) se realizó con el método descrito por Anderson *et al.* (1969). Se agregaron 30 ml de agua destilada en un tubo de 50 ml de muestra de 2.5 g (base seca) de harina de maíz de cada variedad, posteriormente se agitó constante de 70 rpm por 30 min a 30°C. la suspensión se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El índice de absorción de agua

(IAA), se expresó como la relación entre el peso del residuo después de la centrifugación y el peso seco de la muestra, al cual se le restó el peso del residuo de la evaporación del sobrenadante. El resultado se expresó como gramos de gel entre gramos de harina con la siguiente ecuación:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso de residuo de la centrifugación(g)} - \text{Peso del residuo de evaporación(g)}}{\text{Peso de la muestra seca(g)}}$$

Donde IAA = Índice de absorción de agua

V.5.4. índice de solubilidad en agua (ISA)

El índice de solubilidad de agua (ISA) en las muestras se realizó siguiendo el método reportado por Anderson *et al.* (1969). Este parámetro se evaluó pesando los sólidos obtenidos después de evaporar en una estufa el sobrenadante de las muestras donde se determinó el índice de absorción de agua. El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresó como la relación entre el peso del residuo de la evaporación (g) y el peso seco de la muestra (g). Se realizaron tres determinaciones por tratamiento y el ISA se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso del residuo evaporado} * 100}{\text{Peso de la muestra seca}}$$

Donde ISA = Índice de solubilidad de agua

V.6. Compuestos Antinutricios

V.6.1. Ácido Fítico

La determinación de ácido fítico se realizó mediante lo propuesto por Lolas & Markakis (1977). Se tomaron 2 g de muestra de cada variedad y se le adicionaron

100 mL de HCl al 2%, la muestra se sometió a agitación constante por 3 h, posteriormente se filtró en un en un papel filtro Wahatman No. 1 con ayuda de una bomba de vacío. Se tomaron de cada muestra 50 mL del filtrado y se le adicionaron 10 mL de agua destilada y 10 mL de tiocianato de amonio (NH₄SCN) al 3%, posteriormente se tituló con cloruro de hierro (FeCl₃, 0.00195g de Fe) se tituló hasta observar un cambio de coloración a naranja. El porcentaje de ácido fítico se expresó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ácido Fítico} = \text{Vol. de titulación} \times 1.19 \times 100$$

VI. Elaboración de un alimento nutraceutico (Pinole tradicional mexicano)

Para la elaboración del pinole se seleccionó una metodología tradicional con la finalidad de que sea replicable, manteniendo las costumbres ancestrales de su producción. Para ello se siguió lo descrito por Arcos.(2021) con modificaciones del recetario “Hijos del Maíz”. Utilizando por cada kilo de granos de maíz limpio, 1 varita de canela (5 g) y de 1/2 a 1 cono de piloncillo grande.

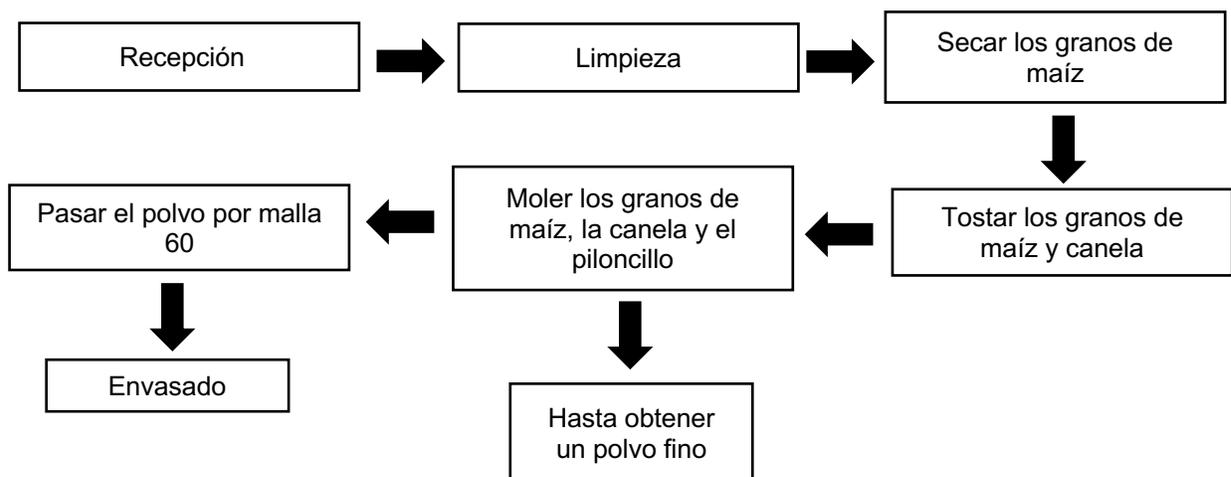


Figura 12. Proceso tradicional de elaboración de pinole tradicional

Arcos (2021)

VII. Sensorial Discriminativo

La prueba de análisis sensorial se basó en que los participantes degusten 2 pruebas de pinole tradicional mexicano; uno comercial y otro elaborado con maíz negro proveniente de Coscomatepec de bravo Veracruz. Se les otorgó un cuestionario donde colocaron su edad, sexo, si consumen derivados de maíz, si consumen pinole, dos espacios para tachar el pinole de su elección y un espacio para observaciones. El rango de edad fue de 20 años en adelante, sin distinción de género.

Evaluación sensorial

Prueba sensorial discriminativa

Edad _____ Sexo () F () M Fecha _____

¿Consumes habitualmente derivados de maíz? Si ___ No ___

¿Consumes pinole habitualmente? Si ___ No ___

Indicaciones: Frente a usted hay dos muestras de **pinole tradicional mexicano**, tome su tiempo y pruebe las muestras en el orden indicado. Señala con una **X** la muestra de su preferencia.

Muestra: 241 _____ 322 _____

Comentarios _____

VIII. Análisis Estadístico

Como diseño experimental se realizará un diseño unifactorial 1³. Los resultados obtenidos del análisis estadístico se expresarán como la media \pm la desviación estándar como medida de dispersión de los datos. Para los datos paramétricos, se hará una prueba de análisis de varianza (ANOVA), donde las diferencias se analizarán por el método de Tukey-Kramer y T Student's, estableciendo un nivel de significancia en $p < 0.05$.

IX. Resultados y Discusión

IX.1. Caracterización física

IX.1.1. Peso, largo, ancho y peso de mil granos (PMG)

Las propiedades físicas de los granos se evalúan dentro de su estado natural (no procesados o enteros) para la identificación morfológica de algunas semillas; la mayoría de los cereales tienden a ser esféricos, cónicos o redondeados; algunas de las características más relevantes son el ancho, largo, espesor y peso de mil granos (PMG) (Ponce García., 2019).

En la figura 13 se muestran los granos utilizados para la caracterización física y en la Tabla 5 los resultados obtenidos, donde se observa que no existe diferencia significativa en el ancho en las tres variedades. El maíz negro obtuvo el mayor largo y espesor; seguido del maíz amarillo y posteriormente el maíz blanco. Dichos parámetros pueden variar dependiendo de diversos factores ambientales como el riego, distribución de las semillas, nutrición de la planta; así como factores propios de la semilla como la variedad de maíz que se utilice (Mansilla S., 2018).



Figura 13. 30 granos de maíz pigmentados de las tres variedades utilizados en la caracterización física.

Por otro lado, el PMG representa la densidad o dureza que pueden tener los granos al azar, se encontró diferencia significativa en las tres variedades. El maíz amarillo destacó por ser el de mayor peso, seguido del maíz blanco y maíz negro. Esto puede ser debido a la forma y tamaño, la alta o baja porosidad que se encuentra en los granos (granos dañados por plagas o sequías), la densidad del grano que a su vez se relaciona con la humedad, la composición química (composición del endospermo) constituido por el 80% aproximadamente (Olán *et al.*, 2012).

Arriaga-Pérez *et al* (2019), reportaron que dependiendo al acomodo de gránulos de almidón y matriz proteica existen diferentes tipos de endospermos como lo es el vítreo y harinoso; dependiendo a eso puede tener un mayor peso o menor peso el grano de maíz. Tanto el tamaño como el peso de mil granos representan un parámetro de calidad para la industria ya que el rendimiento final que tengan los granos es un determinante para utilizarlos como materia prima en la industria alimentaria.

Tabla 4 Caracterización física de tres variedades de maíz criollo.

Maíz criollo variedad cónica	Ancho*	Largo*	Espesor*	PMG**
Blanco	8.93 ± 1.15	14.09 ± 1.0 ^c	3.81 ± 0.5 ^c	348.9 ± 0.77 ^c
Amarillo	8.94 ± 0.54	15.04 ± 0.67 ^b	4.50 ± 1.10 ^b	395 ± 0.46 ^a
Negro	8.96 ± 0.51	16.03 ± 0.45 ^a	4.74 ± 0.4 ^a	378.08 ± 0.76 ^b

Cada valor representa la media ± la desviación estándar de tres repeticiones de la misma cosecha. ** expresado en g; * expresado en mm. PMG (peso de mil granos). Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

IX.1.2. Color en granos y harinas de maíz

El color en los alimentos es una cualidad organoléptica, apreciada por medio del sentido físico de la vista (Bello, 2008). Para obtener el color objetivamente para ello se realizó la determinación de color mediante Cie-Lab (Salinas-moreno *et al.*, 2021). Los colores característicos de los maíces pigmentados son relevantes para la producción de alimentos funcionales, debido a que se relaciona con el contenido de compuestos bioactivos con efectos benéficos a la salud tales como: prevención de

cáncer y actividad antirradical, por lo que se les puede considerar como alimentos nutraceuticos (Salinas Moreno *et al.*, 2017). El contenido de estos pigmentos en los granos enteros tales como el maíz se encuentra principalmente en la aleurona y pericarpio; en su mayoría con colores púrpura, azul y rojo por ello ricos en antocianinas (Wang *et al.*, 2016). El promedio de la medición del color en pericarpio se muestra en la Figura 14. El maíz blanco mostró una luminosidad (L^*) alta debido a que no posee colores intensos, con tonos verdes ($-a^*$) y amarillos ($+b^*$), así como baja saturación ($Croma^*$) estos valores eran de esperarse debido a la tonalidad del grano blanco. Para el maíz amarillo se obtuvo luminosidad alta (L^*), tonos rojizos ($+a^*$) y amarillos ($+b^*$), una saturación ($Croma^*$) intermedia debido al color que es más intenso. El maíz negro a diferencia de los anteriores posee una luminosidad (L^*) baja debido a que el color es oscuro, contiene colores (morados, azulados, rojizos y majentas), con tonalidades verdes ($-a^*$) y amarillas ($+b^*$), así como una saturación ($Croma^*$) más profunda del color, posee subtonos grises que posee nuestra matriz. Se determinó de igual manera el ángulo de tono o Hue, el cual nos indica finalmente el color definitivo que va de 0° a 360° . Donde valores que van de 0° a 90° indican una tendencia del color rojo al amarillo, de 90° a 180° de amarillo a verde, de 180° a 270° de verde al azul y de 270° a 360° de azul al rojo (Nielsen, S., 2010).dichas diferencias se pueden observar en la Tabla 6.



Figura 14. 10 maíces pigmentados de cada variedad utilizados para obtener el color y color definitivo mediante parámetros de Ciel-lab*.

Tabla 5 . Color de los granos de tres variedades de maíz criollo

mediante Cie-Lab*

Maíz criollo variedad cónica	L*	a*	b*	Hue*	Croma *
Blanco	73.07 ± 22.34 ^a	-0.279 ± 0.57 ^b	22.60 ± 2.40 ^b	90.81 ± 1.65 ^a	22.60 ± 2.3 ^b
Amarillo	74.69 ± 3.06 ^b	10.83 ± 2.88 ^a	43.52 ± 4.68 ^a	74.69 ± 3.06 ^c	45.33 ± 4.97 ^a
Negro	34.62 ± 8.45 ^c	-0.40 ± 1.42 ^b	0.34 ± 2.24 ^c	84.41 ± 1.64 ^c	2.00 ± 1.71 ^c

Cada valor representa la media ± la desviación estándar de tres repeticiones de la misma cosecha. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

Adicional a lo anterior, se determinó el color en las harinas de las tres variedades de maíces criollos los valores se observan en la Tabla 7, estas fueron utilizadas para la caracterización química y nutracéutica con la intención de observar el comportamiento y cambio de coloración de los granos de maíz de cada variedad una vez molidos. En la tabla 7 se puede observar que la harina de maíz blanca aumentó su luminosidad (L*) debido al color tan claro que presentaba el grano y una vez molido se volvió aún más claro, posee tonalidades rojizas (+a*) y amarillas (+b*). En la harina de maíz amarillo vemos tendencia de igual manera al aumento de luminosidad (L*) por la molienda, tonalidades rojizas (+a*) y amarillas (+b*). En la harina de maíz negro presentó por otro lado una disminución en la luminosidad (L*) convirtiéndose de tonalidades moradas/negras a tonalidades lilas, con parámetros positivos bajos tonalidades rojizas (+a*) y amarillas (+b*). Se observa una difuminación de la saturación (Croma) debido a que en la molienda se utiliza todo el grano de maíz y al ser combinado con las demás partes del maíz como endospermo, germen y pedicelo las tonalidades muy fuertes tienden volverse colores pasteles, como se puede observar en la Figura 15. En cuanto al parámetro llamado ángulo de tono o Hue se puede ver que existe diferencia significativa en las tres variedades, tomando en cuenta lo antes descrito por Nielsen, S., (2010) para poder observar la tonalidad final de las harinas de maíz.



Figura 15. Color de harinas de tres variedades de maíz criollo mediante Cie-Lab* y color definitivo de acuerdo al programa Nixsensor.

Tabla 7. Color de las harinas de tres variedades de maíz criollo mediante Cie-Lab*

Maíz criollo variedad cónica	L*	a*	b*	Hue*	Croma *
Blanco	87.48 ± 0.26 ^a	0.04 ± 0.03 ^c	11.66 ± 0.25 ^b	89.7 ± 0.14 ^a	11.66 ± 0.25 ^b
Amarillo	83.99 ± 0.25 ^b	2.0 ± 0.05 ^a	25.02 ± 0.48 ^a	85.41 ± 0.48 ^b	25.1 ± 0.48 ^a
Negro	73.63 ± 0.40 ^c	1.03 ± 0.02 ^b	0.41 ± 0.03 ^c	21.87 ± 0.02 ^c	1.11 ± 0.02 ^c

Cada valor representa la media ± la desviación estándar de tres repeticiones de la misma cosecha. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

IX.2. Dureza de grano

IX.2.1. Índice de flotación, disección de grano y tamaño de partícula

Se realizó la disección de grano dividiendo pericarpio, endospermo vítreo, endospermo harinoso y pedicelo (ver Figura 17) con el objetivo de conocer las proporciones de cada variedad. Se aprecia en la Tabla 10 que existen diferencias significativas entre las tres variedades en las cuatro secciones.

El maíz blanco obtuvo mayor porcentaje en pericarpio, que corresponde a la parte externa o el recubrimiento del grano. En cuanto al contenido de endospermo puede

dar información para determinar la dureza o suavidad que presentan; existen dos tipos de endospermos: córneo (duro) y harinoso (suave).

En este sentido se puede resaltar que el maíz amarillo presentó mayor porcentaje de endospermo vítreo, seguido del maíz blanco y el negro. Este tipo de endospermo se encuentra constituido por gránulos de almidón más pequeños y compactados hacia el exterior del grano. A diferencia del endospermo harinoso que contiene gránulos de almidón poco compactados y más cercanos a la parte central o hacia el germen (Singh, *et al.*, 2019); dichas diferencias se pueden apreciar en la Figura 18 en forma de ilustración. Por otro lado, el maíz negro presentó mayor contenido de endospermo harinoso, lo cual nos habla de la suavidad del grano de maíz.



ENDOSPERMO CÓRNEO

ENDOSPERMO HARINOSO

Figura 16. Imagen para poder observar el acomodo de los gránulos de maíz y red proteínica.

