



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



Tesis

**“Análisis de la calidad nutrimental, compuestos bioactivos y
tecnofuncional del maíz azul criollo de la región de
Huaquechula, Puebla”**

Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Presenta:

p.QFB Yamilet González Pérez

Director de tesis

D.C. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Co-director de tesis

D.C. Rocío Aguilar Sánchez

Junio 2025.

DEDICATORIA

Mamá, te dedico este trabajo con todo mi amor y cariño, esperando que una parte de ti este orgullosa no solo por mí, sino también por ti, porque el tiempo ha sido largo, lleno de sacrificios, esfuerzo y trabajo, porque sin tu apoyo moral y económico mi educación profesional no hubiese sido posible; ahora puedo decir que lo logramos, logramos lo que hace años parecía imposible, pero al parecer todo es posible si estás conmigo. Desistir nunca fue una opción, no al verte trabajar tanto, así que esto es para y por ti. Te amo mamá, gracias, por tanto.

AGRADECIMIENTOS

A mi tía Vale por siempre estar pendiente de mí y de lo que me hacía falta sin importar el día o la hora y porque desde que tengo memoria a cargado conmigo a todas partes. Te amo tía, gracias por todo.

A mi hermano Osvaldo porque nunca me ha dado la espalda cuando lo necesito.

A Mari y Vere por nunca dejarme sola y por hacerme parte de cada momento, y porque al inicio, transcurso y final de esta etapa siempre me ayudaron en lo que necesitara.

A mi sobrino Ale por darle la alegría que en algún momento le hacía falta a mi vida.

A Lupita por darme apoyo y cariño incondicional, gracias por estar siempre en los buenos y malos momentos; por siempre darme la mano cuando siento que ya no puedo levantarme, te amo.

A mi mamá Coti, por cuidarme y alentarme a hacer las cosas lo mejor que se pudieran, gracias por cada comida, cada abrazo, te amo mami.

ÍNDICE

	Contenido	Página
I	ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
II	ÍNDICE DE TABLAS.....	II
III	INDICE DE ECUACIONES.....	III
1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
3.	ANTECEDENTES	4
3.1	Maíz.	4
3.1.1	Taxonomía.	5
3.1.2	Maíces pigmentados.	5
3.1.3	Producción en Puebla (maíz azul)	6
3.2	Composición química.	6
3.2.1	Almidón.	7
3.2.2	Proteínas.	8
3.2.3	Lípidos.	8
3.3	Compuestos bioactivos.	8
3.3.1	Fenoles.	9
3.4	Principal problemática de maíz azul.	10
4.	JUSTIFICACIÓN.	11
5.	OBJETIVOS.	12
5.1	Objetivo general.	12
5.2	Objetivos particulares.	12
6.	DIAGRAMA DE TRABAJO.	13
7.	MATERIALES Y MÉTODOS.	14
7.1	Material.	14
7.2	Material biológico.	14
7.3	Métodos.	14
8.	METODOLOGÍA.	16
8.1	Pruebas físicas.	16

8.1.2	Peso de 1000 semillas.	16
8.1.3	Peso hectolitrico.	16
8.1.4	Índice de flotación.	17
8.2	Análisis nutrimentales.	17
8.2.1	Determinación de humedad.	17
8.2.2	Determinación de cenizas.	17
8.2.3	Determinación de lípidos.	18
8.2.4	Determinación de proteínas.	18
8.3	Análisis químicos.	19
8.3.1	Extracción de la muestra.	19
8.3.2	Determinación de fenoles totales.	19
8.3.3	Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de la eliminación de radicales (DPPH).	20
8.4	Análisis de propiedades tecnofuncionales.	20
8.4.1	Capacidad de absorción del agua (CAA).	20
8.4.2	Índice de absorción del agua (IAA).	20
8.4.3	Índice de solubilidad en agua (ISA).	21
8.5	Análisis estadísticos.	21
9.	Resultados y discusiones.	23
9.1	Pruebas físicas.	23
9.1.1	Tamaño de la semilla.....	23
9.1.2	Peso de 1000 semillas.	24
9.1.3	Peso hectolitrico.	25
9.1.4	Índice de flotación.	25
9.2	Análisis nutrimentales.	26
9.2.1	Determinación de humedad.	26
9.2.2	Determinación de cenizas.	27
9.2.3	Determinación de lípidos.	27
9.2.4	Determinación de proteínas.	27
9.3	Análisis químicos.	28

9.3.1	Determinación de fenoles totales.	28
9.3.2	Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de la eliminación de radicales (DPPH).	29
9.4	Análisis de propiedades tecnofuncionales.	30
9.4.1	Capacidad de absorción del agua (CAA).	31
9.4.2	Índice de absorción del agua (IAA).	31
9.4.3	Índice de solubilidad en agua (ISA).	31
10.	Conclusiones.	33
11.	Recomendaciones.	34
12.	BIBLIOGRAFÍA.	35

I	ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
	Figura 1. Morfología del grano de maíz.....	5
	Figura 2. Estructura química del fenol.....	9
	Figura 3. Diagrama de flujo del proceso.....	13
	Figura 4. Granos de maíz azul criollo.....	24
	Figura 5. Determinación de medidas físicas del maíz azul.....	24
	Figura 6. Peso de mil semillas.....	25

II	ÍNDICE DE TABLAS.....	
	Tabla 1. Determinaciones y técnicas empleadas.....	14
	Tabla 2. Análisis físicos maíz azul.....	23
	Tabla 3. Medidas físicas de maíz azul.....	24
	Tabla 4. Valores reportados de PH para diferentes tipos de maíz azul.....	25
	Tabla 5. índice de flotación de semillas de maíz azul.....	26
	Tabla 6. Propiedades tecnofuncionales del maíz azul.....	31

III	ÍNDICE DE ECUACIONES.....	
	Ecuación 1. Porcentaje de proteína en la muestra de maíz (Murillo, 1994)	19
	Ecuación 2. Porcentaje de eliminación de radicales libres (Duarte-Almeida, 2006)	20
	Ecuación 3. Determinación del Índice de absorción de agua (IAA) Anderson et al. (1969).....	21
	Ecuación 4. Determinación del Índice de solubilidad de agua (ISA) Anderson et al. (1969).....	21

1. RESUMEN

Introducción. El maíz ha sido un cultivo esencial en México, y entre sus variedades nativas, el maíz azul destaca por su contenido en compuestos bioactivos asociados a la prevención de enfermedades crónicas así mismo es esencial para la seguridad alimentaria y la valorización de cultivos tradicionales, sin embargo, enfrenta desafíos como la disminución de su producción y escasa información sobre sus propiedades, lo cual limita su aprovechamiento tanto en la alimentación como en la industria. Investigar sus características tecnofuncionales son esenciales para mejorar la calidad, seguridad y aceptación de los alimentos, impulsando la innovación y la sostenibilidad en la industria alimentaria, además de promover su consumo y contribuir a la sostenibilidad agrícola. Al valorizar el maíz azul, se pueden desarrollar estrategias que beneficien a las comunidades productoras de Huaquechula Pue., que preserven su legado cultural y fortalezcan la economía local y la salud pública.

Objetivo. Analizar la calidad nutrimental y tecnofuncionales del maíz azul criollo de la región de Huaquechula, Puebla.

Metodología. Las semillas de maíz azul criollo fueron proporcionadas por campesinos locales. Se analizó el tamaño, peso y densidad, la calidad nutricional (químico proximal) fueron de acuerdo con la AOAC); los análisis tecnofuncionales fueron de acuerdo con Anderson et al. (1969) y los análisis químicos fueron realizados por Thaipong et al. (2006).

Resultados. Las características físicas muestran que tiene 10.44 ± 0.10 largo, 10.06 ± 0.03 ancho, 4.29 ± 0.21 grosor, peso de 1000 semillas 328.73 ± 6.85 , peso hectolitrico 102.78 ± 1.35 , índice de flotación 49.17 ± 2.48 , humedad 9.38 ± 0.46 , cenizas 1.49 ± 0.04 , lípidos 8.98 ± 0.59 , proteínas 8.58 ± 0.11 , CAA 14.67 ± 0.82 , IAA 3.08 ± 0.23 , ISA 3.80 ± 0.16 , DPPH 80.07 ± 1.96 , fenoles totales 2.44 ± 0.24 mg EAG/g.

