

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



IMPACTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA
TEMPERATURA EN COMPUESTOS BIOACTIVOS EN
GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS

Tesis

Que presenta EDDALIZ GARCÍA REYES

como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRO EN
TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

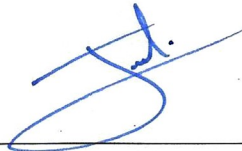
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2022

IMPACTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA EN
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS

Tesis

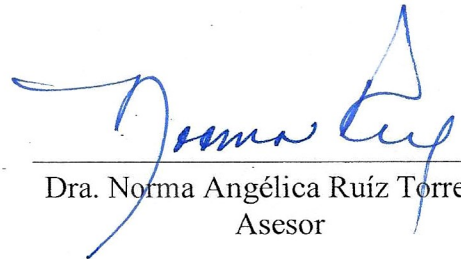
Elaborada por EDDALIZ GARCÍA REYES como requisito parcial para obtener el
Grado de Maestro en Tecnología de Granos y Semillas con la supervisión y aprobación
del Comité de Asesoría.



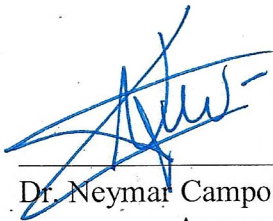
Dr. Josué Israel García López
Asesor Principal



Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor



Dra. Norma Angélica Ruíz Torres
Asesor



Dr. Neymar Camposeco Montejo
Asesor



Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2022

Agradecimientos

A Dios, a la vida y al universo por todos mis aprendizajes adquiridos en mi formación y por permitirme llegar hasta aquí.

Al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada el último año para continuar mis estudios.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por recibirme para realizar mis estudios desde mi Ingeniería hasta postgrado.

Al Dr. Josué García López por guiarme como asesor principal, por brindarme su apoyo y compartirme sus conocimientos.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres por sus conocimientos compartidos, por la facilitación del laboratorio, pero sobre todo por la confianza brindada.

Al Dr. Antonio Flores Naveda por el acceso de los genotipos del estudio y por brindarme sus conocimientos durante la fase de multiplicación del grano en campo, así como en las materias impartidas.

A la QFB. María del Carmen Julia García por el apoyo brindado y facilitarme los materiales del laboratorio de Ciencias Básicas.

Dedicatoria

A mis padres Elena y Edmundo, a ellos que me inculcaron valores y me ayudaron a salir adelante siempre sin desistir y perseguir cualquier meta. A mi madre que siempre trabajó sin cesar para sus hijos y para nuestros estudios, resaltando que es la única cosa en la vida que nadie nos podrá arrebatarnos.

Al gran sensei de mi vida Francisco A. Esquivel Sánchez por creer en mí, alentarme y darme consejos siempre en el mejor momento.

A mi hermana Alma y a mis amigos por su apoyo, sus palabras y su confianza en todo lo que hago.

A mi primo Joel†, que siempre me alentó a ser mejor.

A los agricultores que preservan los maíces nativos de México.

Índice general

Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen y evolución.....	5
Centro de origen.....	6
Descripción del maíz.....	6
Producción e importancia mundial del maíz.....	7
Producción nacional del maíz blanco, maíces pigmentados y maíz azul.....	8
Importancia del maíz pigmentado.....	8
Maíz azul y sus componentes nutraceuticos.....	9
Almacenamiento tradicional de maíces pigmentados.....	10
Problemáticas del almacenamiento de los maíces nativos.....	11
REFERENCIAS.....	12
CAPÍTULO 2: COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE GENOTIPOS DE MAÍZ PIGMENTADO (AZUL/MORADO).....	16
RESUMEN.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	25
REFERENCIAS.....	26
CAPÍTULO 3: IMPACTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA EN COMPUESTOS BIOACTIVOS EN GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS.....	29
RESUMEN.....	29