Relacionando un poco estos resultados con el índice de flotación (Ver Tabla 9) se puede observar la misma tendencia en donde el maíz negro presentó diferencia significativa y esto debido a las microestructuras que presentan espacios aéreos dentro de los mismos granos y por lo tanto menor densidad, lo que equivale a menores tiempos de cocción para ser consumido (García, A., & Vázquez, C. *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2013). Si se clasificaran de acuerdo a lo propuesto por Gómez (1993), el maíz negro se identificaría como “maíz suave”; a diferencia del maíz amarillo que obtuvo 0% clasificándolo como “maíz muy duro” y el maíz blanco presentó el 20 % siendo un “maíz duro”, las clasificaciones se pueden observar en la Tabla 8.

En cuanto al pedicelo y germen; el maíz amarillo presentó diferencia significativa; esto se relaciona con el porcentaje de lípidos debido a que el germen es la zona

con mayor contenido de grasa (ácidos grasos como linoleico y oleico) y bajo contenido de almidón (Singh, *et al.*, 2019).



Figura 17. Disección de grano de maíz criollo pigmentado en partes morfológicas.

Tabla 8. Clasificación de dureza en granos de maíz

Índice de Flotación (%)	Clasificación
0 – 12	Maíces muy duros (MD)
13 – 37	Maíces duros (D)
38 – 62	Maíces intermedios (I)
63 - 87	Maíces suaves (S)
88 - 100	Maíces muy suaves (MS)

Fuente: Gomes (1993).

Tabla 9. Índice de Flotación de tres variedades de maíz criollo pigmentado

Maíz criollo variedad cónica	Índice de Flotación
Blanco	20 ± 10^b
Amarillo	$0 \pm 0c$
Negro	80 ± 5.77^a

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Expresado en %. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

Tabla 10. Disección grano de tres variedades de grano de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	Pericarpio*	Endospermo Vítreo*	Endospermo Harinoso*	Pedicelo y Germen*
Blanco	6.21 ± 0.19 ^a	44.01 ± 1.53 ^b	41.57 ± 0.57 ^b	8.19 ± 0.85 ^b
Amarillo	5.77 ± 24.40 ^b	53.65 ± 2.96 ^a	30.38 ± 3.17 ^c	10.19 ± 0.55 ^a
Negro	5.54 ± 0.65 ^c	6.21 ± 0.57 ^c	82.76 ± 1.32 ^a	5.54 ± 0.76 ^c

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones. Expresado en %. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

Se realizó un corte transversal de las tres variedades (Ver Figura 18), para apreciar los endospermos y germen de cada grano, donde a simple vista se puede corroborar los resultados antes mencionados. García-Lara *et al* (2019) informan en su investigación imágenes similares (Ver Figura 19) las obtenidas en la presente investigación, el maíz con mayor endospermo suave es el maíz negro, a diferencia del maíz blanco y amarillo que poseen en su mayoría endospermo vítreo.



Figura 18. Disección transversal del grano de maíz criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro).



Figura 19. Disección transversal de 3 variedades de grano de maíz criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro).

García-Lara *et al.*, (2019)

En cuanto al tamaño de partícula (Figura 20) se pasaron las harinas de maíz de cada variedad por 6 tamices (20, 30, 40, 50, 60 y 80), con la finalidad de identificar el posible uso que pueden tener. Cuando las harinas son muy finas se relacionan a masas con mayor cohesividad (mayor inflado, rollabilidad en la tortilla, entre otras).

Se observa que la mayor cantidad de harina de maíz blanco y amarillo se encuentran entre los tamices 20 al 40; el maíz negro por otro lado se encuentra mayoritariamente en los tamices 50 y 60, lo que puede indicar la harinosidad que presentan los maíces al ser molidos; como era de esperarse y por los resultados ya presentados anteriormente se sugiere al maíz negro como el maíz más suave de las tres variedades.

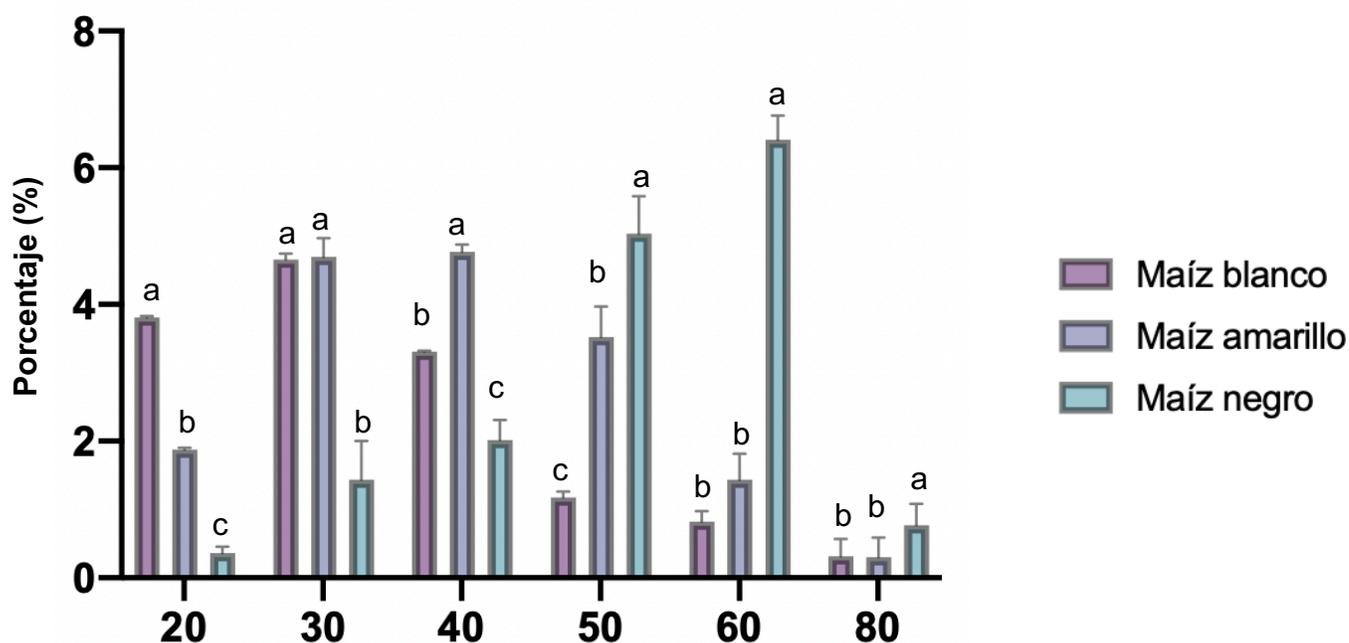


Figura 20. Tamaño de partícula

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Las barras con diferentes letras en el mismo tamiz son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

IX.3. Caracterización química

La composición química que se puede observar en la Tabla 11. Para el maíz blanco y amarillo presentaron el mayor porcentaje de proteína (6.63 ± 0.15 y 6.08 ± 0.08)

respectivamente y el maíz negro presentó menor cantidad (4.90 ± 0.20), siendo estadísticamente diferente que la variedad de maíz blanca y amarilla. Urango, (2018) reportó para proteína un intervalo 4.5 a 9.87 % en maíces pigmentados, por lo que los datos de este trabajo están dentro este rango. Las proteínas de maíz están conformadas por cerca del 54% por prolaminas, en su mayoría zeínas (proteínas de almacenamiento del grano) y gluteínas (40%) (De Blas Beorlegui *et al.*, 2019).

En cuanto a lípidos no se observó diferencia significativa entre las tres variedades; sin embargo, se ha reportado que maíces que poseen más del 7% de lípidos pueden presentar potencial para producción de aceites, siendo los ácidos oleico, linoleico y palmítico los principales de este cereal (Alezones *et al.*, 2010; Singh, *et al.*, 2019).

En cenizas el maíz negro obtuvo mayor porcentaje, seguido del maíz amarillo y negro con 1.5 ± 0.13 , 1.36 ± 0.25 y 1.49 ± 0.01 , respectivamente, cabe destacar que éstas representan los minerales existentes en la matriz. Se ha reportado hasta 1.36 % para maíces criollos como indicaron que el ambiente ejerce una fuerza importante en la acumulación de minerales (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2019). Otros autores Bondi *et al.*, (2008) sugieren que se presenta mayor traslocación, demanda de la planta o almacenamiento de minerales en maíces pigmentados como rojo y azul, factores como fertilidad del suelo, área en la que se plantan, adición de nitrógeno, fósforo y zinc son relevantes para el contenido de minerales.

En la densidad calórica o valor energético de la matriz que está representada como el contenido de carbohidratos se encontró diferencia significativa para el maíz amarillo 82.17 ± 0.43 , a diferencia de maíz negro 81.47 ± 0.19 y blanco 81.19 ± 0.73 . Jacinto *et al.*, (2018) y Jocelyne *et al.*, (2020), informaron un contenido de 85% y 75% respectivamente, en harinas crudas de maíz. A pesar de eso, puede existir variabilidad en la composición química debido a la composición del suelo, prácticas agrícolas, uso de fertilizantes, factores genéticos de la planta y factores ambientales (Agama-Acevedo *et al.*, 2011; Jeuffroy & Oury., 2012).

Tabla 11. Contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos de

las tres variedades de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	Proteína	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos*
Blanco	6.63 ± 0.15 ^a	9.83 ± 0.02	1.25 ± 0.13 ^c	81.19 ± 0.73 ^b
Amarillo	6.08 ± 0.08 ^a	9.77 ± 0.05	1.36 ± 0.25 ^b	82.17 ± 0.43 ^a
Negro	4.90 ± 0.20 ^c	9.88 ± 0.009	1.49 ± 0.01 ^a	81.47 ± 0.19 ^b

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones de la misma cosecha expresadas en % de base seca. * por diferencia. Los valores con diferentes letras en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba Tukey con un $p < 0.05$.

IX.4. Contenido de compuestos fenólicos libres y capacidad antioxidante en tres variedades de maíz criollo pigmentado

IX.4.1. Contenido de compuestos fenólicos totales libres

Dentro de la caracterización nutracéutica de los variedades pigmentadas evaluadas en este trabajo; se puede resaltar al maíz negro ya que obtuvo diferencia significancia en fenoles totales (376.86 ± 4.65 mg de ácido ferúlico/100 g) y flavonoides (92.14 ± 5.2 µg de quercetina/100 g) con respecto al maíz amarillo y blanco (ver Tabla12); esto concuerda con lo reportado por Martínez *et al.*, (2019) quienes informan que el maíz negro tuvo mayor contenido de estos compuestos bioactivos y mayor capacidad antioxidante, con respecto al maíz rojo y amarillo que se encontraban dentro del estudio. Rodríguez Salinas (2019) encontró un contenido de 485.71 mg EAG/g en maíces negros, parámetro mucho más alto de lo obtenido en la presente investigación.

Las diferencias entre maíces pueden atribuirse a los diferentes factores ambientales tales como: genotipo, condiciones ambientales, exposición a factores dañinos como insectos y animales, absorción de agua y el estrés hídrico al cual estén sometidas las plantas (a mayor sequía o falta de agua la planta producirá mayor contenido de metabolitos secundarios). Metabólicamente estos metabolitos secundarios se producen a través de la transformación de L-fenilalanina a ácido trans-cinámico (Salgado-Chávez *et al.*, 2020; González-Esquinca *et al.*, 2019).

Así mismo, se destaca que el maíz negro fue la única variedad cuyo contenido de antocianinas totales estuvo por arriba del límite de detección (19.81 ± 2.67 mg de 3-

glucósido de cianidina/100 g) dentro del límite de detección de la metodología utilizada.

Martínez-Martínez *et al.*, (2019) reportaron valores de contenido de antocianinas para maíces de testa oscura valores de hasta 37.5 mg de 3GC/100 g; dichos valores más altos que los encontrados en esta investigación.

Las antocianinas generan los pigmentos tan característicos de los maíces criollos pigmentados (estructura molecular en las posiciones 3 y 5 de su ciclo); responsables de los pigmentos que van de colores desde magentas, negros, morados y azúles. Debido a ello pueden presentar un potencial importante para la obtención de colorantes naturales, aplicaciones farmacéuticas o cosméticas por su contenido en compuestos bioactivos, impulsando su utilización y aprovechamiento (Loarca-Piña *et al.*, 2019; Peñarrieta *et al.*, 2014). Sin embargo, la estabilidad de las antocianinas es dependiente de pH y alguno de ellos son termolábiles (Tuanama & Smith., 2019). Estos pigmentos se crean en la última etapa de la planta (fase de llenado), es por ello que los factores ambientales pueden llegar a alterar el color y el contenido final de estos compuestos (Martínez-Martínez *et al.*, 2019).

En cuanto el maíz amarillo fue el único maíz que presentó carotenoides (0.50 ± 0.27 mg β -Caroteno/mg), con un valor bajo comparado con otros estudios que han reportado hasta 67.4 mg β -Caroteno/mg (Suriano, *et al.*, 2021). Sin embargo, otros autores como Žilic, S & Akilloğlu., (2012), reportaron un contenido de 0.70 ± 0.14 en maíces amarillos y 2.42 ± 0.30 en maíces naranjas; estos parámetros concuerdan un poco más con lo obtenido en la presente investigación. Las diferencias pueden atribuirse a que son genotipos sembrados en diferentes zonas; se ha reportado que los carotenoides pueden ser muy susceptibles a la luz y temperatura por lo cual se pueden perder en el almacenamiento o preparación (Salinas Moreno *et al.*, 2008).

Los maíces con tonalidades amarillas y blancas son de los más comercializados; debido a que los maíces pigmentados no se siembran y producen en muchas partes.

Tabla 12. Contenido de fenoles, flavonoides, antocianinas totales de

las tres variedades de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	Fenoles totales α	Flavonoides totales β	Antocianinas totales γ	Carotenoides σ
Blanco	241 \pm 3.99 ^b	63.56 \pm 1.09 ^c	>LD	>LD
Amarillo	249.78 \pm 1.97 ^b	84.91 \pm 2.02 ^b	>LD	0.52 \pm 0.25
Negro	376.86 \pm 4.65 ^a	92.14 \pm 5.28 ^a	19.81 \pm 2.67	>LD

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. α mg de ácido ferúlico/100 g muestra; β μ g de quercetina/100 g; γ mg de 3-glucósido de cianidina/100 g de muestra; σ mg β -Caroteno/mg muestra; >LD (menos del límite de detección). Los valores con diferentes letras en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba Tukey con un $p < 0.05$.

IX.4.2. Contenido de compuestos fenólicos libres por HPLC

El contenido de compuestos fenólicos libres por HPLC se muestra en la Figura 16. En el maíz blanco se encontró como compuesto mayoritario al ácido gálico (293.12 mg/ 100 g), seguido por el ácido ferúlico (41.23 mg/ 100 g) y quercetina (23.19 mg/ 100 g). En el maíz amarillo se obtuvo quercetina mayoritariamente (544.09 mg 100/ g), ácido hidroxifenilacético (28 mg/ 100 g), ácido cumárico (19.68 mg/ 100 g) y ácido ferúlico (13.68 mg/ 100 g). En el maíz negro se encontraron la mayor cantidad de compuestos fenólicos, entre ellos mayoritariamente el ácido ferúlico (354.60 mg 100 g), quercetina (451.90 mg/ 100 g), catequina (104.77 mg/ 100 g), ácido hidroxifenilacético (136.20 mg/ 100 g), ácido cumárico (13.54 mg/ 100 g).

En cuanto a la extracción, la cantidad de compuestos dependerá de diversos factores como estructura química del compuesto (cantidad de grupos hidroxilo), temperatura, técnica de extracción (como maceración, ultrasonido, fluidos super críticos, por mencionar algunas), variedad de maíz, tamaño de partícula (a menor tamaño mayor de partícula, mayor superficie de contacto entre muestra y solvente) condiciones ambientales a las que estuvo sometido el maíz y solvente utilizado (Sarria-Villa *et al.*, 2021). En esta investigación y por lo mencionado en el apartado de metodologías se utilizó como solvente principal para las técnicas de detección de compuestos antioxidantes el metanólico.

Investigaciones de Pérez Najera *et al.*, (2013) sugieren que en la extracción de compuestos fenólicos, como flavonoides y ácidos fenólicos es factible utilizar con un solvente orgánico como el metanol debido a que es un disolvente polar, como la mayoría de estos compuestos.