Conclusión. Este estudio demuestra los beneficios del maíz azul criollo, así como contribuye a su valorización en la industria alimentaria, promoviendo su uso en alimentos funcionales.

Palabras clave: Maíz azul, Puebla, calidad, tecnofuncionales.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género (Paliwal, 2001). El maíz posee gran diversidad biológica, por lo cual es cultivado en diversos ambientes (Reséndiz et al., 2014). Referente a su importancia económica y cultural, el maíz se produce en grandes cantidades, de ahí la importancia como alimento básico en México (Angel-Rios et al., 2015).

El INEGI (2023) menciona que en México hay 32.1 millones de hectáreas de uso agrícola de las cuales 6.7 millones son productoras de maíz. En el estado de Puebla se siembran 522,865 hectáreas que dan como resultado una producción de 745, 617 toneladas por año. El estado de Puebla cuenta con 21 razas nativas de maíz (CONABIO, 2017). La totalidad de ellas se ha registrado en las regiones con presencia de pueblos originarios. En el resto de la entidad federativa, de igual manera, se puede encontrar una proporción importante (15 razas) de estos maíces nativos. Debido a la complejidad socioecológica del estado de Puebla, existe la posibilidad de registrar más razas de maíz, sobre todo en aquellas áreas sin colectas y/o registros. Los maíces más representativos de los pueblos originarios son el luxpeño, Arrocillo amarillo, Olotillo y Coscomatepec. En el resto del estado, los maíces propios de esta región son el Cónico, Elotes cónicos, Chalqueno, Cacahuacinte y Bolita (secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023)

Los maíces cónicos son considerados como los más característicos y endémicos de México; sus razas son la base de la producción en zonas agrícolas del centro de nuestro país (Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023, abril 19) El maíz cónico pigmentado proporciona varios beneficios nutrimentales y aplicaciones en la industria alimentaria ya que contiene diversas propiedades bioactivas principalmente antioxidantes (Salinas et al., 2010). Así mismo 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). 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, los maíces cosechados en distintas ubicaciones geográficas pueden variar considerablemente en su contenido nutrimental y nutracéutico debido a factores como el tipo de suelo, el clima, las prácticas agrícolas y las variedades específicas cultivadas en cada región. Estas diferencias son de gran relevancia, ya que influyen no solo en la calidad del grano, sino también en sus propiedades funcionales y su potencial para aplicaciones específicas en la industria alimentaria. Por ello, el objetivo principal de esta investigación es llevar a cabo una caracterización integral de los granos de maíz azul criollo, evaluándolos desde perspectivas físicas, químicas y nutracéuticas. Adicionalmente, se busca determinar sus propiedades tecnofuncionales, considerando que este tipo de maíz presenta una notable capacidad para absorber agua, lo cual repercute positivamente en la viscosidad, la textura, la consistencia y la estabilidad de productos derivados. Estas propiedades son esenciales para optimizar su uso en la elaboración de alimentos funcionales, favoreciendo no solo su valor nutricional, sino también su aceptación sensorial y desempeño en procesos industriales. (Agama Acevedo et al., 2013; Villarroel et al., 2018).

2. ANTECEDENTES

El maíz es el principal alimento básico en México, elemento central en la dieta mexicana. Se utiliza para preparar tortillas, tamales, atoles, pozole, esquites y una amplia variedad de platillos tradicionales.

Aporte nutricional: Es una fuente importante de carbohidratos, fibra, vitaminas, y minerales (como el magnesio y el fósforo). Cuando se combina con otros alimentos como frijoles y chiles, ofrece una dieta balanceada y rica en proteínas (INAH, 2017).

2.1 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).

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). 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 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 (AntunaGrijalva et al., 2008).

2.1.1 Taxonomía

- Reino: Plantae.
- División: Magnoliophyta.
- Clase: Liliopsida.
- Orden: *Poales*.
- Familia: *Poaceae*.
- Subfamilia: *Paricoideae*.
- Género: *Zea*.
- Especie: *Zea mays*.
- Nombre Científico: *Zea Mays*

Maíz, C. (2021, febrero 21).

2.1.2 Maíces pigmentados

Los maíces criollos pigmentados como el morado, negro, amarillo y rojo son de gran interés, desde el punto de vista nutricional, 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) (Reyna, 2023). 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 (SernaSaldívar et al., 2013).

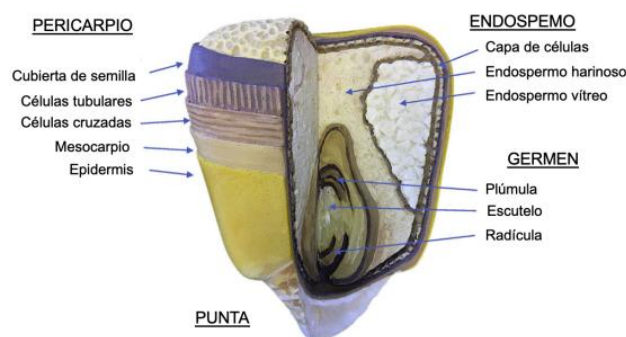


Figura 1. Morfología del grano de maíz (Perdon & Holopainen-Mantila, 2020).

2.1.3 Producción de maíz en Puebla

México destaca como productor de maíz azul a nivel mundial, con una superficie aproximada de 7,192.30 hectáreas, en las cuales se producen 10,774.44 toneladas,

registrándose en ocho estados, con el estado de Puebla cosechando en 2020, 1,843.0 hectáreas y una producción de 6,165 toneladas (Sagarpa-Siacon, 2018).

En la Sierra Nevada de Puebla, conocida como región Izta-Popo, destacan tres comunidades, donde pequeños productores cultivan y conservan maíces nativos de color azul bajo agricultura familiar de subsistencia con poca superficie, entre 0.5 y 1.0 hectáreas. Incorporan semillas criollas, en condiciones de temporal y tecnología tradicional, con las que elaboran productos alimenticios que son incorporados a la dieta de las familias de la región y en eventos especiales (Hernández y Granados, 2006)). Lo efectúan con procesos que promueven la agregación y retención de valor con gran diversidad de productos que son trasladados a los sitios de venta tradicionales, en tiendas de la esquina, puestos en la calle, mercados y pequeños tianguis localizados en algunas colonias de la Ciudad de México (CDMX), del Estado de México (Edomex) y en comunidades cercanas a la ciudad de Puebla, conformando los mercados locales de productores (FAO, 2017).

En San Mateo Ozolco existen agroindustrias o talleres rurales que se dedican a la preparación de tostadas, totopos, nachos, pinole entre otros productos con valor agregado (Escobedo y Benítez, 2013); en San Miguel Tianguizolco elaboran tlacoyos a mano y en Santa María Coronango producen tortillas de forma semi-manual con prensa de metal o madera (Pérez et al., 2019).

2.2 Composición química del maíz

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 (Méndez-Montalvo, 2005)

La composición proximal del maíz contiene un porcentaje de carbohidratos en el rango de 44,8-69,6%, 11,6-20% de humedad, 4,5-9,87% de proteína, 2,17-4,43% de grasa, 2,10-26,77% de fibra y 1,10-2,95% de cenizas (Envisi, 2014).

La composición de nutrientes del maíz, con relación a otros cereales y alimentos del reino vegetal, se encuentra en el contenido de carbohidratos y fibra. Se han reportado valores de hasta 72% de almidón, 10% de proteínas 193 Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México

y un 4% de lípidos, suministrando aproximadamente 365 kcal / 100 g de la dieta (Koehler, 2013).

2.2.1 Almidón

El grano de maíz está compuesto principalmente por almidón, el carbohidrato de depósito de las plantas, distribuido en amilosa (25-30%) y la amilopectina (70-75%); constituye hasta el 72-73% del peso del grano. Este carbohidrato tiene estructura 194 helicoidal y está unido a través de enlaces α -1,4, además proporciona energía disponible para el metabolismo oxidativo (Bowman et al., 2003).