INTRODUCCIÓN	30
MATERIALES Y MÉTODOS	31
Material genético	31
Incremento de los materiales	31
Obtención de muestras y condiciones de almacenamiento	32
Cromaticidad del grano	33
Extracción de compuestos fenólicos (libres y ligados)	33
Determinación de fenoles totales y flavonoides totales (libres y ligados)	33
Contenido de antocianinas totales	34
Capacidad antioxidante	34
Retención (%) de compuestos al final del almacenamiento	35
Diseño experimental y análisis estadístico	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Polifenoles y propiedades cromáticas para la fuente de variación genotipos	35
Propiedades antioxidantes para la fuente de variación genotipos	36
Resultados de la interacción tiempos x almacenamiento	37
Fenoles totales (solubles y ligados).....	37
Flavonoides totales (solubles y ligados).....	39
Color del grano y antocianinas	41
Propiedades antioxidantes	43
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	46
ANEXO I	50
APÉNDICE I.....	51

Lista de cuadros

Capítulo 2

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (azul/morado) seleccionados para el estudio.	19
---	----

Capítulo 3

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (azul/morado) seleccionados para el estudio	32
Cuadro 2. Concentración de polifenoles y propiedades cromáticas de genotipos de maíz azul.	36
Cuadro 3. Capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP de genotipos de maíz azul.	37
Cuadro 4. Contenido de fenoles totales (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.	38
Cuadro 5. Contenido de flavonoides totales (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.....	40
Cuadro 6. Contenido de antocianinas totales y propiedades cromáticas en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.....	42
Cuadro 7. Capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 a diferentes temperaturas.	43
Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables funcionales y parámetros cromáticos de genotipos de maíz pigmentado almacenados a 120 días a diferentes temperaturas.	50
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP de genotipos de maíz pigmentado almacenados a 120 días a diferentes temperaturas.	50

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 1. Concentración de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) de cinco genotipos de maíz morado.	21
Figura 2. Concentración de antocianinas totales (C) y taninos condensados (D) de cinco genotipos de maíz morado..	22
Figura 3. Capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíz morado por los ensayos de DPPH y ABTS.	24

RESUMEN

**IMPACTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA EN
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS**

POR

EDDALIZ GARCÍA REYES

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ – ASESOR -

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2022

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo en México, y constituye la dieta básica de los mexicanos en más de 600 productos como atole, pozole, tamales, huaraches, bebidas refrescantes, gorditas, sopes, tostadas, elotes y tortillas principalmente. México por ser el centro de origen y domesticación del maíz, cuenta con maíces nativos de diferentes pigmentaciones desde rosa, rojo, morado, azul hasta negro, que aportan mayor valor nutricional y nutracéutico a los consumidores. Estudios recientes muestran que el maíz azul/morado contrarresta la obesidad, diabetes, cáncer, problemas cardiovasculares, visuales y mejora la salud de quien lo consume, por su alto contenido de compuestos polifenólicos y antioxidantes.

Sin embargo, estos maíces pigmentados se producen a pequeña escala por pequeños productores a lo largo de la república mexicana, alcanzando una producción menor al 1% según el SIAP (2022), y son usados para alimento de subsistencia, por tal motivo son almacenados a corto, mediano y largo plazo. El tipo de almacenamiento usado para los maíces pigmentados regularmente son costales colgados, en graneros o tejabanos rústicos; sin embargo, el maíz azul cuenta con un endospermo suave que lo hace susceptible a pérdidas por plagas y enfermedades, donde también se ven afectados los compuestos polifenólicos por diferentes factores ambientales como la luz, pH, humedad, temperatura entre otros. No obstante, a la fecha no hay estudios en almacenamiento de maíz azul que evalúe el nivel de degradación de compuestos nutracéuticos a diferentes temperaturas por un periodo prolongado de almacenamiento.

Debido a lo anterior, es importante conocer la tasa de degradación de los compuestos polifenólicos y antioxidantes de grano de maíz azul al ser almacenados durante un periodo de tiempo prolongado (120 días) a diversas temperaturas (6, 25 y 35 °C), a fin de ayudar a salvaguardar la seguridad alimentaria de pequeños productores, conservar los maíces nativos e incrementar la producción del maíz azul a nivel nacional, tomando en cuenta el valor nutracéutico que estos aportan en la alimentación humana.