Sin embargo, otros autores como Rivas Pérez *et al.*, (2017) informaron que una mezcla metanol 75% y 25% de agua con una maceración de 4 h logró una mayor extracción a diferencia de otros solventes como acetona, etanol y metanol. El agua y metanol comparten propiedades como que ambos tienen grupos hidroxilos; el metanol tiene la capacidad de formar puentes de hidrógeno con el agua volviéndose soluble en todas las proporciones, esto genera que exista una mayor extracción. La combinación mencionada podría propiciar el aumento de extracción de estos metabolitos y aumentar la capacidad antioxidante en futuras investigaciones.

Para la identificación y cuantificación de metabolitos secundarios por el método cromatográfico estandarizado en el grupo de trabajo, se utilizó una columna C18 de fase reversa, con una fase estacionaria (columna) hidrofóbica y un solvente polar como fase móvil. La fase móvil (solvente) tiene la finalidad de llevar la muestra a través de la columna separando mediante fuerzas químicas y físicas los compuestos del extracto o mezcla; desplazando los componentes con menor afinidad primero mediante la fase móvil (Suarez Ospina & Morales Hernández., 2018).

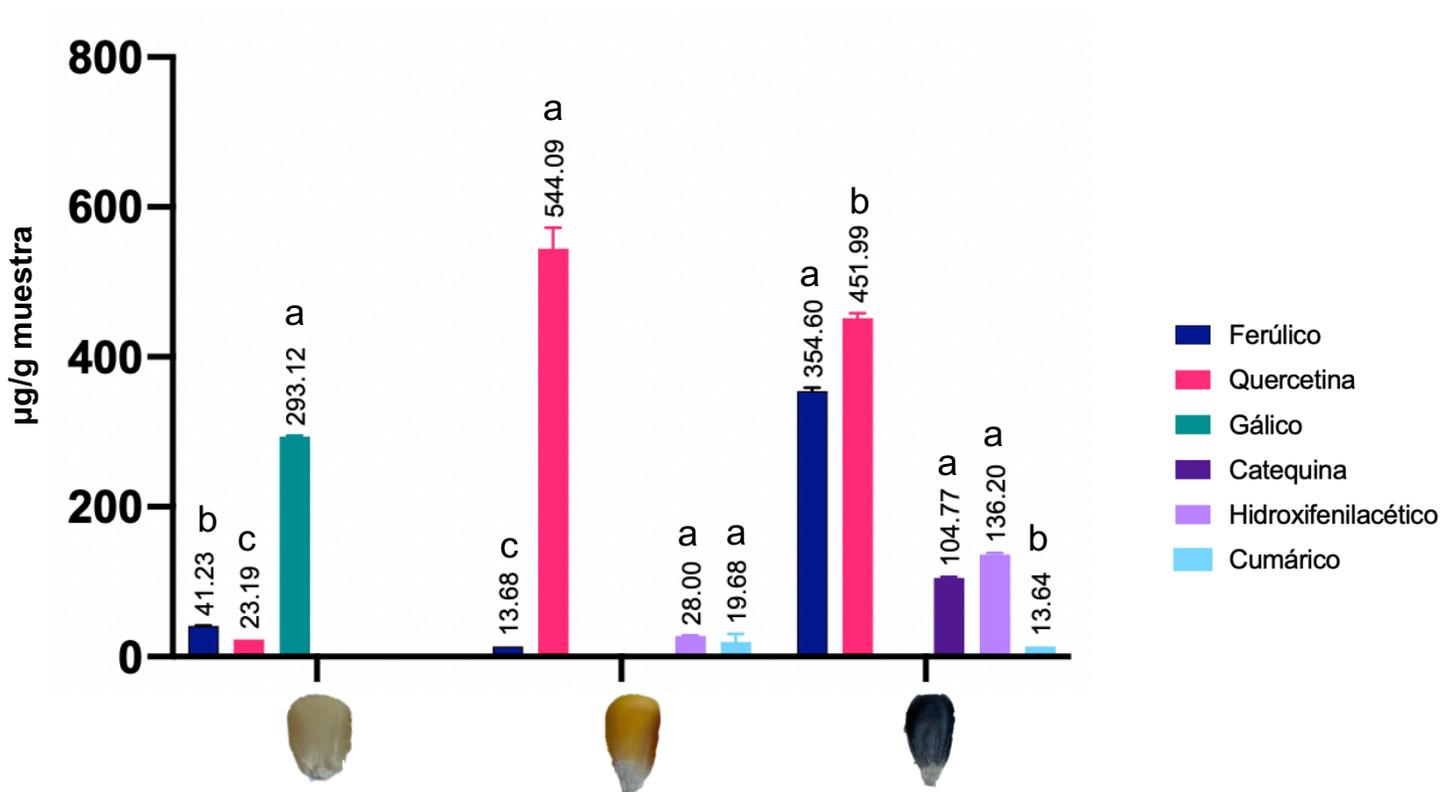


Figura 21. Compuesto de las tres variedades de maíz criollo pigmentado.

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Los valores con diferentes letras entre maíces son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

IX.4.3. Capacidad antioxidante

El DPPH o 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, es un radical libre; el ensayo se basa en la susceptibilidad del radical para reaccionar con compuestos antioxidantes cediendo un átomo de hidrógeno o electrón proporcionado por el antioxidante; esta capacidad antioxidante se puede apreciar en el cambio de colocación de violeta a amarillo (reducción de radical libre por antioxidantes) y es comúnmente utilizado en solventes orgánicos (Ruíz Benites., 2020; Guija-Poma *et al.*, 2015). Mientras que el ABTS es un catión radical; el ensayo se basa en la reacción directamente con el agente antioxidante disminuyendo la intensidad de su color debida a la reducción al catión radical. Este radical posee buena solubilidad en medios polares y apolares,

no es afectado por fuerzas iónicas como el DPPH; es por ello que puede medir la capacidad reductora de compuestos hidrofílicos o lipofílicos de extractos de alimentos altos en antocianinas o fluidos biológicos (Guija-Poma *et al.*, 2015; Kuskoski *et al* 2005).

La capacidad antioxidante obtenida de las tres variedades se muestra en la Tabla 13, siendo el maíz negro el que presentó mayor capacidad antioxidante y diferencia estadística significativa, tanto para el ensayo de DPPH (6586.99 ± 289 (μ moles equivalentes de trolox/ g muestra) como en ABTS (410.45 ± 11.33 (μ moles equivalentes de trolox/ g muestra) con respecto a los maíces amarillo y blanco. Esto concuerda con los resultados que se han reportado en el grupo de trabajo referentes a maíces pigmentados donde Loarca-Piña *et al* (2019) informan que el maíz azul presentó mayores valores de contenido de compuestos antioxidantes, capacidad antioxidante y antimutagénica; dichos maíces podrían ser utilizados para el desarrollo de productos funcionales, los cuales contribuirían a la salud de la población.

Esto es relevante ya que para elaborar un alimento funcional es necesario que sus compuestos sean fisiológicamente activos y que realmente provea beneficio al consumirlos, tanto nutricionalmente como antioxidante (Rioja Antezana *et al.*, 2018).

Las técnicas utilizadas para estos ensayos (DPPH y ABTS) tiene como finalidad cuantificar como μ moles equivalentes de trolox/g de muestra, para observar la eficacia de los compuestos que tienen estos maíces para inhibir o retardar procesos oxidativos; los compuestos más implicados en la capacidad antioxidante en razas de maíz criolla con dichos efectos son polifenólicos (flavonoides y antocianinas) (Mesa *et al.*, 2011). Se encontró que a pesar de ser técnicas con fundamentos diferentes se puede observar la misma tendencia del maíz negro con mayor capacidad antioxidante.

Tabla 13. Capacidad antioxidante de tres variedades de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	DPPH	ABTS
Blanco	4862.47 ± 468.05 ^b	268.26 ± 15.14 ^c
Amarillo	5061.45 ± 364.73 ^b	299.40 ± 6.52 ^b
Negro	6586 ± 289 ^a	410.45 ± 11.33 ^a

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones Capacidad antioxidante expresada como TEAC (μmoles equivalentes de trolox/ g muestra). Los valores con diferentes letras en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba Tukey con un $p < 0.05$.

IX.4.4. Correlación de compuestos obtenidos por HPLC y capacidad antioxidante

Con la finalidad de observar los compuestos fenólicos individualmente se realizó una cromatografía líquida (HPLC) y mapa de calor para identificar por medio de colores intensos y un coeficiente de correlación “r” si existen asociaciones importantes entre algunos compuestos y la capacidad antioxidante. Las correlaciones realizadas para cada variedad de maíz se pueden observar en la Figura 22 y tienen la finalidad de identificar la covariación entre dos variables numéricas, específicamente evaluar la tendencia creciente o decreciente de los datos y así relacionar los compuestos fenólicos por HPLC y capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), para sugerir cuales son los compuestos que influyen en su mayoría en esta propiedad antioxidante.

En el maíz blanco no se encontró un grado de covariación relevante entre la mayoría de los compuestos por HPLC. Además, se observa la tendencia de algunos compuestos como ácido gálico y ácido ferúlico con DPPH ($r=0.4870$ y $r=0.6397^*$ respectivamente) a pesar de que no hay un coeficiente demasiado alto. El ácido ferúlico tiene significancia con respecto de las demás asociaciones, indicando que en su mayoría la capacidad antioxidante obtenida podría ser atribuida a este compuesto fenólico y otros que no han sido identificados en esta investigación (Ver Figura 17 a).

El maíz amarillo por otro lado, obtuvo un grado de covariación positiva con un coeficiente alto ($r=1$) entre rutina y ABTS, lo cual sugiere que este flavonoide por su estructura tiene alta capacidad de donar electrones. Es decir, que a medida que

hay mayor rutina, habrá mayor capacidad antioxidante. También existe un coeficiente alto para ácido cumárico y ABTS ($r=0.9833^*$), sugiriendo que en este maíz estos dos compuestos le confieren el potencial antioxidante. Sin embargo, el maíz amarillo presentó carotenoides; se realizó una correlación a parte entre los carotenoides con ABTS y DPPH, encontrando un coeficiente alto, positivo y significativo con DPPH ($r=0.9870^*$), lo cual sugiere que la capacidad antioxidante que se ha encontrado para esta variedad está dada por los compuestos encontrados y carotenoides en su mayoría (Ver Figura 17 b).

En el maíz negro se encontraron asociaciones entre compuestos como ácido ferúlico y cumárico con ABTS ($r=0.8863^*$ y $r=0.9978$ respectivamente); así como rutina, ácido hidroxifenilacético y quercetina con DPPH ($r=0.8166^*$, 0.9996^* y $r=0.9380^*$ respectivamente), las asociaciones encontradas fueron significativas y positivas que indican que un aumento de estos compuestos fenólicos, aumenta la capacidad antioxidante considerablemente, como era de esperarse debido a que esta variedad presentó la mayor cantidad de compuestos y capacidad antioxidante mediante las dos técnicas. Complementando esto se realizó la correlación de antocianinas con ABTS y DPPH debido a que es el maíz más pigmentado, teniendo un coeficiente alto con ABTS ($r=0.9104^*$), esto sugiere que flavonoides como antocianinas también poseen un potencial antioxidante importante, al igual que los compuestos ya encontrados para esta variedad debido a su significancia (Ver Figura 17 c).

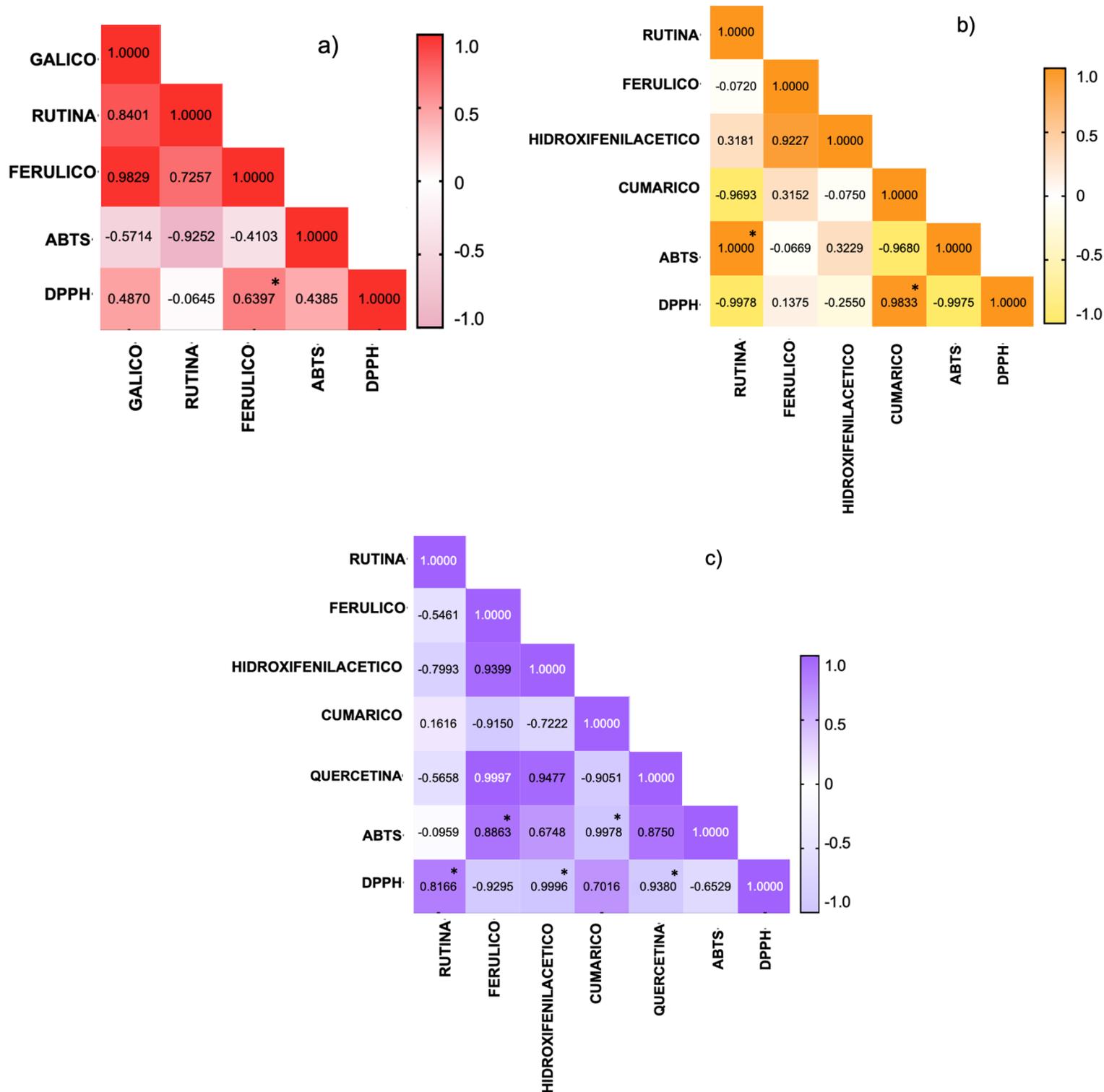


Figura 22. Correlación entre compuestos fenólicos por HPLC y capacidad antioxidante. a) Maíz blanco b) Maíz amarillo c) Maíz negro. * representa la significancia en los datos (por qué intervalo de confianza)

IX.5. Contenido de fibra y almidón

El contenido de fibra dietaria se puede observar en la Tabla 14. Se encontró diferencia estadística entre las tres variedades de maíz en fibra insoluble, siendo el maíz blanco el que obtuvo cantidad, seguido del maíz amarillo y negro. Este tipo de fibra presenta resistencia a la absorción y digestión a nivel de colon; sin embargo, puede ser completa o parcialmente fermentada por las bacterias que habitan nuestro colon, esto se ve como un beneficio debido a que no genera picos de glucemia (Arendt & Zannini, 2013).

Por otro lado, para el contenido de fibra soluble no se presentó diferencia significativa entre las variedades, no obstante, esta fibra posee algunas propiedades relevantes al procesar alimentos ya que en contacto con el agua forma un retículo donde queda atrapado el líquido, generando mayor viscosidad, esto es una característica positiva ya que mejorará la textura y adhesividad en los alimentos, como la masa para hacer tortillas.