El almidón presente en los granos de cereales está compuesto por amilosa y amilopectina, que son constituyentes estructurales y modulan el comportamiento de las semillas durante su crecimiento y su utilización en la industria de alimentos; la relación de amilosa a amilopectina es de 25/75, aunque esta relación puede ser alterada por modificaciones genéticas (Hernández-Medina et al., 2008).

La amilopectina es un polímero ramificado formado por 1,6- α -anhidroglucosa y esta 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).

La amilosa no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas, por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que desarrolla un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Hernández-Medina et al., 2008).

2.2.2 Proteínas

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).

Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente y están formadas de varias fracciones distintas: a) la fracción de proteínas soluble en agua, constituida por albúminas y globulina; b) la fracción de proteínas solubles en alcohol, constituida por las prolaminas o zeínas esta fracción representa entre 50 y 60 por ciento del total de proteína del endospermo, por lo que se consideran las proteínas de reserva más importantes, su función es servir como fuente de nitrógeno para el germinado de la semilla; las zeínas son ricas en prolina, glutamina, leucina y alanina, c) otra de las fracciones está constituida por las proteínas solubles en soluciones alcalinas en presencia de mercaptoetanol; esta fracción representa aproximadamente uno por ciento de la proteína total en el grano (Iluh, P, 2006).

2.2.3 Lípidos

Los lípidos en el grano de maíz se concentran casi exclusivamente en las células del escutelo del germen en un 76 % a 83 %, seguido de la capa de aleurona que va entre un 13% a 15% y después el almidón de 1% a 11%, por último, el pericarpio y el capuchón cada uno con un porcentaje de 1%. La cantidad que contiene de lípidos el germen es de 39% a 47% de su peso, en mayoría triglicéridos, con unos pocos ésteres de esteroles y diglicéridos, además de pequeñas cantidades de glucolípidos y fosfolípidos (Sebastián Mansilla, 2018).

2.3 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 XXV 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).

2.3.1 Fenoles

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).

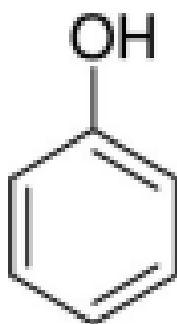


Figura 2. Estructura química del fenol (Peñarrieta et al. (2014))

En el maíz los compuestos fenólicos más identificados son los ácidos hidroxicinámicos, en donde el contenido de el mismo 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 (Vázquez-Olivo., 2016).

Se ha informado que el ácido ferúlico tiene funciones biológicas importantes como: antialérgica, antimicrobiana, anticarcinogénico, mejora la condición de diabético, entre otros (Zduńska et al., 2018).

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 por lo que tienen una capacidad antioxidante importante (Abarca-Vargas., 2018).

2.4 Principal problemática de maíz azul

En el Estado de México se sembró en 2016 una superficie de 14,653 ha de maíces de color (SIAP 2016) de ellas se estima que el 80% corresponde a maíces de diferentes tonalidades de azul, que se destinan al consumo en forma de elote, tortillas, pinole y atole, este tipo de maíz generalmente se comercializa al menudeo a un precio superior al de color blanco y amarillo, la baja producción se debe en parte al uso de semilla de mala calidad, derivada de que el agricultor, la realiza de manera empírica, de acuerdo a su experiencia y conocimiento heredado por sus antecesores, y a que lo produce de manera tradicional, utilizando el grano de la cosecha anterior para sus siembras comerciales, sin la aplicación de algún manejo técnico, obteniendo como resultado una heterogeneidad en la producción, entre las cosechas de un año y otro (Huacuz et al., 2017)

3. JUSTIFICACIÓN

Dada la importancia que representa el maíz en las dietas de los mexicanos es fundamental estudiar las propiedades, físicas, químicas y bromatológicas. El maíz criollo representa el sustento de muchas familias mexicanas, sin embargo, se produce en menor escala y en los últimos años debido al creciente cultivo de maíz híbrido, así como a la modernización y crecimiento estimado de la población se ha ido disminuyendo considerablemente la siembra, y consumo de alimentos de maíz criollo. En el estado de Puebla muchos agricultores no cuentan con paquetes tecnológicos para mejorar el manejo agronómico del maíz azul, tampoco se cuenta con suficiente información acerca de las propiedades alimenticias y nutritivas de los maíces de color, ni de los valores culturales y tradicionales que los agricultores les asignan para seguirlos conservando. A pesar de ello el potencial benéfico en su contenido de compuestos bioactivos tales como son los compuestos fenólicos y antocianinas principalmente, han llevado al interés de varias investigaciones. En este trabajo se pretende caracterizar para así poder determinar las propiedades físicas, químicas y bromatológicas del grano del maíz criollo pigmentado.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Análisis de la calidad nutrimental, fisicoquímica y tecnofuncional del maíz criollo azul del Estado de Puebla.

4.2 Objetivos particulares

- Determinar las características físicas: tamaño, peso de 1000 semillas, peso hectolítrico e índice de flotación de las semillas maíz azul criollo.
- Evaluar el contenido nutricional: humedad, cenizas, proteínas, lípidos.
- Determinar los componentes bioactivos como los fenoles totales, capacidad antioxidante en las semillas de maíz azul criollo.
- Evaluar las propiedades tecnofuncionales de la harina del maíz azul criollo.

5. DIAGRAMA

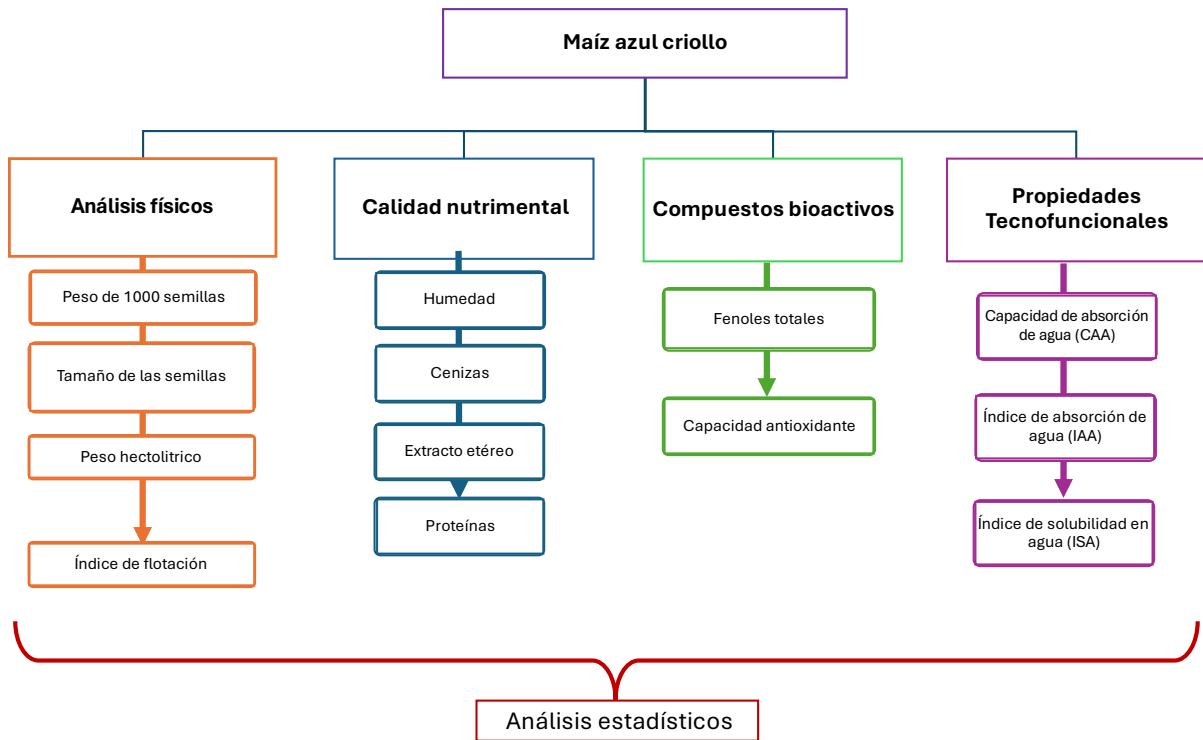


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Material

Material de vidrio y reactivos de grado analítico los requeridos en cada uno de los métodos.