Por lo tanto, para conocer el impacto del tiempo y de la temperatura en los compuestos bioactivos de los granos de maíz azul durante el almacenamiento, el presente proyecto de investigación se llevó a cabo en dos etapas. El objetivo de la primera etapa fue evaluar y comparar el contenido de compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas y taninos condensados) y la capacidad antioxidante, por los métodos de

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) y ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline 6sulfonic acid)), en cinco genotipos de maíces pigmentados azul/morado de diferentes razas (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño y Cónicos), identificados como Morado Peruano (MPE), Morado Antonio Narro (MAN), Morado Veracruz (MV), Morado Sinaloa (MS) y Morado Poblano (MP). La segunda etapa, tuvo como objetivo evaluar el impacto del tiempo de almacenamiento, a 0, 30, 60, 90 y 120 días, y temperaturas de 6, 25, y 35 °C, sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales (solubles y ligados), antocianinas totales, parámetros de cromaticidad (L^* , C^* y h) y capacidad antioxidante por los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP (poder antioxidante reductor férrico) de tres genotipos de maíz azul, identificados como Azul Veracruz (AV), Azul Sinaloa (AS) y Azul Poblano (AP). Los resultados de la primera etapa indicaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos para el contenido de fenoles y flavonoides totales, antocianinas, taninos condensados y la capacidad antioxidante. Los genotipos MAN y PME presentaron los niveles más altos en fenoles y flavonoides totales con 6,359.8 y 14,999.2 mg GAE/100 g, y 750.7 a 2,641.5 mg CE/100 g, respectivamente. El contenido de antocianinas osciló entre 3.29 a 31.56 mg C3GE/100 g, y el contenido de taninos condensados fue de 25.96 a 476.01 mg CE/100 g. El genotipo que presentó la mayor capacidad antioxidante fue MPE, con 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ en DPPH, y 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ en ABTS. Los resultados de la segunda etapa permitieron observar que los genotipos se comportaron estadísticamente igual en la interacción genotipos x temperaturas, mostrando únicamente diferencias significativas para la interacción tiempos x temperaturas. El tiempo de almacenamiento a 120 días y la temperatura a 35 °C afectaron la concentración de fenoles y flavonoides totales en 49.33 y 61.09%; mientras que las antocianinas totales fueron afectadas en un 53.33%, respectivamente. Además, al final del almacenamiento (120 días) el color de las muestras fue inestable a 25 y 35 °C, y la capacidad antioxidante se redujo en 17.87, 17.84 y 18.93% para DPPH, ABTS y FRAP, respectivamente.

Palabras clave: *Zea mays* L., maíces pigmentados, condiciones de almacenamiento, polifenoles, antioxidantes, cromaticidad.

ABSTRACT

**IMPACT OF STORAGE TIME AND TEMPERATURE ON BIOACTIVE
COMPOUNDS IN PIGMENTED MAIZE KERNELS**

BY

EDDALIZ GARCÍA REYES

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ – ADVISOR -

Saltillo, Coahuila

December 2022

Maize (*Zea mays* L.) is the main crop in México, and constitutes the basic diet of Mexicans, it is used in more than 600 products such as atole, pozole, tamales, huaraches, soft drinks, gorditas, sopas, tostadas, corn and tortillas mainly. Mexico, being the center of origin and domestication of corn, has native corn of different pigmentations from pink, red, purple, blue to black, which provide greater nutritional and nutraceutical value to consumers. Recent studies showed that blue/purple maize reduces obesity, diabetes, cancer, cardiovascular and visual problems and improves the health of those who consume it, due to its high content of polyphenolic compounds and antioxidants.