En fibra total se observa nuevamente diferencia significativa en las tres variedades de maíz siendo el maíz blanco con mayor significancia, seguido del maíz amarillo y negro. Las diferencias en el contenido de fibra total en el maíz crudo se pueden deber al genotipo y tipo de fertilización; esto a su vez modificará la composición química y física de los granos (Zepeda-Bautista *et al.*, 2009; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014).

Uno de los procesos más comunes es obtener masa para la elaboración de diversos productos como tortillas, tostadas, totopos, entre otros. Es el procesamiento por medio de molienda húmeda en donde pasa primeramente por un proceso de nixtamalización y en este proceso es necesario retirar la cubierta exterior, donde se encuentra la mayor cantidad de fibra soluble de este cereal (Orchardson., 2020).

Las harinas comúnmente son obtenidas por medio de tratamientos físicos o mecánicos que permiten el desprendimiento y recuperación del endospermo, manteniendo de esta forma la fibra y el contenido energético que el maíz nos aporta;

por lo general se le desprende el germen ya que es el que puede enranciar las harinas una vez terminadas (González *et al.*, 2016).

Por otro lado, a partir de la extracción de aceite y almidón que es cerca del 70% de los productos, el 30% restante lo conforman las fibras como celulosa y hemicelulosa; debido a que en su mayoría ya no son utilizadas y son destinadas para consumo animal (Paliwal., 2001).

Tabla 14. Contenido de fibra insoluble, soluble y total de tres variedades de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	Fibra insoluble	Fibra soluble	Fibra total
Blanco	27.73 ± 4.08 ^a	20.20 ± 1.18	45.93 ± 3.31 ^a
Amarillo	23.96 ± 0.56 ^b	20.13 ± 2.17	42.26 ± 1.45 ^b
Negro	14.81 ± 0.90 ^c	19.78 ± 1.17	34.60 ± 2.91 ^c

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %. Los valores con diferentes letras en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba Tukey con un $p < 0.05$.

El almidón es una de las mayores fuentes de energía en la dieta del ser humano y el mayor almacenamiento de las plantas. Los maíces pigmentados se caracterizan por contener mayor cantidad de almidón en su endospermo. En la Tabla 15 se observa que el maíz negro (4.20 ± 0.36 %) y blanco (4.10 ± 0.16 %) presentaron mayor contenido de almidón resistente a diferencia del maíz amarillo (3.69 ± 0.88). El almidón resistente está conformado por productos que no pueden ser degradados a nivel intestinal y esto es debido un mayor contenido de amilosa, en comparación con la amilopeptina. Esto genera una estructura más compactada volviendola menos apta para una hidrólisis enzimática, estas características generan un efeto benéfico (estos almidones son fermentados por la microbiota y generan ácidos grasos de cadena corta). También se ha reportado que el consumo de almidón resistente conduce a una reducción de glucosa en niveles sanguíneos posprandial y mejor sensibilidad a la insulina (López-Vázquez *et al.*, 2021 Villarroel *et al.*, 2018).

Por otro lado, se observa la misma tendencia en almidón total, donde el maíz negro (40.28 ± 1.88 %) y blanco (39.01 ± 1.14 %) presentaron mayor contenido de almidón

total, el cual se ha informado que tiene gran importancia en las propiedades tecnofuncionales de diversos productos o alimentos; esto debido a la capacidad de absorber agua mejorando la viscosidad, textura, consistencia y estabilidad (Agama-Acevedo *et al.*, 2013; Villarroel *et al.*, 2018).

En cuanto al almidón disponible el maíz negro (19.41 ± 0.84 %) obtuvo diferencia significativa a diferencia del maíz blanco y amarillo. Cuando los cereales presentan una fuerte cantidad de carbohidratos, el uso de su harina es relevante para la extracción de almidón y producción de glucosa y alcohol (Defan., 2015; Jocelyne *et al.*, 2020).

Se ha informado que el contenido de almidón puede variar dependiendo del genotipo, manipulación, procesamiento y almacenamiento que este tenga, ya que el tamaño que tengan los gránulos de almidón influirán fuertemente en algunas propiedades físicas como gelatinización, cristalinidad y solubilidad (Vazquez-López *et al.*, 2021; Wijaya *et al.*, 2019).

Tabla 15. Contenido de almidón resistente, total y disponible de tres variedades de maíz criollo.

Maíz criollo variedad cónica	Almidón resistente	Almidón total	Almidón disponible
Blanco	4.10 ± 0.16^a	39.01 ± 1.14^a	18.50 ± 0.36^b
Amarillo	3.69 ± 0.88^b	37.82 ± 0.04^b	18.75 ± 0.46^b
Negro	4.20 ± 0.36^a	40.28 ± 1.88^a	19.41 ± 0.84^a

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %. Los valores con diferentes letras en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba Tukey con un $p < 0.05$.

IX.6. Parámetros tecnofuncionales

IX.6.1. Índice de absorción de agua (IAA), capacidad de absorción de agua subjetiva y solubilidad en agua

El índice de absorción de agua (Tabla 16) es un parámetro que explica que potencial de hidratación necesitan las harinas para la formación de una masa viscoelástica; como la masa de maíz, que es una red de moléculas de almidón parcialmente

gelatinizados con una fase continua de agua libre que mantiene partes del endospermo y lípidos unidos (Sandoval *et al.*, 2005). Estos parámetros tienen una relación estrecha con el contenido de proteína (poseen la funcionalidad de retener agua debido a los enlaces de hidrógeno formados entre el agua y residuos polares), almidón (gelatinización) y tamaño de partícula (Sacon *et al.*, 2016). El maíz blanco y negro obtuvieron diferencia significativa en el índice de absorción de agua y posterior a ellos el maíz amarillo, esto indica la facilidad con la que retienen líquido las harinas de las tres variedades.

Por otro lado, la cantidad de agua que puede absorber la harina para poder obtener la consistencia óptima de una masa para la preparación de tortillas se le llama capacidad de absorción de agua subjetiva, se puede observar en la Figura 23 se muestra la masa realizada a partir de las tres variedades.

Para saber si la cantidad de agua es idónea en la capacidad de absorción de agua subjetiva se realiza una partición en una bolita de masa y ésta no debe quebrarse, ni verse reseca. El maíz blanco y maíz negro obtuvieron diferencia significativa con respecto del maíz amarillo, lo cual coincide con el IAA. Estos dos parámetros son relevantes ya que al tener una buena absorción de agua se generará suavidad y adhesividad en algunos alimentos, sobre todo en los típicos mexicanos como tortillas tamales, pan, galletas, pastas, etc (Paredes López. *et al.*, 2009; Sacon *et al.*, 2016).

En cuanto a solubilidad en agua se refiere a la cantidad de sólidos disueltos por el agua en una muestra de harina que se somete a un exceso de líquido; este parámetro determina la cantidad de polisacáridos que son liberados del gránulo que se solubilizan en el medio (Neder *et al.*, 2016; Yousf *et al.*, 2017). Se puede observar diferencia significativa para las tres variedades; sin embargo, el maíz negro presenta mayor solubilidad, esto es una ventaja debido a su alta absorción de agua se necesitará poco líquido para formar una masa óptima para la preparación de alimentos. Estos parámetros están relacionados con el tamaño de los gránulos que va a influir en la determinación de las propiedades físicas del almidón, tales como la gelatinización, cristalinidad y solubilidad (Wijaya *et al.*, 2019).

En algunos procesos como nixtamalización la estructura responsable de que tanto se absorbe el agua se atribuye a los gránulos de almidón y presencia de pericarpio; el almidón es gelatinizado absorbiendo agua y el pericarpio es hidratado e hidrolizado por la solución alcalina (Salinas-Moreno *et al.*, 2010).

Tabla 16. Capacidad de absorción de agua subjetiva, índice de absorción de agua y solubilidad en agua de tres variedades de maíz criollo

Maíz criollo variedad cónica	Capacidad de absorción de agua subjetiva*	Índice de absorción de agua**	Solubilidad en agua***
Blanco	41.62 ± 1.98 ^a	1.24 ± 0.03 ^a	15.09 ± 6.05 ^c
Amarillo	33.33 ± 1.10 ^b	1.04 ± 0.01 ^b	18.80 ± 0.08 ^b
Negro	38.68 ± 2.66 ^a	1.17 ± 0.02 ^a	37.20 ± 21.16 ^a

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones. *ml absorbidos por la harina; ** expresado como g de gel/g de muestra; *** expresado como. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.



Figura 23. Masa de cada variedad de maíz blanco, amarillo y negro criollo pigmentado.

IX.7. Compuestos Antinutricios

El contenido de ácido fítico es un parámetro importante ya que los fitatos tienen una gran capacidad de formar complejos insolubles (debido a sus seis fosfatos con carga) con algunas proteínas y algunos minerales como el zinc y hierro. En la Tabla 17 se puede observar el porcentaje de este compuesto en las tres variedades; siendo el maíz amarillo con mayor porcentaje de este compuesto ($22.61 \pm 1.19 \%$),

seguido del maíz blanco (9.52 ± 2.06 %) y negro (8.72 ± 1.81 %) no tuvieron diferencia significancia entre ellos. Dentro de lo reportado por Revindran *et al.*, (1994). Del 21 a 25 % se condidera un contenido moderado de ácido fítico; tanto el maíz blanco como maíz negro contienen un pocentaje por dejajo de lo referido por el autor. Sin embargo, el maíz amarillo se encuentra en un porcentaje moredado de este compuestos antinutricio, cabe mencionar que los porcentajes encontrados en esta investigación son a partir de 2 g de muestra.

Uno de los métodos más comunes que se utilizan para disminuir este contenido es aplicar tratamientos como molienda, cocción, germación y remojo; de esta forma se reducen los posibles compuestos antinutricios presentes naturalmente y comunmente en cereales, mejorando la biodisponibilidad de minerales y proteínas (Platel *et al.*, 2010; Udeh *et al.*, 2017). Sánchez, (2013) refiere que el método de tostado puede llegar a disminuir el ácido fítico hasta un 30% y un 40% en taninos. Sin embargo, otra manera de controlar este contenido de ácido fítico es mediante la adición óptima de algunos compuestos como fosforo y zinc a la tierra mientras se estén cultivando los maíces; Yu, *et al.*, (2022) sugirieron en su estudio la utilización de una combinación de fertilizantes con fosforo (P) (25 kg por hectarea) y Zn ($11,4 \text{ kg ha}^{-1}$) y de esta forma obtener maíces con mayor contenido de proteína, almidón, minerales y bajas concentraciones de ácido fítico.

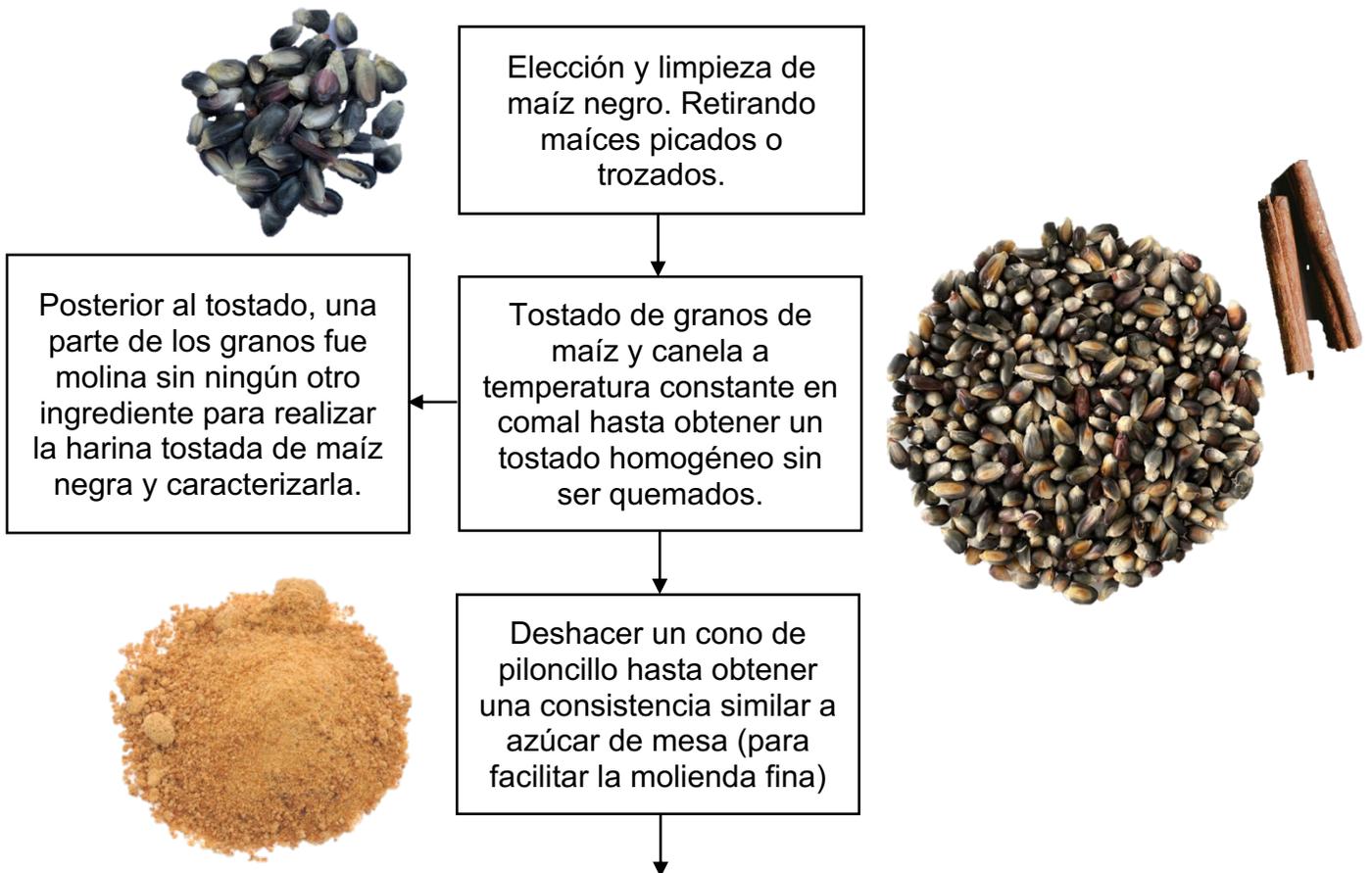
Tabla 17. Contenido de ácido fítico en tres variedades de maíz criollo pigmentado

Maíz criollo variedad cónica	% Ácido fítico
Blanco	9.52 ± 2.06^b
Amarillo	22.61 ± 1.19^a
Negro	8.72 ± 1.81^b

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p < 0.05$.

IX.8. Desarrollo de la harina tostada de maíz negro para el desarrollo del alimento tradicional “Pinole”

Debido a los resultados anteriores se seleccionó al maíz negro para la elaboración de pinole tradicional mexicano, ya que presentó parámetros nutracéuticos (contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante), bajos compuestos antinutricios y alta solubilidad, la cual va a permitir que sea más fácil deglutirlo y consumirlo. También su color llamativo lo vuelve más atractivo para el consumidor. En la Figura 24 se muestra el procedimiento con el que se llevó a cabo el desarrollo de la harina tostada y pinole.



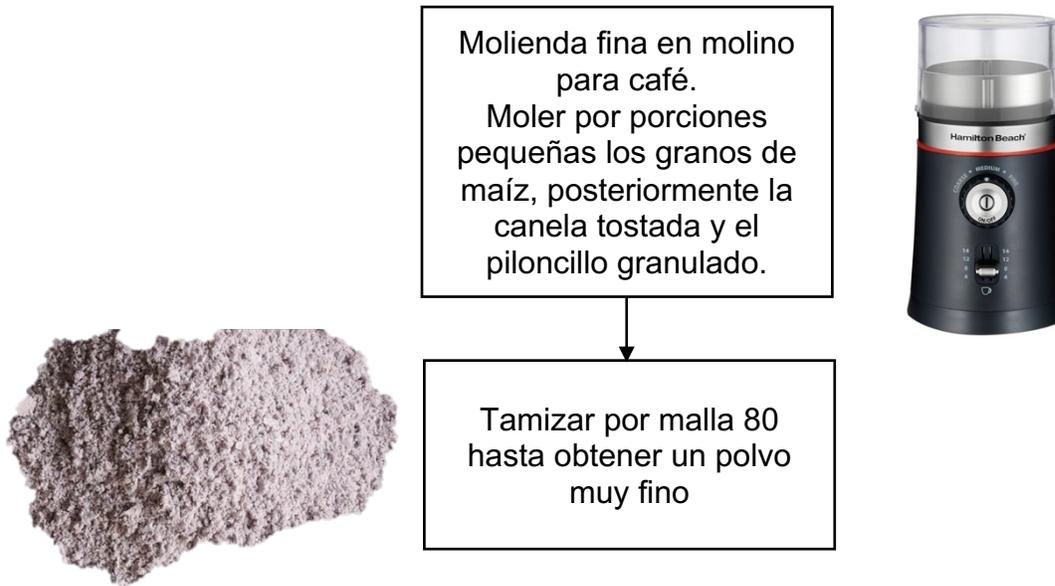


Figura 24. Proceso de elaboración de harina tostada de maíz negro y pinole.