6.2 Material biológico

Granos de maíz azul criollo proporcionados por campesinos de la región de Huaquechula, Puebla.

6.3 Métodos

En la tabla 1 se muestran las determinaciones y técnicas empleadas

Tabla 1. Determinaciones y técnicas empleadas.

Determinación	Técnica	Referencia
Caracterización física (alto y ancho)	Vernier	García-Campos (2020).
Índice de flotación	Densidad	López et al. (2004)
Peso hectolitrico	Peso y volumen	Palacios-Rojas, 2018
Caracterización bromatológica	Humedad (Método 925.09) Cenizas (Método 923.03) Lípidos (Método 920.39) Proteínas (Método 954.01)	AOAC, 2005
Índice de solubilidad de agua (ISA)	Diferencias de peso	Anderson et al. (1969)
Determinación	Técnica	Referencia
índice de absorción de agua (IAA)	Diferencias de peso	Anderson et al. (1969)
Capacidad de absorción de agua (CAA)	Diferencias de peso	Bedolla et al. (1983)

Capacidad antioxidante (DPPH)	ABTS	Thaipong et al. (2006)
Compuestos fenólicos totales	Folin-Ciocalteu	Thaipong et al. (2006)

7. METODOLOGÍA

7.1 Pruebas físicas

Los análisis físicos se realizaron para examinar los aspectos físicos y las características de un grupo de semillas a partir de una muestra representativa. Para evaluar la calidad de las semillas en términos de determinar sus características de esta especie en términos de tamaño (largo, ancho y alto), peso de 1000 semillas, peso hectolitrico e índice de flotación se describen a continuación (FAO, 2019).

7.1.1 Tamaño de la semilla

Para el análisis de tamaño se tomaron 20 granos al azar y se midieron con un calibrador Vernier de precisión tres distintos aspectos: largo, ancho y grosor (García-Campos *et al*, 2020).

7.1.2 Peso de 1000 semillas

Se contaron 100 granos de semilla de cada parcela, posteriormente se pesaron en una balanza de precisión contenidas en un recipiente de volumen conocido para obtener el peso de estos granos, y el resultado en granos se multiplico por 10 para obtener el peso de mil semillas (García-Campos *et al*, 2020; Intriago-Défaz & Torres-Orellana, 2018).

7.1.3 Peso Hectolitrico.

El pH se determinó utilizando a las semillas del maíz libre de impurezas, en un vaso de precipitado de 0.5 L se taro en la balanza de precisión para después dejar caer con ayuda de un embudo las semillas colocado a 20 cm de altura del recipiente, hasta que desborde donde posteriormente se pasó una espátula sobre las semillas, en forma de zigzag para quitar el exceso, hasta que las semillas queden exactamente a la altura de los 500 ml obtener el peso, el vaso precipitado (previamente tarado y que ahora contiene las semillas) se pesó, el peso se obtuvo dividiendo entre 0.5 y multiplicando por 100 para obtener el resultado en kg/hL (Palacios-Rojas, 2018; Galicia, 2012).

7.1.4 Índice de flotación

El Índice de flotación se calculó mediante la selección al azar de 100 granos de maíz sanos en un matraz Erlenmeyer de 600 ml que contenía 300 ml de una disolución de nitrato de sodio con una densidad de 1,250 g/ml (± 0.001 g/ml), medida con un picnómetro. Se mantuvo la temperatura entre 22°C y 23°C, se agito tres veces hacia la derecha y tres veces hacia la izquierda utilizando un agitador de vidrio. Posteriormente, se dejó la disolución en reposo durante 30 segundos para que los granos floten o se asienten en el fondo, se realizó la cuenta de los granos que flotaron (Galicia, 2012; NMX-FF-034/1-SCFI-2002). El cálculo se realizó con el porcentaje de granos que flotaron en la mezcla y con base a la escala de valores de IF (Índice de Flotación), entre 0 y 12% se tratan de maíces duros, el 38 a 62% son granos intermedios y de 63 al 87% son granos suaves y pasando del 87% son muy suaves (López et al., 2004).

7.2 Análisis nutrimentales

Este análisis se realizó como un esquema de análisis químico mediante el cual se determinó la composición de un alimento en términos de sus principales grupos de nutrientes: Humedad, cenizas, grasa y proteína crudas además de almidón (Tejada de Hernández, 1976).

7.2.1 Determinación de humedad

Se pesaron 30 granos de semilla para después moler la muestra y se colocaron en seis crisoles a peso constante, 5 granos pesados en una balanza de precisión Pioneer en cada crisol, el primer paso fue secar las muestras a 103°C por un tiempo de 17 horas en una estufa a presión atmosférica. La pérdida de humedad se evaluó por diferencia de peso (AOAC, 2005).

7.2.2 Determinación de cenizas

Esta determinación se llevó a cabo por el método de incineración. Se pesaron 3 g de muestra molida los cuales se colocaron en un crisol, se realizó una carbonización con un mechero Bunsen en el interior de una campana de extracción de humos, posteriormente se colocaron los crisoles en una mufla durante 4 horas a 550°C.

Después de pasado el tiempo de incineración en la mufla, se pasaron los crisoles a temperatura ambiente a un desecador por una hora y se pesaron (AOAC, 2005).

7.2.3 Determinación de lípidos

La extracción de lípidos se hizo mediante la técnica de extracción Soxhlet. Se utilizaron cartuchos de celulosa a peso constante para después colocar 2 g de muestra seca. Al montar el equipo se adicionaron 125 ml de hexano (disolvente) a cada matraz de destilación, el tiempo del proceso de extracción puede variar desde 4-6 horas a velocidad de condensación de 5 a 6 gotas por segundo. Las muestras se secaron a 130 °C después de la extracción por 30 minutos y se registró su peso (AOAC, 2005).

7.2.4 Determinación de proteínas

Se pesaron 0.5 granos de muestra seca colocándola en un matraz Kjeldahl agregando una pastilla catalizadora (sulfato de cobre y sulfato de potasio), adicionando 12 ml de ácido sulfúrico al 98%. Los matraces Kjeldahl fueron colocados en una parrilla de digestión con tubo de desprendimiento, el cual estaba conectado a un matraz con una solución NaOH para neutralizar los gases. La digestión tuvo una duración aproximada de 3-4 horas hasta observar la presencia de un color verde esmeralda (AOAC, 2005).

Posteriormente las muestras se destilaron en un equipo micro Kjeldahl. En la destilación se colocaron 20 ml de una disolución de ácido bórico al 4% en un matraz Erlenmeyer de boca ancha de 125 ml con tres gotas de indicador Weslow. En la boquilla se insertó el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en un volumen no mayor de 5 ml de agua destilada. Se adicionaron 40 ml aproximadamente de NaOH al 40%. La destilación se detuvo hasta alcanzar volumen de destilado del doble del volumen de ácido bórico (Iturbe, 2011; Murillo, 1994). La titulación se realizó con una disolución 0.1 N de HCl, hasta que se obtuvo un cambio de color del indicador de verde-amarillo a rosa mexicano. Para realizar los cálculos se consideraron concentración y el volumen de HCl gastado en la valoración, con ello se pudo calcular el número de moles de átomos de nitrógeno

en la muestra y luego el % de proteína en la muestra cómo se indica en la ecuación 5 (Murillo, 1994).

$$\%N = \frac{ml \text{ ácidos} \times N \text{ del ácido} \times Meq_N(0.014) \times 1000 \times}{\text{peso de la muestra (en gramos)}}$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = \%N \times 6.25$$

Ecuación 1. Porcentaje de proteína en la muestra de maíz (Murillo, 1994).

7.3 Análisis químicos

Los análisis químicos en esta investigación fue la determinación de fenoles totales y la actividad antioxidante. Para ambos análisis se realizó primero un proceso de extracción. Los métodos utilizados para obtener los diferentes extractos fueron, maceración pasiva y extracción Soxhlet, para la posteriormente determinación que corresponda se determinó la concentración de polifenoles totales y actividad antioxidante (Rivas-Pérez *et al.*, 2017).