IX.8.1. Caracterización química, nutracéutica y capacidad antioxidante de harina de maíz negra tostada

IX.8.1.1. Caracterización química de harina de maíz negra tostada

Se seleccionó al maíz negro por su alto contenido en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, se realizó un procesamiento de tostado, para posterior caracterizar la harina tostada y comparar el contenido de algunos compuestos en la harina cruda.

El maíz que se utiliza comúnmente para elaborar el pinole es el maíz harinoso, para este tratamiento térmico se utilizan ollas o comales grandes y tiene la finalidad de aumentar la digestibilidad del grano, cuidando que no haya un deterioro tanto en apariencia, aroma, sabor y textura, ya que se producen cambios químicos y tecnofuncionales (Cujlema & Sotomayor., 2010).

Se puede observar en la Tabla 18 el contenido de proteína, se obtuvo 7.73 ± 0.12 %; hubo un aumento en este porcentaje a diferencia del maíz crudo (4.90 ± 0.20 %) que se presentó anteriormente, y esto es debido a que se realizó un tratamiento

térmico. Cuando las proteínas se someten a tratamientos térmicos pasan por un proceso de desnaturalización (rompimiento de puentes de hidrógeno y refuerzo de fuerzas hidrofóbicas) liberando y aumentando dicho contenido (Lupano., 2013).

En cuando al contenido de lípidos se puede observar una disminución brusca de la harina tostada (4.66 ± 0.46 %) a diferencia del maíz negro crudo (9.88 ± 0.009 %); y esto pudiese ser debido a que mediante el tostado se puede generar un ablandamiento del pericarpio y dañar los cuerpos lipídicos que se encuentran en el germen, perdiéndose o disminuyendo el contenido de aceite; inclusive posterior al tostado se puede observar el grano un poco más grasoso. (Sánchez, 2013; Di Sapio *et al*, 2012).

En el contenido de cenizas que se obtuvo fue de 2.54 ± 0.23 %, este parámetro muestra el recuento de los minerales que tiene la matriz posterior al tostado. Por otro lado, también se reporta el contenido de carbohidratos totales 80.18 ± 0.56 %, en donde no existe diferencia con lo reportado para el maíz crudo.

Tabla 18. Contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Proteína	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos**
Harina de maíz negro tostado	7.73 ± 0.12	4.66 ± 0.46	2.54 ± 0.23	80.18 ± 0.56

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha expresadas en % de base seca. ** por diferencia.

IX.8.1.2. Caracterización nutracéutica de harina de maíz negra tostada

Dentro de la Tabla 19 se observan los resultados de la caracterización nutracéutica encontrada en la harina de maíz tostado; en donde el contenido de fenoles totales (2392.42 ± 32.68 mg) y flavonoides (122.23 ± 2.94 μ g) se ve aumentado posterior al tostado. El aumento de estos compuestos a diferencia de los valores del maíz negro crudo se puede deber a la liberación de compuestos (por disrupción física o por catálisis) creándose más de ellos con bajo peso molecular y altamente activos (Sacchetti *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2014; Quito Ichán., 2021).

Por otro lado, reacciones como la de Maillard o pardeamiento no enzimático (que ocurren entre un carbonilo de azúcares reductores y una amina de alguna proteína) y reacciones de caramelización; son desarrolladas comúnmente cuando hay altas temperaturas, pH en su preferencia alcalinos, actividad de agua (0.6 y 0.7) y presencia de azúcares reductores. A partir de estas reacciones se pueden formar melanoidinas (pigmentos color marrón) responsables del color y aroma de los alimentos tostados (González Guarneros *et al.*, 2015); estas pueden ser también detectadas por la técnica de Folin-Ciocalteu, ya que son agentes reductores (Bustamante *et al.*, 2015).

En cuanto al contenido de antocianinas se ve aumentado este contenido posterior al tostado en la harina tostada (15.37 ± 0.22 mg) a diferencia del maíz negro crudo; se ha reportado que la estabilidad de las antocianinas puede ser muy baja; sin embargo, esto va a depender de la temperatura, pH y la matriz.

Al estar expuestas a temperaturas muy altas y durante mucho tiempo pueden generar el pardeamiento no enzimático y perder los colores que poseen debido a una degradación (Fossen *et al.*, 1998).

Tabla 19. Contenido de fenoles totales, flavonoides totales y antocianinas de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Fenoles totales α	Flavonoides totales β	Antocianinas γ
Harina de maíz negro tostada	1695.93 ± 37.14	88.53 ± 2.82	15.37 ± 0.22

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. α mg de ácido ferúlico/100 g muestra; β μ g de quercetina/100 g; γ mg de 3-glucósido de cianidina/100 g de muestra.

IX.8.1.3. Capacidad antioxidante de harina de maíz negra tostada

En la Tabla 20 se puede observar los valores de la capacidad antioxidante en la harina tostada determinada por los ensayos de DPPH (447.33 ± 2.40 μ moles) y ABTS (250.62 ± 0.50 μ moles), estos valores demostraron ser mayores posterior al tostado. La capacidad antioxidante está atribuida principalmente por los compuestos fenólicos que posee la matriz. Sin embargo, se ha reportado que las

melanoidinas generadas después del tostado pueden liberar algunos compuestos antioxidantes unidos a la matriz y con ello mejorar la capacidad antioxidante. Cuando la temperatura es demasiada y por largo tiempo puede haber una disminución de estos compuestos, se ha reportado que cuando se hacen tostados medios ligeros se pueden desarrollar compuestos aromáticos que le dan un valor agregado aumentando la capacidad antioxidante (Priftis *et al.*, 2015; Pino, 2011).

Tabla 20. Capacidad antioxidante de harina de maíz negro tostada.

Muestra	DPPH	ABTS
Harina de maíz negro tostada	447.33 ± 2.40	250.62 ± 0.50

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones. Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de trolox (µmoles equivalentes de trolox/ g muestra).

IX.8.1.4. Contenido de fibra insoluble, soluble y total en harina de maíz negra tostada

El contenido de fibra se puede observar en la Tabla 21; donde se obtuvo de fibra soluble (26.28 ± 1.64 %) y fibra insoluble (23.59 ± 0.50 %), siendo mayoritaria la fibra soluble. Ayala-Soto *et al.* (2014) han descrito los beneficios que puede tener al ser consumida la fibra soluble debido a los compuestos que posee como los arabinoxilanos. Este porcentaje puede aumentar dependiendo del tipo de molienda (húmeda o seca) que se le aplique, en este sentido la harina tostada tiene mayor porcentaje que el maíz crudo, esto por la mayor exposición de compuestos antes mencionados y la utilización de molienda seca, utilizando el grano entero.

Tabla 21. Contenido de fibra insoluble, soluble y total de harina de maíz tostada.

Muestra	Fibra insoluble	Fibra soluble	Fibra total
Harina de maíz negro tostada	23.59 ± 0.50*	26.28 ± 1.64	49.87 ± 0.19

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %.

IX.8.1.5. Contenido de almidón resistente, total y disponible en harina de maíz negra tostada

El contenido de almidón se puede observar en la Tabla 22. El almidón resistente en la harina tostada fue de 4.96 ± 0.26 % comparado a lo obtenido en el maíz en crudo. Este aumento se debe principalmente a la gelatinización que sufre el almidón cuando es sometido a altas temperaturas (tostado); el gránulo comienza a perder su ordenamiento molecular y los puentes de hidrógeno de la sección amorfa comienzan a romperse permitiendo que las moléculas de agua se unan a grupos hidroxilos, una vez que los gránulos se encuentran totalmente hidratados y que han perdido su orden original se rompe el gránulo (Calabokis., 2021).

En almidón total se encontró que la harina tostada obtuvo 24.58 ± 0.33 % y en almidón disponible se obtuvo un 12.86 ± 0.62 %, estos parámetros son sumamente importantes ya que tienen relación estrecha con las propiedades funcionales y nutricionales de los productos que se pueden elaborar con las diferentes variedades de maíz, como en la elaboración de tortillas.

El maíz negro como se mencionó anteriormente posee un endospermo suave (gránulos de almidón grandes y espaciados), lo cual lo vuelve con características deseables para la elaboración de pinole, por otro lado, podría ser funcional de igual forma para la elaboración de productos derivados de nixtamalización.

Tabla 22. Contenido de almidón resistente, total y disponible de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Almidón resistente	Almidón total	Almidón disponible
Harina de maíz negro tostada	4.96 ± 0.26	24.58 ± 0.33	12.86 ± 0.62

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %.

IX.8.2. Desarrollo, caracterización química, nutracéutica y capacidad antioxidante de Pinole tradicional mexicano

IX.8.2.1. Caracterización química de Pinole tradicional mexicano

El pinole puede considerarse un alimento completo, las antiguas poblaciones lo consumían debido a la densidad calórica que presenta (contiene proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales).

Una vez que se desarrolló el pinole tradicional, se determinó nuevamente su composición química (ver Tabla 23) en donde se puede apreciar que la proteína al igual que la harina tostada aumentó su contenido hasta un 7.05 ± 0.09 %, debido al desdoblamiento de las proteínas, descubriendo nuevas zonas hidrofóbicas, desde el punto de vista nutricional esto es una ventaja debido a que estas proteínas están listas para ser digeridas por proteasas (Lupano., 2013).

Se ve la misma tendencia en el porcentaje de cenizas debido a que el piloncillo posee sus propios minerales, tales como hierro, cobre, fósforo, calcio, potasio, magnesio.

(Colina *et al.*, 2012).

En el contenido de lípidos se encontró un aumento a diferencia de la harina de maíz tostada (5.14 ± 0.86), esto puede deberse a los lípidos que se pueden encontrar en el piloncillo, aun que son pocos puede ser una cantidad significativa al realizar el pinole, ya que Álvarez-Díaz *et al.*, (2019) encontraron un contenido de 0.27 g por cada 5 g de piloncillo.

El aceite que extrae del germen de maíz es estable debido a sus altos niveles de antioxidantes (tocolos) y es considerado saludable ya que contiene ácidos grasos oleico y linoleico, por lo que su consumo trae beneficios a la salud (García-Lara *et al.*, 2019).

En cuanto al porcentaje de carbohidratos se puede observar que el pinole (84.90 ± 0.02 %) se ve aumentado a diferencia de la harina tostada y maíz crudo esto es debido a que contienen ingredientes como piloncillo, que es azúcar de caña, la cual aumenta el contenido de carbohidratos ya que es un azúcar simple.

Tabla 23. Contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Proteína	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos**
---------	----------	---------	---------	-----------------

Pinole Tradicional Mexicano	7.05 ± 0.09	5.14 ± 0.86	2.27 ± 0.01	84.90 ± 0.02
-----------------------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones de la misma cosecha expresadas en % de base seca. ** por diferencia.

IX.8.2.2. Caracterización nutracéutica del pinole tradicional mexicano

Dentro de la caracterización nutracéutica del pinole (ver Tabla 24) se observa que es superior a lo antes reportado para maíz crudo y harina tostada, ya que se obtuvo un contenido de fenoles totales (2392.42 ± 32.68 mg) y flavonoides (122.23 ± 2.94 µg). Es importante resaltar que estos valores pueden variar dependiendo a la técnica y producción de moléculas como las melanoidinas durante el tostado. La técnica que se utilizó (Folin-Ciocalteu) puede reaccionar con sustancias reductoras diferentes a los compuestos fenólicos, como azúcares, el pinole contiene piloncillo lo cual podría ser relevante para la cantidad que estamos reportando (Cabrera-Soto *et al.*, 2009).

Por otro lado, en el contenido de antocianinas (17.10 ± 0.62 mg), si bien no es un aumento importante, si existe diferencia significativa entre el contenido de la harina tostada solamente. Kopjar y Pilizota (2011) demostraron en su investigación que la adición de 10 % de sacarosa puede evitar la degradación de antocianinas, debido a que la molécula de antocianina es asilada y puede mantener su estabilidad incluso estando en soluciones acuosas. Lo cual puede justificar por qué el pinole obtuvo mayor cantidad de antocianinas a diferencia del maíz negro tostado.

Tabla 24. Contenido de fenoles totales, flavonoides totales y antocianinas de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Fenoles totales α	Flavonoides totales β	Antocianinas γ
Pinole tradicional mexicano	2392.42 ± 32.68	122.23 ± 2.94	17.10 ± 0.62

Los resultados son expresados como la media ± la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. α mg de ácido ferúlico/100 g muestra; β µg de quercetina/100 g; γ mg de 3-glucósido de cianidina/100 g de muestra.

IX.8.2.3. Capacidad antioxidante de Pinole tradicional mexicano

Los resultados de capacidad antioxidante en el pinole (ver Tabla 25) muestran que presentó mayor contenido por ABTS (320.17 ± 4.69 μ moles) y DPPH (3487.14 ± 77.37 μ moles) a diferencia del maíz tostado y maíz crudo; se sugiere que este valor más elevado es debido al contenido de compuestos antioxidantes como ácidos fenólicos, gálico, caféico y cumárico (Asikin y col., 2014; Asikin y col., 2016), los cuales coinciden con lo obtenido en la determinación por HPLC; ya que se obtuvieron compuestos como quercetina, ácido ferúlico, catequina, ácido hidroxifenilacético y ácido cumárico. También por sustancias presentes en la canela como aceites esenciales (cinamaldehído y eugenol), así como algunos polifenoles no volátiles como flavonoides (catequinas y proantocianidinas) (Senevirathne *et al.*, 2022) y piloncillo.

Tabla 25. Capacidad antioxidante de harina de maíz negro tostada.

Muestra	DPPH	ABTS
Pinole tradicional mexicano	3487.14 ± 77.37	320.17 ± 4.69

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de trolox (μ moles equivalentes de trolox/ g muestra).

IX.8.2.4. Contenido de fibra en pinole tradicional mexicano

En la Tabla 26 se puede observar el contenido de fibra dietética, en donde el pinole obtuvo 18.54 ± 0.69 % de fibra insoluble; considerada también como la fibra no fermentable y no viscosa, esta fibra se encuentra principalmente en la testa del grano y está conformada por hemicelulosa, celulosa, lignina y almidones resistentes (consideradas fibras insolubles), es decir que no se fermentan en el colon, su función es acelerar el tránsito intestinal, creando mezclas de baja viscosidad dándole consistencia a las heces fecales (Garcia-Lara *et al.*, 2019).

Por otro lado, la fibra soluble presentó un porcentaje de 30.22 ± 2.28 % esta fibra es fermentable por las bacterias colónicas y se caracteriza por su viscosidad; esta última característica en particular tiene beneficios en el metabolismo lipídico disminuyendo las lipoproteínas de baja densidad (LDL) a nivel sistémico y un potencial anticarcinogénico (Real & Ascaso., 2021). Sin embargo, estas fibras trabajan en sinergia, es por ello que la recomendación es consumir ambas y agua para lograr un efecto benéfico.

Se obtuvo 48.76 ± 0.78 % en fibra total; comúnmente en procesos como nixtamalización se retira la parte externa del grano, así como en procesos de molienda seca que a través de un rodillo estriado separan el germen y la cascarilla, esto genera pérdida en el porcentaje de fibra (Singh *et al.*, 2019). Sin embargo, al realizar el pinole se muele el grano entero y se tamiza, sin retirar ninguna parte del maíz con la finalidad de mantener todos los nutrientes posibles.

Tabla 26. Contenido de fibra insoluble, soluble y total de harina de maíz negro tostado.

Muestra	Fibra insoluble	Fibra soluble	Fibra total
Pinole tradicional mexicano	18.54 ± 0.69	30.22 ± 2.28	48.76 ± 0.78

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %.

IX.8.2.5. Contenido de almidón resistente, total y disponible en Pinole tradicional mexicano

En la tabla 27 se observan los resultados obtenidos del porcentaje de almidones en el pinole. Se obtuvo un porcentaje de almidón resistente de 4.96 ± 0.26 %; el tostado del maíz para la elaboración del pinole genero un aumento en el contenido de almidón resistente a diferencia del maíz crudo y harina tostada; aumentando su efecto prebiótico (resistente la digestión), prevención y control de obesidad, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares (Contreras *et al.*, 2021), esto es positivo debido a que el pinole poseerá beneficios a nivel intestinal y no solamente como antioxidante.

En cuanto al almidón total se obtuvo 21.68 ± 1.16 % una disminución de este y un aumento de resistente, este aumento se debe a la gelatinización que sufre parte del almidón, modificándose en almidón resistente.

El almidón disponible (12.85 ± 0.46 %) representa la proporción del alimento que puede ser aprovechado por el organismo generando energía. Sin embargo, para que suceda esto se debe pasar por algún método de cocción (cocción, fritura, tostado del grano) esto mejora la digestibilidad, aroma, sabor y textura (Jask *et al.*, 2022). Incluso se recomienda una molienda y tratamiento térmico para una mejor separación y disponibilidad de compuestos (De Blas Beorlegui *et al.*, 2019)

Tabla 27. Contenido de almidón resistente, total y disponible de harina de maíz negro tostada.

Muestra	Almidón resistente	Almidón total	Almidón disponible
Pinole tradicional mexicano	5.12 ± 0.21	21.68 ± 1.16	12.85 ± 0.46

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones de la misma cosecha. Expresado como %.

X.9. Sensorial discriminativo del Pinole tradicional mexicano elaborado con maíz negro tostado proveniente de Coscomatepec de Bravo Veracruz y Pinole tradicional mexicano comercial.

El estudio discriminativo se realizó con 22 personas de género indistinto y edad de 18 años en adelante. En las figuras 25, 26, 27, 28 y 29 se puede observar que en su mayoría los participantes fueron mujeres (91%). Todos los participantes consumían derivados como tortillas, totopos, tostadas, tamales, atoles de masa, etc. Sin embargo, solamente 1 participante consumía pinole frecuentemente. Cabe resaltar que el pinole es uno de los alimentos tradicionales mexicanos más antiguos de la gastronomía mexicana, en la actualidad es poco consumido, incluso ya no se encuentra fácilmente.

La elección de pinole se realizó mediante dos códigos teniendo en un vaso el pinole comercial (código 241) y en otro el pinole desarrollado en esta investigación con el maíz negro proveniente de Coscomatepec de Bravo Veracruz (código 322). Como

se puede observar en la figura 29 el mayor porcentaje de participantes eligió el pinole elaborado con maíz negro proveniente de Coscomatepec de Bravo, Veracruz. Los motivos de la elección fueron colocados en “observaciones” y algunos de ellos fueron los siguientes: El 83 % de los participantes refirió que la elección había sido con base a el sabor más agradable o sabor dulce, 29 % buena dilución en la boca y textura ligera, 12.5 % buen aroma, 25 % color agradable y llamativo.

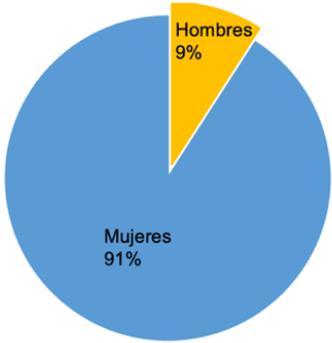


Figura 25. Sexo de los participantes

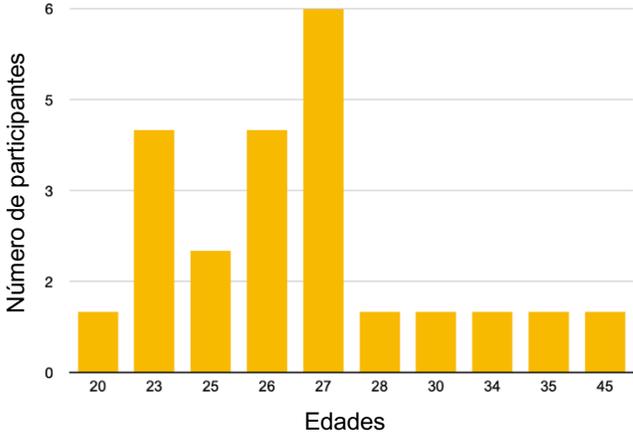


Figura 26. Edad de los participantes

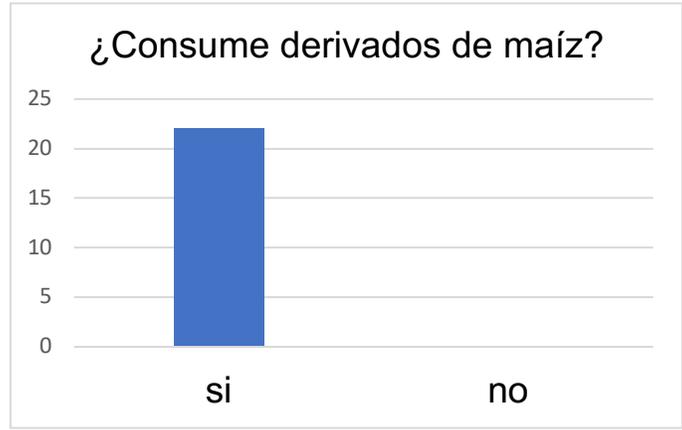


Figura 27. Consumo de productos derivados de maíz

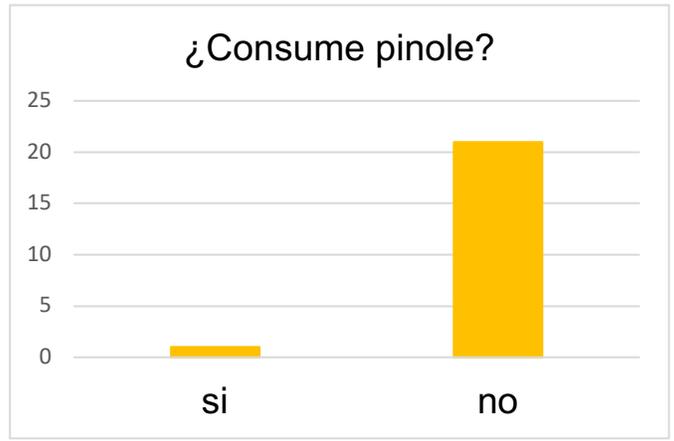


Figura 28. Consumo de pinole

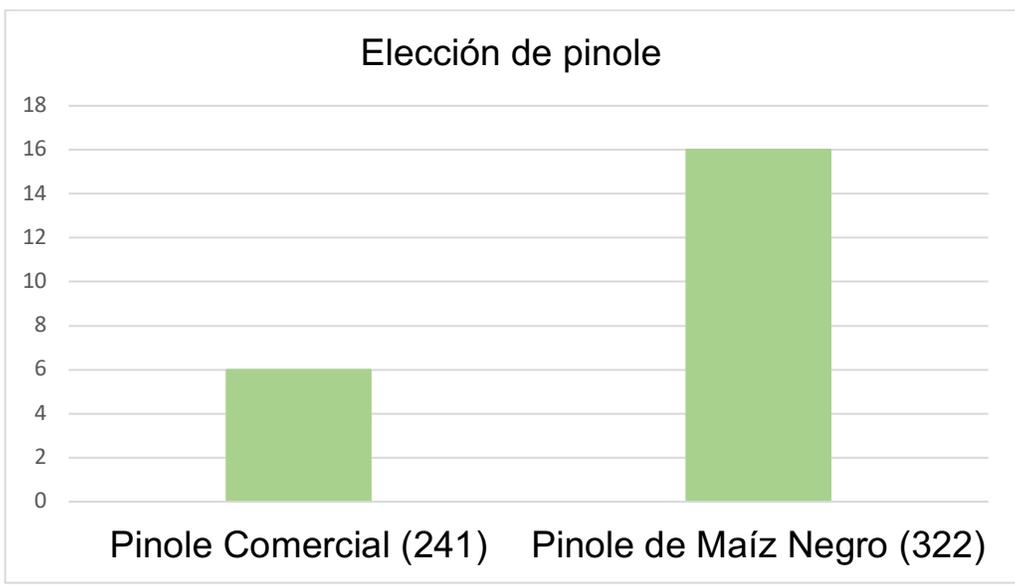


Figura 29. Elección de pinole por parte de los participantes en la prueba sensorial discriminativa

XI.10. Microbiológicos de Harina de maíz negro tostado y Pinole tradicional mexicano

Se determinó el contenido de bacterias mesófilas, coliformes totales, mohos y levaduras; estas pruebas se realizan antes de llevar a cabo la aceptabilidad de algún proceso, producto, la ausencia o presencia microorganismos que pudiera tener un alimento o área. En la tabla 28 se pueden observar los resultados del contenido de harina tostada y pinole. La determinación de bacterias mesófilas son un grupo grande de indicadores de posible contaminación y calidad de la materia prima, así como una manipulación inadecuada; el contenido de ambas muestras es de 1100 y 4100 UFC/g, respectivamente. Según la NORMA OFICIAL MEXICANANOM-18/SSA1/SCH-2002, de productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas menciona que el límite máximo permitido es de 30 UFC/g; en este sentido lo obtenido sobrepasa los límites admitidos; a pesar de que el tostado que se le hace al maíz convierte al pinole en un producto seco e inócuo, con baja actividad de agua permitiendo el bajo crecimiento o nulo crecimiento de microorganismos (Sánchez *et al.*, 2016).

No obstante, aun que se haya realizado un tostado existen diversos factores como limpieza y desinfección de área en donde se preparó la harina y el pinole, condiciones óptimas durante el almacenamiento (bolsa, refrigerador, estantes, etc), materia prima contaminada o almacenada durante mucho tiempo (Calle., 2016). Los maíces negros fueron almacenados durante aproximadamente 9 meses en refrigeración con una temperatura de 19°C, en este espacio se mantenían algunos alimentos y muestras de otra índole, siendo un riesgo latente de contaminación a los granos de maíz.

La determinación de mohos y levaduras es de suma importancia debido a que tienen la facilidad de crecer entre 10 y 30°C; comúnmente llamados mohos a ciertos hongos multicelulares filamentosos, su crecimiento en alimentos se reconoce

debido a su aspecto aterciopelado o algodonoso, creciendo incluso en aw bajos de < 0.85 . Por otro lado, las levaduras crecen en formas de agregados independientes en forma cilíndrica u ovoides, creciendo en medios con aw más elevados (Passalacqua & Cabrera, J. 2014).

La importancia de la determinación de ambos es el deterioro o descomposición que pueden generar en los alimentos; así como la producción de metabolitos tóxicos (micotoxinas) responsables de intoxicaciones y alergias; para que estos hongos crezcan es necesario que estén en una superficie, haya producción de esporas, base nutritiva, húmedas y temperatura (4 y 38°C) (Jay, 2004). Aun que se ha demostrado según Méndez-Albores *et al.*, (2004) que el tostado es un proceso térmico, el cual puede destruir las aflatoxinas que se puedan producir en el maíz considerablemente.

En cuanto a mohos y levaduras se obtuvo 30 y 20 UFC/g para la harina tostada; y 30 y 40 UFC/g respectivamente para el pinole. Según lo reportado por la NOM-247-SSA1-2008. Productos y Servicios. Cereales y sus Productos; sugieren que las harinas de maíz deben tener < 1000 UFC/g; los valores obtenidos están por debajo de los límites admitidos. Un parámetro relevante en algunas harinas es el secado, el cual permite la eliminación de la humedad excesiva y con un almacenamiento adecuado el medio no propiciaría el crecimiento fúngico (Hints., 2016); sin embargo, la harina tostada y el pinole fueron almacenadas en refrigeración, resguardadas en bolsas tipo Ziploc.

Por otro lado, la determinación de coliformes totales son indicadores de la calidad sanitaria con la que fueron procesados los alimentos o productos (Calle., 2016). La NOM-247-SSA1-2008. Productos y Servicios. Cereales y sus Productos; sugiere un límite de hasta 100 UFC/g en harinas de maíz, en este sentido la harina tostada y pinole están por debajo del límite permitido; ya que los resultados fueron de 10 y 10 UFC/g respectivamente. Sin embargo, lo encontrado aunque no está por encima de lo permitido, la existencia de estos coliformes nos sugiere una mala limpieza de áreas, instrumentos o espacio de almacenamiento; el refrigerador utilizado para

resguardar las muestras de granos de maíz entero, harina tostada y pinole tenían muestras fecales y sanguíneas de otro estudio, esto no se sabía cuando se almacenaron, esta cercanía pudo generar una contaminación cruzada y por ello tener los valores de coliformes encontrados. Es por ello, que se sugiere una adecuada limpieza y organización de los espacios exclusivos para alimentos, con la finalidad de mejorar la seguridad de los alimentos para prevenir la incidencia de estas enfermedades (Chavarri *et al.*, 2014).

Tabla 28. Contenido de bacterias mesófilas aerobias, coliformes, mohos y levaduras de harina de maíz *negro* tostada y pinole tradicional mexicano.

Muestra	BMA	M	L	CT
Harina de maíz negro tostada	1100	30	20	10
Pinole tradicional mexicano	4100	30	40	10

Los resultados son expresados como la media \pm la DE de tres repeticiones. Bacterias mesófilas (BMA), coliformes totales (CT), Mohos (M) y levaduras (L). Expresado como (UFC/g). Los valores con * en la misma columna representan diferencia significativa por la prueba T Student's con un $p < 0.05$.

XII. Conclusiones

La diversidad de poblaciones nativas de maíces pigmentados es amplia, sin duda seguir caracterizando alimentos criollos de México es de suma importancia, ya que existen factores como la zona geográfica, cultura agrícola, especie, factores ambientales y crecimiento de la planta que generarán un constante cambio en su contenido químico y nutracéutico.

De las tres variedades de maíces provenientes de Coscomatepec de Bravo, Veracruz de la cosecha del año 2019; el maíz negro presentó mayor contenido en compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas; así como una capacidad antioxidante más alta. Compuestos como ácido ferúlico, rutina, ácido cumárico, ácido hidroxifenilacético y quercetina determinados por HPLC lograron tener una correlación positiva y significativa con propiedades antioxidantes (ABTS y DPPH),

debido a ello el maíz negro presenta un potencial importante como alimento nutracéutico.

Y debido a la disminución en el consumo de pinole tradicional mexicano y su alto contenido energético se propone el aprovechamiento de estos maíces con potencial para su utilización en un alimento típico de la gastronomía mexicana elaborado de maíz negro para sugerirlo como un alimento funcional manteniendo la formulación ancestral; considerando que es rico en metabolitos secundarios, fibra dietaria, almidón resistente y un potencial antioxidante sobresaliente a diferencia de los maíces blancos y amarillos.

El pinole elaborado en esta investigación demostró tener propiedades organolépticas buscadas por el consumidor como sabor más agradable, buena dilución en la boca, textura ligera, buen aroma, color llamativo, en comparación con el comercial.

El contenido microbiológico demostró que el contenido de bacterias mesófilas sobrepasó el límite permitido. Si embargo, el contenido de mohos, levaduras y coliformes se encontraron por debajo de los rangos permitidos para el consumo.

La importancia de seguir identificando, caracterizando y utilizando los maíces pigmentados mexicanos con la finalidad de sacar el máximo potencial y beneficios que estos presentan.