7.3.1 Extracción de la muestra

Se desarrolló según lo descrito por Pérez & Saura, (2007), con algunas modificaciones. Se trató la muestra con una solución de metanol y agua acidificada con HCl 2 N a un pH 2, en proporciones (50:50 v/v); posteriormente se sometió el residuo a una nueva extracción con acetona y agua (70:30 v/v). Los sobrenadantes se unieron y almacenaron en la oscuridad a 4 °C.

7.3.2 Determinación de fenoles totales

Se determinó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, descrito por Thaipong *et al.*,

(2006), mismo que se basa en la reducción de fenoles con el reactivo Folin-Ciocalteu y posterior neutralización con bicarbonato de sodio. El ensayo se realizó por sextuplicado por muestra, utilizando como blanco MeOH en reemplazo de las muestras. Se construyó una curva patrón usando como estándar ácido gálico (50-500µL). La lectura de la absorbancia se la realizó a 725 nm. Los resultados se

expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico para cada 100 gramos de muestra en base seca (mg EAG /100 g BS).

7.3.3 Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales (DPPH)

Descrito por Brand et al., (1995), con modificaciones realizadas por Thaipong et al., (2006).

Se fundamenta en que el radical DPPH tiene un electrón desapareado de color azul-violeta, y ante una sustancia antioxidante se torna amarillo-pálido. El ensayo se lo realizó por sextuplicado para la muestra, utilizando como blanco MeOH en reemplazo de las muestras.

Se empleó una curva estándar (150- 7000 µL) de trólox. La absorbancia se leyó a 515 nm y se expresó el resultado en uM equivalentes de trólox/g de materia seca.

$$\% \text{ SRL} = \frac{\text{Ac} - \text{Aam}}{\text{Ac}} \times 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de eliminación de radicales libres (Duarte-Almeida, 2006).

7.4. Análisis de las propiedades tecnofuncionales

7.4.1 Capacidad de absorción del agua (CAA)

La capacidad de absorción de agua subjetiva (CAA) se realizaron de acuerdo con Bedolla et al. (1983), con algunas modificaciones, de la siguiente forma: se pesaron 100 g de harina de maíz, 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 expresa en mililitros de agua a temperatura ambiente (25°C), por gramo de harina de maíz de cada variedad. La prueba se realizó por sextuplicado.

7.4.2 Índice de absorción del 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 de forma 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 LIII (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 resta el peso del residuo de la evaporación del sobrenadante. El resultado se expresa como gramos de gel entre gramos de harina con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 3. Determinación del Índice de absorción de agua (IAA) Anderson et al. (1969)

7.4.3 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 seis determinaciones y el ISA se calcula de acuerdo con la ecuación

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

Ecuación 4. Determinación del Índice de solubilidad de agua (ISA) Anderson et al. (1969)

7.5. Análisis estadísticos

Todos los resultados (realizados por sextuplicado) fueron analizados por el paquete estadístico GraphPad Prism 9.0 calculando la desviación estándar e intervalo de confianza $p < 0.05$.

9. Resultados

9.1 Pruebas físicas

Las pruebas físicas en maíz azul son esenciales para evaluar la calidad y potencial de uso de los granos. Estas pruebas miden características físicas como el peso, la forma, el tamaño, la densidad y la resistencia de los granos, lo que permite determinar su valor para la industria alimentaria y el procesamiento, así como para la siembra y almacenamiento. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para los análisis físicos del maíz azul.

Tabla 2. Análisis físicos maíz azul

Determinación	
LARGO (mm)	10.44±0.10
ANCHO (mm)	10.06±0.03
GROSOR (mm)	4.29±0.21
PESO DE MIL SEMILLAS(g)	328.73±6.85
PESO HECTOLÍTRICO (kg/hL)	102.78±1.35
ÍNDICE DE FLOTACIÓN (%)	49.17±2.48

Los datos obtenidos fueron de un sextuplicado.

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa*.

9.1.1 Tamaño de la semilla

En la figura 4 se muestran los granos utilizados para la caracterización física y en la tabla 2 los resultados que se obtuvieron, donde podemos observar que no existe diferencia significativa entre los 20 granos.

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 4. Granos de maíz azul criollo.

Tabla 3. Medidas físicas de maíz azul.

LARGO	10.44±0.10
ANCHO	10.06±0.03
GROSOR	4.29±0.21

Los datos obtenidos fueron de un sextuplicado.

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*



Figura 5. Determinación de medidas físicas del maíz azul.

9.1.2 Peso de 1000 semillas

En este estudio se obtuvo un peso de 1000 semillas de 328.73g ±6.85, indica que las semillas de este maíz azul son más pesadas que las de maíz convencional (que suele oscilar entre 250–300 g/1000 semillas).

Sugiere que los granos tienen:

- Mayor tamaño y/o densidad: Posiblemente debido a un mayor contenido de endospermo (almidón) o pericarpio grueso.
- Alto peso específico: Relacionado con mejor calidad nutricional (ej. más reservas energéticas).

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.

El peso de mil semillas es un indicador de la calidad y potencial de germinación de las semillas. Semillas con un peso adecuado suelen tener un mayor contenido de nutrientes y una mejor capacidad de germinación.



Figura 6. Peso de mil semillas.

9.1.3 Peso Hectolítico.

El peso hectolítico (PH) en la semilla de maíz azul es un indicador clave de la densidad y calidad física del grano. Se expresa en kilogramos por hectolitro (kg/hL) y refleja la cantidad de grano que cabe en un volumen determinado, lo que influye en su manejo y procesamiento.

Los resultados obtenidos fueron de 102.78 ± 1.35 Kg/hL lo que refleja pequeñas fluctuaciones en la densidad de los granos debido a factores como la uniformidad del tamaño, forma, humedad, y calidad general.

En estudios realizados en México, se han reportado los siguientes valores de PH para el maíz azul:

Tabla 4. Valores reportados de PH para diferentes tipos de maíz azul.

Raza Tabloncillo	Raza Chalqueño	Maíz azul originario de S.M. Tepopula, Estado de México:
PH promedio de 75.6 kg/hL. (Agama-acevedo., et al., 2011)	PH promedio de 66.2 kg/hL.	PH de 70.44 kg/hL.

Estos valores indican que el PH del maíz azul puede variar según la variedad y las condiciones de cultivo. Un PH más alto generalmente indica un grano más denso y de mejor calidad física, lo que es favorable para su procesamiento y valor comercial.

9.1.4 Índice de flotación

Este índice se basa en la capacidad de las semillas para flotar en una solución con una densidad específica. El índice de flotación es una prueba comúnmente utilizada en la agricultura para separar semillas de calidad superior de las de menor calidad, basándose en su densidad relativa.

Tabla 5. índice de flotación de semillas de maíz azul.

IF Clasificación	
0-12 %	Duros
38-62%	Intermedios
Más del 87%	Muy suaves

El valor del índice de flotación en este estudio fue de 49.17% ± 2.48. lo que indica un IF intermedio.

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).

9.2 Análisis nutrimentales

Este análisis se realizó como un esquema de análisis químico mediante el cual se determinó la composición de un alimento en términos de sus principales grupos de nutrientes: Humedad, cenizas, grasa y proteína crudas. (Tejada de Hernández, 1976).

9.2.1 Determinación de humedad

La determinación de la humedad en el maíz azul (al igual que en otros tipos de maíz) es un proceso importante para evaluar la calidad y el almacenamiento adecuado del grano. La humedad del maíz azul criollo estudiado fue de $9.38\% \pm 0.46$ lo que indica que se encuentra dentro del rango recomendado para el almacenamiento a largo plazo de granos de maíz. Generalmente, los granos de maíz deben tener una humedad entre el 12% y el 14% para ser almacenados de manera segura. A niveles más altos, el grano puede ser susceptible a la proliferación de hongos y mohos, lo que comprometería su calidad. A niveles muy bajos de humedad, el maíz podría volverse quebradizo y difícil de manejar.

García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019), confirman que humedades $<10\%$ en maíces pigmentados preservan un 95% de sus antocianinas tras 6 meses de almacenaje.

9.2.2 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas en maíz azul (o cualquier otro tipo de maíz) es una técnica analítica utilizada para evaluar el contenido mineral total de la muestra, que se obtiene al calentar una muestra a altas temperaturas hasta que toda la materia orgánica se ha quemado, dejando solo los minerales inorgánicos (cenizas). En este estudio se obtuvieron $1.49\% \pm 0.04$. 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.

9.2.3 Determinación de lípidos

Los lípidos son una fuente importante de ácidos grasos esenciales, como los ácidos grasos insaturados (omega-3, omega-6), que son beneficiosos para la salud humana. La determinación de lípidos en el maíz azul criollo ayuda a conocer la cantidad y calidad de estas grasas, lo que es fundamental para evaluar el valor nutricional del maíz. El porcentaje que se obtuvo para lípidos fue de $8.98\% \pm 0.59$ lo que sugiere que el maíz azul criollo contiene una cantidad significativa de grasas, lo cual puede ser de interés para productos alimenticios, ya que estas grasas pueden aportar energía y, en algunos casos, ácidos grasos esenciales, como los insaturados.

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).

9.2.4 Determinación de proteínas

La determinación de proteínas en maíz azul sirve para evaluar su contenido nutricional y sus propiedades funcionales, lo que es clave en diferentes contextos científicos, alimentarios, y comerciales. Los resultados que se arrojaron en este estudio fueron de $2.58\% \pm 0.11$ este porcentaje es relativamente bajo en comparación con otros alimentos ricos en proteínas, como las legumbres, las carnes o los productos lácteos. Sin embargo, el maíz sigue siendo una fuente básica de proteínas en la dieta humana, especialmente en contextos donde el maíz es un alimento básico.

El contenido de proteínas en el maíz azul no es significativamente diferente del maíz amarillo o blanco, pero su calidad, perfil de aminoácidos y compuestos bioactivos

adicionales lo hacen destacar en términos nutricionales. Las variaciones en los estudios reflejan la diversidad genética, las prácticas agrícolas y los métodos analíticos utilizados. La combinación de estos factores subraya la necesidad de enfoques integrales para maximizar el potencial del maíz azul en alimentación y salud.

Gómez et al. (2013), en su estudio “Composición nutricional de variedades de maíz en diferentes regiones de México”, encontraron que el contenido proteico en maíz variaba entre un 7.5% y 9.5%, dependiendo de la variedad. El maíz tradicional, como el maíz azul criollo, tendió a tener un contenido proteico más bajo en comparación con variedades más comerciales de maíz, que fueron seleccionadas para un mayor contenido de almidón.

9.3 Análisis químicos

9.3.1 Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales en maíz azul es un procedimiento importante para evaluar su contenido antioxidante y sus propiedades nutraceuticas. Los fenoles totales son compuestos bioactivos que contribuyen a la capacidad antioxidante y son beneficiosos para la salud.

En este estudio se obtuvo 2.44 ± 0.24 mg EAG/g esto significa que, en promedio, cada gramo de muestra de maíz azul contiene 2.44 miligramos de equivalentes de ácido gálico. Este resultado indica que el maíz azul analizado tiene un contenido moderado de fenoles totales, lo que respalda su potencial como alimento antioxidante.

Investigaciones sobre híbridos de maíz morado y rojo cultivados en Sonora, México, reportaron un contenido de polifenoles de 173.68 ± 24.23 mg de ácido gálico/100 g para el maíz morado, lo que equivale a 1.7368 ± 0.2423 mg GAE/g (Cadena et al., 2024)

El maíz azul generalmente tiene un mayor contenido de fenoles totales en comparación con otras variedades de maíz, como el maíz amarillo o blanco, Adom y Liu (2002) reportaron que el maíz amarillo tiene un contenido de fenoles totales

de 0.5-1.5 mg EAG/g, mientras que el maíz azul y morado tienen valores más altos, superiores a 2.0 mg EAG/g.

9.3.2 Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales (DPPH)

La determinación de la capacidad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales en maíz azul sirve para evaluar la capacidad de este alimento para neutralizar radicales libres, que son moléculas altamente reactivas implicadas en el estrés oxidativo y en el desarrollo de diversas enfermedades. En este estudio se obtuvo un resultado de 80.07 ± 1.96 uM equivalentes de α -tórlox/g de materia seca lo que refleja una actividad antioxidante significativa, lo cual sugiere que el maíz contiene compuestos bioactivos como polifenoles, antocianinas y flavonoides responsables de esta actividad. Este maíz azul puede ser una fuente importante de antioxidantes naturales, con posibles beneficios para la salud, como la reducción del estrés oxidativo y la prevención de enfermedades relacionadas con los radicales libres, como el envejecimiento prematuro, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer.

Este valor posiciona al maíz azul como un alimento funcional con un potencial alto en aplicaciones nutracéuticas y en la industria de alimentos saludables.

En estudios realizados por López-Martínez et al. (2012), los maíces de colores (especialmente azul y morado) han mostrado mayores capacidades antioxidantes en comparación con variedades blancas o amarillas. Esto se atribuye a su alto contenido de antocianinas, que son pigmentos flavonoides con potente actividad antioxidante. Un DPPH cercano al 80% es consistente con los valores reportados para maíces azules ricos en antocianinas, que oscilan entre 70% y 90% dependiendo de la variedad y la región de cultivo.

Según Montilla et al. (2011), las propiedades antioxidantes de los maíces nativos están influenciadas por las condiciones de suelo, altitud y prácticas agrícolas. Esto sugiere que el valor de 80.07% podría estar relacionado con las características únicas del lugar donde se cultivó el maíz azul en este estudio, como la composición de minerales en el suelo o el clima.

9.4. Análisis de las propiedades tecnofuncionales

Los resultados de las propiedades tecnofuncionales de los granos de maíz azul criollo se presentan en la tabla correspondiente, donde se destacan parámetros clave como la capacidad de absorción de agua (CAA), Índice de absorción del agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA).

Estos datos permiten evaluar el potencial del maíz azul para aplicaciones específicas en la industria alimentaria, evidenciando su capacidad para mejorar la calidad y funcionalidad de los productos derivados. La siguiente tabla facilita la comparación y análisis de los valores obtenidos, proporcionando una visión integral de las características tecnofuncionales de las muestras estudiadas. La tabla 6 muestra los resultados que se obtuvieron para las propiedades tecnofuncionales.

Determinación	
Capacidad de absorción de agua (CAA) (%)	14.67±0.82

Índice de Absorción de agua (IAA)(g/g)	3.08±0.23
Índice de solubilidad en agua (ISA) (%)	3.80±0.16

Tabla 6. Propiedades tecnofuncionales del maíz azul

Los datos obtenidos fueron de un sextuplicado.

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa*.

9.4.1 Capacidad de absorción del agua (CAA)

Los resultados obtenidos en cuanto al CAA fue de 14.67 ± 0.82 ; este valor es un indicador de la frescura o el estado de secado del grano. Los granos recién cosechados suelen tener un contenido de agua más alto, mientras que los granos secos, listos para ser almacenados o procesados, tienen un contenido de agua más bajo.

Estos 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).

El valor de 14.67% sugiere que el maíz azul tiene una capacidad de absorción moderada-alta, posiblemente asociada a su composición única (antocianinas, fibra y proteínas). Esto es relevante para aplicaciones en alimentos húmedos (ej. Tortillas).

El maíz azul, por su mayor contenido de antocianinas y fibra, puede mostrar una CAA ligeramente superior (12–18%) debido a la interacción de los polifenoles y los polisacáridos con el agua (e.g., Salinas-Moreno et al., 2012).

9.4.2 Índice de absorción del agua (IAA)

El índice de absorción de agua es un parámetro que explica el potencial de hidratación que 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).

El promedio que se obtuvo de las 6 repeticiones del índice de absorción de agua fue de 3.08 ± 0.23 , este valor es relativamente bajo en comparación con otros granos. La absorción de agua depende de varios factores, como la estructura del grano, la porosidad y el contenido de almidón.