XIII. Referencias Bibliográficas

- Agama-Acevedo, Edith, Juárez-García, Erika, Evangelista-Lozano, Silvia, Rosales-Reynoso, Olga L., & Bello-Pérez, Luis A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01- 12.
- Agama-Acevedo, Edith, Salinas-Moreno, Yolanda, Pacheco-Vargas, Glenda, & Bello-Pérez, Luis Arturo. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 317-329. Recuperado en 19 de septiembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342011000300002&lng=es&tlng=es.
- Aguirre-Mancilla, C. L., Godínez-Galán, R. Y., Raya-Pérez, J. C., Gutiérrez-Benicio, G. M., Ramírez-Pimentel, J. G., Covarrubias-Prieto, J., & García-Rodríguez, J. G. (2020). Protein content and quality of seeds in central Mexican maize (*Zea mays*) accessions. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UN Cuyo*, 52(1), 14-25.
- Alezones, Jesús, Manuel Ávila, Alberto Chassaing, Venancio Barrientos. (2010). Caracterización del perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Volumen 60, No.4, Año 2010. Obtenible en: <http://www.alanrevista.org/ediciones/2010/4/art12/>
- Álvarez-Díaz, N. G., Wong Paz, A. P., Muñiz Márquez, D. B., & Aguilar Zárate, P. (2019). Análisis Nutricional del Piloncillo de caña de azúcar elaborado en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. *TECTZAPIC Revista de divulgación científica y tecnológica*, (mayo).
- Anderson, R., Conway, H., Pheiser, V., y Griffin, E., Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, *Cereal Science Today*, 14(1) (1969)
- Antuna Grijalva, O., Rodríguez Herrera, S. A., Arámbula Villa, G., Palomo Gil, A., Gutiérrez Arías, E., Espinoza Banda, A., Navarro Orona, E. F., & Andrio Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3 SPEC. ISS.), 23–27.
- AOAC. (2002). *Official methods of analysis* (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists
- Aragón Cuevas, F, J D C Figueroa, M Flores, M Gaytán M, M J J Véles (2012). Calidad industrial de Maíces Nativos de la Sierra del Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxca, México. 249 p.
- Arcos, Y. (2021, 2 junio). ¿Qué es el pinole y cómo prepararlo? *Gourmet de México: Vive el placer de la gastronomía*. <https://gourmetdemexico.com.mx/comida-y-cultura/que-es-pinole-y-como-prepararlo/>
- Arendt, E. L., & Zannini, E. (2013). Maize, cereal grains for the food and beverage industries (pp. 67-104). Woodhead Publishing
- Arriaga-Pérez, W., Gaytán Martínez, M., & Reyes-Vega, M. L. (2019). Review métodos para medir la Dureza del grano de maíz: Review methods for the measurement of maize grain hardness. *ResearchGate*, No. 2 (ISSN: 2395–8847).
- Asikin Y, Hirose N, Tamaki H, Ito S, Oku H y Wada K, 2016. Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar. *LWT-Food Sci Technol* 66:340-347.

- Asikin Y, Kamiya A, Mizu M, Takara K, Tamaki H y Wada K. 2014. Changes in the physicochemical characteristics, including flavour components and Maillard reaction products, of non-centrifugal cane brown sugar during storage. *Food Chem* 149:170-177.
- Ayala-Soto, F. E., Serna-Saldívar, S. O., García-Lara, S., & Pérez-Carrillo, E. (2014). Hydroxycinnamic acids, sugar composition and antioxidant capacity of arabinoxylans extracted from different maize fiber sources. *Food Hydrocolloids*, 35, 471–475. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.07.004
- Avello, Marcia, & Suwalsky, Mario. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, (494), 161-172. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Bedolla S, and Rooney LW. 1983. Characteristic of US and Mexican Instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*. 29(11).732-735.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspecto nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063.
- Bello, J. 2008. *Ciencia Bromatológica; Principios Generales de Los Alimentos*, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid.
- Bento-Silva, A., Vaz Patto, M. C., & do Rosário Bronze, M. (2018). Relevance, structure and analysis of ferulic acid in maize cell walls. *Food Chemistry*, 246, 360–378. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.11.012
- Berry, J. (2021). Beneficios y Usos de las Vitaminas del Complejo B. Obtenido en: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/complejo-de-vitamina-b>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28:25-30.
- Bustamante, S. Z., Tenorio, A. T., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del tostado sobre los metabolitos secundarios y la actividad antioxidante de clones de cacao colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7497-7507.
- Bódi Z, Pepó P, Kovács A, Széles E and Györi Z, 2008. Macro- and microelement contents of blue and red kernel corns. *Cereal Res Commun* 36: 147–155.
- Bontempo, P., De Masi, L., Carafa, V., Rigano, D., Scisciola, L., Iside, C., . . . Nebbioso, A. (2015). Anticancer activities of anthocyanin extract from genotyped *Solanum tuberosum* L. "Vitelotte". *Journal of Functional Foods*, 19, 584-593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.063>
- Calderón Cisneros, F. M., & Jiménez Montoya, J. T. (2019). Prevención de enfermedades cardiovasculares mediante el consumo de fibra dietética. Universidad Estatal de milagro UNEMI. <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4750>
- Cassidy, A. (2018). Berry anthocyanin intake and cardiovascular health. *Molecular aspects of medicine*, 61, 76-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mam.2017.05.002>
- Cabrera-Soto, M. L., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cardelas, G. A., & Espinosa Trujillo, E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*, 43(8), 827-839.
- Calle, E. (2016). Calidad microbiológica de alimentos elaborados a base de maíz y harina de trigo en la fábrica delicias mexicanas "delmexs" de la ciudad de cuenca". *Univ. De Cuenca*.

- Choperena, É. (2015). Día nacional del maíz: el alimento más importante de México. Revista Animal Gourmet. Obtenido en: from <https://www.animalgourmet.com/2020/09/29/dia-nacional-del-maiz/>
- Cho, A., Park, K., Kim, K., Kim, S., & Han, J. (2014). Influence of roasting conditions on the antioxidant characteristics of colombian coffee (*Coffea Arabica* L.) beans. *Journal of Food Biochemistry*, 8(3), 271-280.
- Chavarri, Marleny, Rojas, Viannely, Rumbos, Nohants, & Narcise, Rosmar. (2014). Detección de microorganismos en maíz tierno molido comercializado en Maracay, estado Aragua, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 34(1), 33-37. Recuperado en 13 de octubre de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562014000100008&lng=es&tlng=es.
- Contreras, R., Alvarado, R., Guerrero, M. I., & Moncada, M. (s. f.). Hijos del Maíz «Cultivo de antaño, herencia cultural». Secretaria de Desarrollo Rural Equidad para las Comunidades. <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/fin>
- Colina, Jhoana, Guerra, Marisa, Guilarte, Doralys, & Alvarado, Carlos. (2012). Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de bebidas elaboradas con panela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(3), 303-310. Recuperado en 30 de septiembre de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000300014&lng=es&tlng=es.
- De Orellana, M. (2012). Elogio de la cocina mexicana. Patrimonio cultural de la humanidad. Conservatorio de la cultura gastronómica mexicana s.c., Artes de México, México.
- De Blas Beorlegui, C., Rebollar, P. G., Mateos, G. G., Agostini, P., Cegarra, E., Coma, J., & Santomá, G. (2019). REVISIÓN 3ª EDICIÓN TABLAS FEDNA: GRANOS DE CEREALES. Madrid, España. 604 pp. ISBN: 978-8409156887
- De la Calle, L. D. (2017). Compuestos bioactivos en cereales y se implicación en la salud. Trabajo de Fin de Grado en Farmacia. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Poster/LAURA%20DIAZ%20DE%20LA%20CALLE.pdf>
- Duarte, J., & Pérez-Vizcaíno, F. (2015). Protección cardiovascular con flavonoides: enigma farmacocinético. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 56(4), 193-200.
- Falcone Ferreyra, M. L., Rius, S. P., & Casati, P. (2012). Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. *Frontiers in Plant Science*, 3. doi:10.3389/fpls.2012.00222
- Fossen, T., Cabrita, L., & Andersen, M. (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry*, 64(4), 435-440.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1993). Maíz en la Nutrición Humana. ISBN: 92-5-303013-5.
- Fernández Suárez R, Morales Chávez L A y Gálvez Mariscal A. 2013. Importance of mexican maize landraces in the national diet. An essential Review. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36: 275 – 283
- Figueroa Cárdenas, J. D. D., Narváez González, D. E., Mauricio Sánchez, A., Taba, S., Gaytán Martínez, M., Véles Medina, J. & Aragón Cuevas, F. (2013). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 305-314.

- Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2018). Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 105, 752–763. doi:10.1016/j.foodres.2017.11.
- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. de la P., Cortés-Sánchez, A. de J., Villanueva-Carvajal, A., & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1728>
- García, A., & Vázquez, C. (2016). Secado de maíz propiedades del grano. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*, 1(2), 73-77.
- García, M. (2017). Maíz, Taxonomía de Plantas. Obtenido en: <http://taxonomiaenplantas2017.blogspot.com/2017/10/maiz.html>.
- García-Lara, S., Chuck-Hernandez, C., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Development and structure of the corn kernel. *Corn*, 147-163.
- Gómez-Delgado, Yeniffer y Velázquez Rodríguez, Elisa B (2019). Salud y cultura alimentaria en México. *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol 20, num. 1 enero-febrero. doi: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6>
- Gómez E., J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniería Agroindustrial. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 82 p.
- González-Esquinca, A. R., de la Cruz-Chacón, I., & Castro-Moreno, M. (2019). Capítulo 2 Metabolitos secundarios.
- González-Cortés, Nicolás, Silos-Espino, Héctor, Estrada Cabral, Juan Carlos, Chávez-Muñoz, José Archivaldo, & Tejero Jiménez, Leonardo. (2016). Characteristics and properties of maize (*Zea mays* L.) grown in native Aguascalientes, Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 669-680. Recuperado en 02 de agosto de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=en.
- González, F., Avila, M., Gil, Y., & Velasco, D. (2016). Proceso de fabricación de la harina precocida de maíz. *Fac Ing*, 609028418, 16.
- González Guarneros, M., & Ramos Bolaños, M. I. (2015). Determinación de la influencia del grado de tostado del café en la incorporación de compuestos fenólicos en melanoidinas y su relación con la actividad antioxidante (Bachelor's thesis).
- Goñi I, García-Díaz L, Mañas E, Saura-Calixto F. Análisis de almidón resistente: un método para alimentos y productos alimenticios. *Revista de Química Alimenticia*. 1996; 56: 445-449.
- Gottau, G. (2018). Fitoesteroles: dónde encontrarlos y sus beneficios más allá de reducir el colesterol en sangre. Obtenido en: <https://www.directoalpaladar.com/salud/fitoesteroles-donde-encontrarlos-sus-beneficios-alla-reducir-colesterol-sangre>.
- Grande Tovar, C. D., & Orozco Colonia, O. C. (2013). Corn Processing and Production in Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25

- Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S., & Paucar-Menacho, L. M. (2010). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5, 211–217. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2, 2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57-60.
- Gwartz, J. A., & Garcia-Casal, M. N. (2013). Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 66– 75. doi:10.1111/nyas.12299.
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25, 726-732.
- Herrera Chalé, Francisco, Betancur Ancona, David, & Segura Campos, Maira Rubi. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 1020. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.29.1.6990>
- Hints, H. (2016). Contenido de Humedad en Harina. Blog Servicio Técnico. <https://ww2.hannachile.com/blog/post/contenido-de-humedad-en-la-harina#:~:text=La%20harina%20que%20contiene%20altos,composici%C3%B3n%20deseada%20del%20producto%20final>.
- Hong, S. H., Heo, J.-I., Kim, J.-H., Kwon, S.-O., Yeo, K.-M., Bakowska-Barczak, A. M., . . . Kang, Y.-H. (2013). Antidiabetic and Beta cell-protection activities of purple corn anthocyanins. *Biomolecules & therapeutics*, 21(4), 284.
- Jocelyne, RE, Béhiblo, K. y Ernest, AK (2020). Estudio comparativo del valor nutricional del trigo, maíz, sorgo, mijo y fonio: algunos cereales de consumo común en Costa de Marfil. *EUR. ciencia J*, 16 (21), 118-131.
- Jacinto, B.-P., Cecilia, G.-R. C., Ricardo, C.-J., & Octavio, A. L. L. (2018). The Maize Contribution in the Human Health. *Corn - Production and Human Health in Changing Climate*. doi:10.5772/intechopen.78700
- Jay, J. (2004). *Microbiología moderna de alimentos*. Acriba S.A. Zaragoza. España. Citado 18 de mayo de 2016. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=oCYzQQAACAAJ&dq=jay+j++microbiologia+moderna&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjRn5nei4DOAhVI1h4KHXU7BH8Q6AEIKzAB>.
- Jia, Y.-P., Sun, L., Yu, H.-S., Liang, L.-P., Li, W., Ding, H., ... Zhang, L.-J. (2017). The Pharmacological Effects of Lutein and Zeaxanthin on Visual Disorders and Cognition Diseases. *Molecules*, 22(4), 610. doi:10.3390/molecules22040610
- Jones M.D., H. (2018). La luz azul: luteína y zeaxantina para la salud ocular. Obtenido en: https://www.nutri-facts.org/es_ES/news/articles/la-luz-azul-luteina-y-zeaxantina-para-la-salud-ocular.html
- Jeuffroy, M. H & Oury, F. X. (2012). Impact des nouvelles techniques de production, impliquant de faibles niveaux d'intrants, sur la quantité de protéines du blé. Du champ à l'assiette, nouveau enjeu pour la filière blé, 29 mars 2012, France, 23p.

- Kamau, E. H., Nkhata, S. G., & Ayua, E. O. (2020). Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Science & Nutrition*. doi:10.1002/fsn3.1473
- Kopjar, M y Pilizota, V. (2011). Prevention of thermal degradation of anthocyanins in blackberry juice with addition of different sugars. Taylor & Francis: *Journal of Food*.
- Lara, N., Lescanoz, G., & Reynoso, A. (2004). Revalorización del maíz. Departamento de Nutrición y Calidad. Obtenida en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2594/1/iniapscpl219.pdf>
- León-López, L., C. Reyes-Moreno, A.H. Ley-Osuna, J.X.K. Perales-Sánchez, J. Milán-Carrillo, E.O. Cuevas-Rodríguez, and R. Gutiérrez-Dorado. 2019. Improvement of nutritional and nutraceutical value of nixtamalized maize tortillas by addition of extruded chía flour. *Biotecnia XXI* 3: 56-66.
- Littaye, A. Z. (2016). The multifunctionality of heritage food: The example of pinole, a Mexican sweet. *Geoforum*, 76, 11–19 <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.08.008>
- Lolas GM, Markakis P. The phytase of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Food Sci* 1977; 42: 1094-6.
- Long, J. (2012). Tecnología alimentaria prehispánica. *Historia de México* <http://www.ejournal.unam.mx/ecn/ecnahuatl39/ECN039000006.pdf>, 1, 127-138.
- Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, JD *et al.* Caracterización química, evaluaciones antioxidantes y antimutagénicas de maíz pigmentado. *J Food Sci Technol* 56, 3177–3184 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03671-3>
- López H, G., F, J., Mendoza G., A., & Gaytán M, M. (2004). Avances en la evaluación de la dureza en granos de maíz utilizando la técnica de ultrasonido. Obtenido en: <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/TA-019.pdf>
- López, A., & Di Sarli, A. (2016). El modelo cielab, las fórmulas de diferenciación de color y el uso de la norma Europea en 12878 en morteros y hormigones coloreados.
- López-Vázquez, D. E., Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C., & Hernández-Rodríguez, L.(2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionalidad de almidón de maíz cacahuacintle. *Memoria Mesa 4 Química*, 31.
- Luo, Y., & Wang, T. (2016). Pharmaceutical and Cosmetic Applications of Protein By-Products. *Protein Byproducts*, 147–160. doi:10.1016/b978-0-12-802391-4.00009-4
- Lupano, C. E. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento.
- Maltabar, Y. (2020). *Extracción y cuantificación de antocianinas por método de pH diferencial* (Bachelor's thesis, Quito).
- Mansilla, P. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L.):selección para la calidad agroalimentaria. 285. [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6107/Mansilla%2C P. S. Evaluación del valor nutricional de maíces especiales...pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6107/Mansilla%2C%20P.%20S.%20Evaluaci%20del%20valor%20nutricional%20de%20ma%20ices%20especiales...pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Márquez-Escalante, J., Carvajal-Millan, E., López-Franco, Y. L., Valenzuela-Soto, E. M., & Rascón-Chu, A. (2018). Efecto prebiótico de los Arabinosilanos y los Arabinosiloligosacáridos y su relación con la promoción de la buena salud. In *CienciaUAT* (Vol. 13, Issue 1, p. 146). <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.922>

- Martín Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 9(1), 81 - 104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>.
- Martínez, M. (2020). México, lejos de ser autosuficiente en maíz. Obtenido en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-lejos-de-ser-autosuficiente-en-maiz-20200126-0111.html>
- Martínez, R. M., Guzmán, A. M. V., Servia, J. L. C., Bolaños, E. N. A., Rodríguez, J. C. C., & Herrera, A. P. (2019). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 44(9), 549-556.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Méndez-Montalvo, G. J., Solarza-Feria, J., Velásquez del Valle, M., Gómez- Montiel, N., Paredes-López, O. and Bello-Pérez, L. A. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Revista Agrociencia*, 39(3): 267–274.
- Mesa, A. M., Rincón, D. C., Toro, J. F., Tamayo, A., Blair, S., & Rojano, B. A. (2011). Actividad antioxidante de Piper piedecuestanum trel. & Yunck. y Piper subpedale trel. & Yunck. *Revista latinoamericana de química*, 39(3), 91-99.
- Méndez-Albores, J. A., Arámbula-Villa, G., Loarca-Piña, M. G., González-Hernández, J., Castaño-Tostado, E., & Moreno-Martínez, E. (2004). Aflatoxins' fate during the nixtamalization of contaminated maize by two tortilla-making processes. *Journal of stored products research*, 40(1), 87-94.
- Milani, A., Basirnejad, M., Shahbazi, S., & Bolhassani, A. (2016). Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1290–1324. doi:10.1111/bph.13625
- Moreno-Escamilla, J. O., Alvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Núñez-Gastélum, J. A., González-Aguilar, G. A., & Rodrigo-García, J. (2017). Effect of different elicitors and preharvest day application on the content of phytochemicals and antioxidant activity of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) produced under hydroponic conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(26), 5244-5254.
- Muzhingi, T., Palacios-Rojas, N., Miranda, A., Cabrera, M. L., Yeum, K.-J., & Tang, G. (2016). Genetic variation of carotenoids, vitamin E and phenolic compounds in Provitamin A biofortified maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 793–801. doi:10.1002/jsfa.7798
- Nankar, A. N., Dungan, B., Paz, N., Sudasinghe, N., Schaub, T., Holguin, F. O., & Pratt, R. C. (2016). Quantitative and qualitative evaluation of kernel anthocyanins from southwestern United States blue corn. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4542–4552. doi:10.1002/jsfa.7671
- Nenadis, N., Wang, L. F., Tsimidou, M., Zhang, H. Y. (2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS* + assay. *J. Agric. Food Chemm.* 52:4669-4674.
- Nielsen, S. 2010. *Food Analysis*. Springer US. 4ta Edition. 602 p.
- Neder, S.D., Amaya, G.C., Quintero, R.A., Pérez, C.E., Alanís, G.M., Báez, G.J., García, D.C., Núñez, G.M., Lardizábal, G.D., Jiménez, C.J. (2016). Physicochemical Changes and Resistant-Starch Content of Extruded Cornstarch with and without Storage at Refrigerator Temperatures. *Molecules*, 21(8): 1064.

- NOM. -18/-SSA1/SCH(2002). Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración. México. Disponible en: www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/187ssa1scfi02.html.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5100356
- Olán, Micaela de la O, Espitia Rangel, Eduardo, López Sánchez, Higinio, Villaseñor Mir, Héctor E, Peña Bautista, Roberto J, & Herrera Hernández, Juan. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.)mexicanos de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 271-283. Recuperado en 04 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200005&lng=es&tlng=es.
- Orchardson, E. (2020, 21 agosto). Abriendo Camino: Erick Ortiz Hernández innova soluciones regionales para generar un mayor impacto. CIMMYT en español. Recuperado de: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-nixtamalizacion/>
- Oomah, B. D., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 935-942.
- Paredes, O., Guevara, F., & Bello, L. (2018). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Retrieved 14 July 2021, from <https://www.revistacienciasunam.com/es/41-revistas/revista-ciencias-92-93/205-la-nixtamalizacion-y-el-valor-nutritivo-del-maiz-05.html>
- Paredes López, Octavio y Guevara Lara Fidel, Bello Pérez Luis Arturo. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92, octubre-marzo, 60-70. [En línea] <https://hablemosclaro.org/bebidas-fermentadas-de-maiz/>
- Paliwal, R. L. (2001). Usos del maíz. *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*, 45-56.
- Passalacqua, N. & Cabrera, J. (2014). Microorganismos Indicadores. Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos. http://www.anmat.gov.ar/renaloea/docs/analisis_microbiologico_de_los_alimentos_vol_iii.pdf
- Platel, K., Eipeson, S.W. & Srinivasan, K. (2010). Bioaccessible mineral content of malted finger millet (*Eleusine coracana*), wheat (*Triticum aestivum*), and barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 8100-8103.
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., & Mollinedo, P. (2014). PHENOLIC COMPOUNDS IN FOOD†. *Bolivian Journal of Chemistry*. Vol. 31, No.2, pp. 68-81
- Perdón, A. A., & Holopainen-Mantila, U. (2020). Cereal grains and other ingredients. In *Breakfast Cereals and How They Are Made* (pp. 73-96). AACC International Press.
- Pérez-Nájera, V. C., Lugo-Cervantes, E. C., Gutiérrez-Lomelí, M., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2013). Extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de lima (*Citrus limetta* Risso) y determinación de su actividad antioxidante. *Biotechnia*, 15(3), 18-22.

- Petroni, K., Pilu, R., & Tonelli, C. (2014). Anthocyanins in corn: a wealth of genes for human health. *Planta*, 240(5), 901–911. doi:10.1007/s00425-014-2131-1
- Pino, R. (2011). Influencia del grado de tostado sobre la capacidad antioxidante y el efecto genoprotector del café soluble: contribución de la fracción de melanoidinas. Obtenido de Repositorio de la Universidad de Burgos: https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.1/128/Pino_Garc%C3%ADa.pdf?sequence=1
- Ponce García, N. (2019). Características morfológicas y físicas de los granos básicos, industriales, oleaginosas y secundarios. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ciencias Agrícolas. https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108413/secme-8641_2.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Prasanna, B. M., Palacios-Rojas, N., Hossain, F., Muthusamy, V., Menkir, A., Dhliwayo, T., Fan, X. (2020). Molecular Breeding for Nutritionally Enriched Maize: Status and Prospects. *Frontiers in Genetics*, 10. doi:10.3389/fgene.2019.01392
- Priftis, A., Stagos, D., Konstantinopoulos, K., Tsitsimpikou, C., Spandidos, D., Tsatsakis, A., . . . Kouretas, D. (2015). Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Molecular medicine reports*, 12(5), 7293-7302.
- Quito Ichán, A. B. (2021). Evaluación de los parámetros del proceso de tostado sobre la actividad antioxidante de tres variedades de café arábica coffea arábica L. (típica, caturra rojo y bourbon sidra) [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11300>
- Rabanal-Atalaya, Melissa, & Medina-Hoyos, Alicia. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39, e808. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Raigond P, Ezekiel R, Raigond B. Resistant starch in food: a review. *J Sci Food Agric*. 2015 Aug 15;95(10):1968-78. doi: 10.1002/jsfa.6966. Epub 2014 Nov21. PMID: 25331334.
- Ramírez-Jiménez, AK, Rangel-Hernández, J., Morales-Sánchez, E., Loarca-Piña, G., & Gaytán-Martínez, M. (2019). Cambios en el perfil fitoquímico de harinas de maíz instantáneas obtenidas por proceso tradicional de nixtamalización y calentamiento óhmico. *Química de los Alimentos*, 276, 57-62.
- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105-112. doi:10.1111/nyas.12396
- Rioja Antezana, A. P., Vizaluque, B. E., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176.
- Rivas Pérez, Bernarda Nohemy, Leal Granadillo, Iván Antonio, Loaiza Cuauero, Luris Francis, Morillo, Yonatta Ernesto, & Colina Chirinos, Jean Carlos. (2017). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en extractos de cuatro especies de orégano. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(3), 134-142. Recuperado en 26 de octubre de 2022, de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702017000300002&lng=es&tlng=es.

- Ravindran, V., Ravindran, G. y Sivalogan, S. (1994). Contenido de fósforo total y fitato de diversos alimentos y piensos de origen vegetal. *Química de los alimentos*, 50 (2), 133-136.
- Rodríguez Salinas, P. A. (2019). Caracterización del contenido nutricional, compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de maíces pigmentados (*Zea mays* L.) nativos del sur de Nuevo León (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Salazar-Acosta, E. (2018). Almidón resistente en la nutrición de animales monogástricos I: concepto, clasificación y fuentes. *Nutrición Animal Tropical*, 12(2), 55–69. <https://doi.org/10.15517/nat.v12i2.35493>
- Salinas-Moreno, Yolanda, Ramírez Díaz, José Luis, Alemán de la Torre, Ivone, Bautista-Ramírez, Edgardo, & Ledesma Miramontes, Alejandro. (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1297-1303. Epub 22 de marzo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2276>
- Salinas, M. Y., J. Soria R., y E. T. Espinosa. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Folleto Técnico 42. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA, INIFAP. pp: 50.
- Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5-11.
- Salgado-Chávez, José Alberto, Palacio-Valencia, Anderson Enrique, & Valero-Valero, Nelson Osvaldo. (2020). Actividad antioxidante e influencia del periodo climático sobre el contenido de polifenoles totales en *Merremia aegyptia*. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 82-93. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(18\)82-93](https://doi.org/10.18684/bsaa(18)82-93)
- Serna-Saldívar, Sergio O., Gutiérrez-Urbe, Janet A., Mora-Rochin, Saraid, & García-Lara, Silverio. (2013). Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(Supl. 3-a), 295-304. Obtenido en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000500006&lng=es&tlng=es.
- Sarria-Villa, R. A., Gallo, J. A., & Benítez, R. (2021). Extracción de compuestos fenólicos y contenido de catequina en cortezas de tres especies forestales del Cauca-Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(29), 19-27.
- Sánchez, L. (2013). *Determinación de compuestos funcionales en Canela (Cinnamomum zeylanicum)* (Doctoral dissertation, Tesis de Ingeniería Química, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25267/S%20C3%81NCHE>).
- Sandoval, E. R., Quintero, A. F., & Aponte, A. A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e investigación*, 25(1), 72-78.
- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. (2009). Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 74-80.

- Shiga, T. M., Lajolo, F. M., & Filisetti, T. M. (2003). Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Science and Technology*, 23(2), 141-148.
- Singh, N., Singh, S. y Shevkani, K. (2019). Maíz: composición, componentes bioactivos y panes sin levadura. *Harina y panes y su fortificación en salud y prevención de enfermedades*, 111–121. doi:10.1016/b978-0-12-814639-2.00009-5
- Shukla, R. y Cheryan, M. (2001). Zeína: la proteína industrial del maíz. *Cultivos y productos industriales*, 13 (3), 171–192. doi: 10.1016 / s0926-6690 (00)00064-9
- Soto, V. (2010). Cuantificación De Almidón Total Y De Almidón Resistente En Harina De Plátano Verde Y Banana Verde. *Revista Boliviana de Química*, 27(2), 93–99.
- Senevirathne BS, Jayasinghe MA, Pavalakumar D, Siriwardhana CG. Ceylon cinnamon: a versatile ingredient for futuristic diabetes management. *J Future Foods*. 2022;2(2):125- 142.
- Suriano, S., Balconi, C., Valoti, P. y Redaelli, R. (2021). Comparación de polifenoles totales, perfil de antocianinas, análisis de color, carotenoides y tocoles en maíces pigmentados. *LWT*, 144, 111257. doi:10.1016/j.lwt.2021.111257
- Suarez Ospina, D., & Morales Hernández, Y. (2018). Principios básicos de la cromatografía líquida de alto rendimiento para la separación y análisis de mezclas.
- Tefera, A. A. (2020). A review on quality protein maize. 11(2), 1–6. doi: <http://dx.doi.org/10.14303/irjps.2020.0011>
- Tuanama, P., & Smith, H. (2019). Cuantificación de antocianinas por el método de pH diferencial del fruto de la uva Isabella (*Vitis labrusca*) procedente del distrito de San Antonio de Cumbaza.
- Tuli, H. S., Chaudhary, A., Jaswal, V. S., Choudhary, S., Sharma, A., Beniwal, V., & Sharma, S. (2019). Ferulic Acid: A Promising Therapeutic phytochemical and recent patents advances. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery*, 13. doi:10.2174/1872213x13666190621125048
- Real, J. T., & Ascaso, J. F. (2021). Metabolismo lipídico y clasificación de las hiperlipemias. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 33, 3-9.
- Ulíbarri Pérez, J., Lobo Támer, G., & Pérez de la Cruz, A. (2015). Desnutrición clínica y riesgo nutricional en 2015. Retrieved 26 April 2021, from [http://Nutr Clin Med 2015; IX \(3\): 231-254](http://Nutr Clin Med 2015; IX (3): 231-254) doi: 10.7400/NCM.2015.09.3.5033
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Fondo Editorial Biogénesis*, 185-209
- Udeh, H.O., Duodu, K.G. & Jideani, A. I. O. (2017). Finger millet bioactive compounds, bioaccessibility, and potential health effects a review. *Czech. Journal of Food Sciences*, 35: 7-17. 43. Van Soest, P. S. (1963).
- Valenzuela B. Alfonso, Ronco M. Ana María. Fitoesteroles y Fitoestanoles: Aliados naturales para la protección de la salud cardiovascular. *Rev. chil. nutr.* [Internet]. 2004 Nov [citado 2022 Nov 04] ; 31(Suppl 1): 161-169. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182004031100003&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182004031100003>.
- Vázquez-Carrillo, M. G., D. Santiago-Ramos, Y. Salinas-Moreno, J. López-Cruz, Ma. C. Ybarra-Moncada, y A. Ortega-Corona. 2014. Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia* 48: 159-172.

- Vidal Martínez, V. A., Vázquez Carrillo, G., Coutiño Estrada, B., Ortega Corona, A., Ramírez Díaz, J. L., Valdivia Bernal, R., Guerrero Herrera, M. D. J., Caro Velarde, F. D. J., & Cota Agramont, Ó. (2008). Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3 SPEC. ISS.), 15–21.
- Villarroel, Pía, Gómez, Camila, Vera, Camila, & Torres, Jairo. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, Z., Huang, H., Gonzalez de Mejia, E., Li, Q., & Singh, V. (2016). Use of Pigmented Maize in Both Conventional Dry-Grind and Modified Processes Using Granular Starch Hydrolyzing Enzyme. *Cereal Chemistry Journal*, 93(4), 344–351. doi:10.1094/cchem-07-15-0140-r.
- Wijaya, C., Do, Q. D., Ju, Y. H., Santoso, S. P., Putro, J. N., Laysandra, L., ... & Ismadji, S. (2019). Isolation and characterization of starch from *Limnophila aromatica*. *Heliyon*, 5(5), e01622.
- Xie, L., Su, H., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Recent advances in understanding the anti-obesity activity of anthocyanins and their biosynthesis in microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 13-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.002>
- Yu, BG, Chen, XX, Zhou, CX, Ding, TB, Wang, ZH y Zou, CQ (2022). Composición nutricional del grano de maíz asociado a la fertilización con fósforo y zinc. *Diario de composición y análisis de alimentos*, 114, 104775.
- Yousf, N., Nazir, F., Salim, R., Ahsan, H., Sirwal, A. (2017). Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6): 2165-2168.
- Zaman, S. A., & Sarbini, S. R. (2015). The potential of resistant starch as a prebiotic. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1–7. doi:10.3109/07388551.2014.993590
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. doi: 10.1016/j.foodres.2018.04.0
- Zduńska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A., & Rotsztein, H. (2018). Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application. *Skin pharmacology and physiology*, 31(6), 332-336.
- Žilic, S. đ., Serpen, A., & Akıllıoğlu, G. (2012, 16 junio). Phenolic Compounds, Carotenoids, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity of Colored Maize (*Zea mays* L.) Kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf204367z>
- Zepeda-Bautista, R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J. A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval, F. Valerio González-Cossio, y C. Hernández-Aguilar. 2009. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertilización. *Agrociencia* 43: 143-152.