El IAA de 3.08 g/g indica que el maíz azul retiene agua eficientemente, lo que podría mejorar la textura en productos como masas o geles. Este valor es consistente con maíces de alto valor nutricional.

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).

Estudios en maíz morado (similar al azul) reportan IAA de 2.8–3.4 g/g, vinculado a su matriz de fibra y almidón resistente (López-Martínez et al., 2021).

9.4.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)

En cuanto a solubilidad en agua se obtuvo un porcentaje de 3.80 ± 0.16 y 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). Esto está relacionado 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).

El valor de 3.80% confirma la baja solubilidad típica del maíz, lo que sugiere un predominio de componentes insolubles (almidón, fibra). Esto limita su uso en aplicaciones que requieren solubilidad (ej. bebidas), pero es ideal para productos sólidos.

El ISA en harinas de maíz suele ser bajo (2–5%) porque el almidón nativo y la fibra insoluble dominan su composición (Palacios-Fonseca et al., 2013).

10. CONCLUSIONES

- Los análisis nutricionales muestran que el maíz azul criollo presenta una composición nutricional rica, con un contenido significativo de antioxidantes, fibra dietética, minerales como calcio y magnesio. Esta diversidad lo hace valioso desde un punto de vista nutricional, especialmente en comparación con otras variedades de maíz comerciales que han sido seleccionadas principalmente por su contenido de almidón.
- En cuanto al procesamiento, el maíz azul criollo tiene una excelente respuesta a la nixtamalización, lo que mejora la biodisponibilidad de nutrientes como el calcio, y optimiza la textura y sabor de productos como la masa y las tortillas.
- El maíz azul criollo no solo tiene un valor nutricional y agrícola, sino también un gran valor cultural y económico para las comunidades que lo cultivan. En muchas regiones, especialmente en México, el maíz azul es una parte integral de las tradiciones culinarias y ceremoniales. Su conservación y promoción pueden contribuir significativamente a la seguridad alimentaria local y a la sostenibilidad de las economías rurales.

11. RECOMENDACIONES

- El maíz azul criollo tiene diferentes variedades según la región, cada una con características únicas. Si es posible, seleccionar una muestra representativa de diferentes variedades para tener resultados más generales y aplicables a diversas zonas.
- Analizar otras variedades de maíz criollo o comercial para comparar el comportamiento de la variedad azul criollo en relación con otras.
- Determinar mediante la espectrometría, cromatografía de gases, y otras técnicas avanzadas que permitan obtener datos más precisos sobre los componentes de la semilla.
- Evaluar cómo prácticas agrícolas específicas (fertilización, control de plagas, riego) afectan el rendimiento y la calidad del maíz azul criollo.

12. BIBLIOGRAFÍA

(S/f-a). Org.mx. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdnal.pdf

(S/f-b). Edu.mx. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de https://www.uiep.edu.mx/2021/Jardin/Cartel_maices_nativos.pdf

Agama-Acevedo, Edith, Juárez-García, Erika, Evangelista-Lozano, Silvia, RosalesReynoso, 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 28 de diciembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300002&lng=es&tlng=es.

Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023, abril 19). Maíces cónicos: lo que debes conocer. Gob. Mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maices-conicos-lo-que-debes-conocer>

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 Chassaigne, Venancio Barrientos. (2010). Caracterización del perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.

Anderson, R., Conway, H., Pheiser, V., y Griffin, E., Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, *Cereal Science Today*, 14(1) (1969).

Ángel-Ríos, M. D., Pérez-Salgado, J., & Morales, J. F. (2015). Toxicidad de extractos vegetales y hongos entomopatógenos en el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae), del maíz en el estado de Guerrero. *Entomología Mexicana*, 2, 260-265.

AOAC. (2002). *Official methods of analysis* (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

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 measurment of maize grain hardness. *ResearchGate*, No. 2(ISSN: 2395–8847).

Association of Official Analytical Chemists, & Association of Official Agricultural Chemists (US). (1925). *Official methods of analysis*.

Aviram M. et al. 2000. Pomegranate juice consumption for 3 years by patients with carotid artery stenosis reduces common carotid intima-media thickness, blood pressure and LDL oxidation. *Clinical Nutrition*. 23:423-433

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). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063.

Betrán F J, A J Bockholt, L Rooney (2001) Blue corn. In: *Specialty Corns*. A R Hallauer (ed). Iowa State University. Ames Iowa, USA. Pp:293-337.

Bowman B. Rusell R. *Alimentos funcionales. Conocimientos actuales sobre nutrición*. 2003. 805-816 p.

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28:25-30.
- Burbano-Orjuela, E. A. (1991). Alternativas para estimar el contenido de humedad del grano de frijol en el campo (*Phaseolus vulgaris* L.). CIAT. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/digital/CIAT_COLOMBIA_000209_Alternativas_para_estimar_el_contenido_de_humedad_del_grano_de_frijol_en_el_.pdf
- Cabrera-Hilerio S. L., Perez-Xochipa I., Rodríguez-Acosta M., Sandoval Ramirez J. Chemical, physical and nutritional composition of residual press cake in four *Jatropha* species, natives of Mexico. *JCBPS; Section B*; February 2017 – April 2017, Vol. 7, No. 2; 621-628.
- Cadena Cadena, Francisco, Arias Moscoso, Joe Luis, García Ramírez, Alejandro, Ochoa-Meza, Alba Roció, & Cuevas Acuña, Dulce A. (2024). Actividad biológica de maíz (*Zea mays*) de color mejorado cultivado en el sur de Sonora. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 55615. <https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.55615>
- Cerón, A., Salinas, F., San Martín, E., Claverie, C., Ramírez, E., & Cerón, G. estudio del proceso de cromatografía frontal en resina SP-207 para flavonoides de maíz, arándano y zarzamora.
- Duarte-Almeida, J. M., Santos, R. J. D., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2006). Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema beta-caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH•. *Food Science and Technology*, 26, 446-452. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>
- E. Cázares-Sánchez, J. L. Chávez-Servia, Y. Salinas-Moreno, F. Castillo-González and P. Ramírez-Vallejo. *Agrociencia* 49(1) (2015) 15-30.
- Enyisi SI, Umoh V, Whong C, Abdullahi I, Alabi O. Chemical, and nutritional value of maize and maize products obtained from selected markets in Kaduna State, Nigeria. *African J Food Sci Technol.* 2014;5(4):2141–5455.

- Escobedo, G. J. S y Benítez, V. J. 2013. Agronegocios con maíz azul frente a emigración y desarrollo local. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 33(1): 609-620. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14127709020.pdf>
- 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
- Francavilla, A. y Joye, I. J. (2020). Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*. 12 (2922).
- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M.G.; Custodio, O., Rosales, A.; Ruiz, N.; Surles, R., Palacios, N. (2012) Laboratorio de Calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf>
- 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-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., de la Paz Salgado-Cruz, M., ... & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://revista-agoproductividad.org/index.php/agoproductividad/article/view/1728>
- García-Jiménez, A., Vázquez Ch. L. (2016). Secado de maíz, propiedades del grano: resumen. *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología*. 1(2), 73–77. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/14.pdf>
- García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Historia y cultura del maíz. *Maíz*, 1-18.
- Giusti M., and R. Wrolstad. 2001. Unit F1.2. In: Wrolstad, R., and S. Schwartz (eds.). John Wiley and Sons, Inc. New York. pp. F1.2.1-F.1.2.13.
- González-Cortés, Nicolás, Silos-Espino, Héctor, Estrada Cabral, Juan Carlos, ChávezMuñoz, 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 11 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=en.

Gorriti-Gutiérrez, A., Acevedo, J. A., Ballarte, L. N., Teixeira, B. J., Llajarun, H. P., Aquisé I. S., & Jacobo, F. Q. (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 509-518. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461006>.

Graillet, J. E., Alvarado, L. G., M. Martínez, M., Ruiz, K. S. y Torres, A. D. (2019). Los maíces pigmentados en México: el caso del maíz azul. *Academia Journals. Investigación en la Educación Superior* (pp.1074-1080).

Hernández-García, M. A. y Granados-Sánchez, D. (2006). El parque nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y el impacto ecológico-social de su deterioro. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(2): 101-109. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62912203>

Hernández-Medina M, Torruco-Uco JG, Chel-Guerrero L, Betancur-Ancona D. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnol Aliment* [Internet]. 2008;28(3):718–26. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300031&lng=es&nrm=iso&tlng=es

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>

Huacuz, R. S. D., Perches, M. Á. Á., Calderón, A. E., & Juárez, F. J. M.
PRODUCCIÓN ARTESANAL DE SEMILLA DE MAÍZ AZUL EN EL ESTADO DE
MÉXICO.

- Iluh, P. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. Z Año 4 u Núm. 7 u agosto 2007, 7, 15-20.
- Intriago-Defaz, I., & Torres, J. R. (2018). Efecto de la densidad y arreglo de siembra en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) (Doctoral dissertation, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6323>
- Iturbe, F., Sandoval, J. (2023). Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas. UNAM, https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14545/mod_resource/content/1/Análisis%20de%20alimentos%20fundamentos%20y%20técnicas.pdf
- K. Mitrevska, S. Grigorakis, S. Loupassaki and A. C. Calokerinos. Appl. Sci, 10 (2020).
- 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
- Koehler P WH. Chapter 2: Chemistry of cereal grains. In: Handbook on sourdough biotechnology. New York: Springer; 2013.
- Kwami-Adom, K., Sorrells, M. E., & Liu, R. (2003). Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Wheat Varieties. 51(26), 7825–7834. <https://doi.org/10.1021/jf030404I>
- Lizarazo, J., Muñoz, D., & Díaz, L. (2015). Estudio fitoquímico y actividad antioxidante de la madera de *Piper eriopodon* (piperaceae). Revista Ciencia: Desarrollo e Innovación, 1(1). <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rcdi/article/view/505>
- López-Martínez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C.-H., Parkin, K. L., & García, H. S. (2021).

"Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize." *LWT - Food Science and Technology*, 138, 110594.

López-Martínez, L. X., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2012). Effect of processing on the antioxidant properties of extracts from Mexican maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(11), 2993-2999.

Maíz, C. (2021, febrero 21). Maíz. Xn—agronoma-i2a.com. <https://www.xn--agronoma-i2a.com/2021/02/maiz.html>

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%C3%B3n%20del%20valor%20nutricional%20de%20ma%C3%ADces%20especiales...pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Mansilla, P. S. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L.): Selección para calidad agroalimentaria. Conicet.gov.ar. <http://hdl.handle.net/11336/89302>

Medina-Hoyos, A., Narro-León, L.A., y Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*. 11(3): 291 – 299.

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.

Mendoza-Mendoza, C.G., Mendoza-Castillo, M. C., Delgado Alvarado, A., Castillo-González, F., Kato-Yamakake, T. A. y Cruz-Izquierdo, S. (2017).

Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Rev. Fitotec. Mex.* 40(4): 471–479.

Montilla, E. C., Hillebrand, S., Antezana, A., & Winterhalter, P. (2011). Anthocyanin composition of wild species of Andean potatoes (*Solanum tuberosum* group Phureja). *Food Chemistry*, 126(1), 394-399.

Murillo, B. (1994). Manual de laboratorio nutrición animal. Zamora. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/75f4d317-84b1-4e66-bc1e-9fe07dd8d714/content>

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

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.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017). *Guía para el desarrollo de mercados de productores. Proyecto Creación de Cadenas Cortas Agroalimentarias en la ciudad de México*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i8096s/i8096s.pdf>

Palacios-Fonseca, A.J., Vazquez-Ramos, C. and Rodríguez-García, M.E. (2009) Physicochemical Characterizing of Industrial and Traditional Nixtamalized Corn Flours. *Journal of Food Engineering*, 93, 45-51. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408006122>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.030>

Palacios-Rojas, N. (2018). Calidad nutricional e industrial de Maíz: Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz “Evangalina Villegas”. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/19667/59829.pdf>

- Paliwal, R. L. (2001). El Maiz en Los Tropicos: Mejoramiento Y Produccion (Coleccion FAO: Produccion Y Proteccion Vegetal) (No. 28). Food & Agriculture Org.
- 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. <https://hablemosclaro.org/bebidas-fermentadas-de-maiz/>
- Paulsmeyer, M., Chatham, L., Becker, T., West, M. West, L., y Juvik, J. (2017). A survey of anthocyanin composition and concentration in div
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., & Mollinedo, P. (2014). PHENOLIC COMPOUNDS IN FOOD. Bolivian Journal of Chemistry. Vol. 31, No.2, pp. 68-81
- Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F. V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T. R., & Tovar Gómez, M. D. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura técnica en México, 32(3), 341-352.
- Pérez, M., Ospina, D., López, D., Blare, T. y Donovan, J. (2019). La cadena de maíz azul en México ¿Por qué no se ha desarrollado plenamente? *Enlace La revista de la Agricultura de Conservación*, 50: 44-51. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/20752>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- 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>
- Ramírez, Z. R., Santillán, J. A. L., Encinia, F. B., Fuentes, S. V., & Castillo, M. D. C. M. (2014). Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz

- en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (62), 69-75.
- 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.
- Ramírez-Pérez, A. R., Díaz-Ruiz, R., Jacinto-Hernández, C., Paredes-Sánchez, J. A., & Garza García, R. (2012). Diversidad de frijoles nativos de diferentes regiones del estado de Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3), 467-480.
- Reyna, P. M. (2023). Caracterización física, química, nutracéutica y propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (*Zea mays*) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro).
- Rivas-Pérez, B. N., Leal-Ganadillo, I. A., Loaiza-Cuauro, L. F., Morillo, Y. E., & Colina-Chirinos, J. C. (2017). Phenolic Compounds and antioxidant activity in extracts of four Oregano species. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(3), 134-142. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702017000300002&script=sci_abstract&tlng=en
- Rodríguez-Salinas, P. A., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, D., Basilio-Heredia, J., Suarez-Jacobo, A., Báez-González, J. G., Zavala-García, F. y Niño-Medina, G. (2021). Efecto de termosonicación y pasteurización sobre propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutracéuticas en bebidas de maíz. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 23(1): 92–101.
- Salinas, Y., Soria, J., & Espinoza, E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. México: *Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria*.
- Salinas-Moreno, Yolanda, Pérez-Alonso, José J., Vázquez-Carrillo, Gricelda, Aragón-Cuevas, Flavio, & Velázquez-Cardelas, Gustavo A.. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia*, 46(7), 693-706. Recuperado en 26 de marzo de 2025,

de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000700005&lng=es&tlng=es.

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.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera, (Sagarpa-Siacon, 2018). Recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

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.

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

Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. (2007). *Elaboración y caracterización de tesgüino de maíz azul (Zea mays)*. Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Morelia, Michoacán. Recuperado de https://smbb.mx/congresos%20smbb/morelia07/TRABAJOS/Area_III/Carteles/CIII-48.pdf

Srinivasa N.R. et al. 2004. Tart cherry anthocyanins suppress inflammation-induced pain behavior in rat. *Behavioural Brain Research*. 153:181-188.

W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, and C. Berset. *Lebenson Wiss Technol*; 28 (1995) 25-30.

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.

Xochipa-Morante, Reyna Concepción, Escobedo-Garrido, José Sergio, Macías-López, Antonio, Guerrero-Rodríguez, Juan De Dios, Valadez-Ramírez, Mario, & Mora-Flores, José Saturnino. (2021). Consumidores de productos de maíz azul en mercados de productores, Sierra Nevada, Puebla, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 31(58), e211176. Epub 22 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.24836/es.v31i58.1176>

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.

Zduńska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A., & Rotsztein, H. (2018). Antioxidant properties of ferulic acid and its application. *Skin pharmacology and physiology*, 31(6), 332-336.

Zhapan-Revilla, M. X., Morales, K. L., Pita, M. D. L. Á. B., Veiga, D., & Herrera, A. M. (2021). Potencial antioxidante de hojas de guanábana (*Annona muricata* L.) para sistemas productivos de banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 35-40. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/444>.