However, these pigmented maizes are produced on a small scale by small farmers throughout Mexico, reaching a production of less than 1% according to SIAP (2022), and it is used for food and subsistence, for this reason maize is stored in short, medium and long time. The type of storage used for pigmented maize is usually in sacks hung in barns or rustic sheds; however, blue/purple maize has a soft endosperm that makes it susceptible to losses due to pests and diseases, where polyphenolic compounds are also affected by different environmental factors such as light, pH, moisture, temperature, among others, during storage. On the other hand, to the present date, there are not storage studies on blue/purple maize that evaluate the degree of degradation of nutraceutical compounds at different temperatures for a prolonged period of storage.

Due to the above explanation, it is important to know the degradation rate of polyphenolic compounds and antioxidants of blue maize kernels when stored for a period of time (120 days) at various temperatures (6, 25 and 35 °C), in order to help safeguard the food security of small producers, conserve native maize and increase the national production of blue/purple maize, considering the nutraceutical value they provide to humans.

Therefore, to know the impact of time and temperature on bioactive compounds in blue/purple maize kernels during storage, the present research project was conducted in two phases. The objective of the first phase was to evaluate and compare the content of phenolic compounds (total phenols, total flavonoids, anthocyanins and condensed tannins) and the antioxidant capacity, by the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline 6sulfonic acid)), in five genotypes of blue/purple pigmented maize of different breeds (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño and Cónicos), identified as Morado Peruano (MPE), Morado Antonio Narro (MAN), Morado Veracruz

(MV), Morado Sinaloa (MS) and Morado Poblano (MP). The second phase was aimed to evaluate the impact of storage time (0, 30, 60, 60, 90 and 120 days), and temperatures (6, 25, and 35 °C), on the content of total phenols and flavonoids (soluble and bound), total anthocyanins, chromaticity parameters (L^* , C^* and h) and antioxidant capacity by DPPH, ABTS and FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays of three blue/purple maize genotypes, identified as Azul Veracruz (AV), Azul Sinaloa (AS) and Azul Poblano (AP). The results of the first phase indicated significant differences ($p \leq 0.05$) among genotypes for total phenol and flavonoid content, anthocyanins, condensed tannins, and antioxidant capacity. MAN, and PME genotypes presented the highest levels in total phenols and flavonoids with 6,359.8 and 14,999.2 mg GAE/100 g, and 750.7 to 2,641.5 mg EC/100 g, respectively. The anthocyanin content ranged from 3.29 to 31.56 mg C3GE/100 g, and the condensed tannin content was from 25.96 to 476.01 mg CE/100 g. The genotype with the highest antioxidant capacity was MPE, with 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ in DPPH, and 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ in ABTS.

The results of the second stage showed that the genotypes were statistically equal in the genotype x temperature interaction, showing significant differences only for the time of storage x temperature interaction. The storage time to 120 days and the temperatures to 35 °C affected total phenols and flavonoids by 49.33 and 61.09%, respectively, while total anthocyanins were affected by 53.33%. In addition, the color of the samples was unstable at 25 and 35 °C, and the antioxidant capacity showed a reduction of 17.87, 17.84 and 18.93% for DPPH, ABTS and FRAP, respectively.

Keywords: *Zea mays* L, pigmented maize, storage conditions, polyphenols, antioxidants, chromaticity.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El maíz es una planta con centro de origen y domesticación en México, cuenta con una diversidad amplia, cerca de 59 razas de maíz, lo que representa un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Kato *et al.*, 2009; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020). Las razas muestran variantes de grano pigmentado, con colores del negro hasta rosa pálido, y los más comunes son rojo y azul (Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019). En México, el consumo diario promedio per cápita de maíz es 335 g, lo que equivale de 122 a 196.4 kg/año según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés, 2012), y es en forma de tortillas, gorditas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales, elotes y muchos otros (Juárez *et al.*, 2020). Según la Secretaría de Economía (S.E., 2012), el maíz que más se consume es el blanco, importado de Estados Unidos, el cual tiene aportes nutricionales y funcionales menores al de los maíces pigmentados mexicanos.

Los maíces pigmentados además de tener mayor aporte nutricional presentan propiedades nutraceuticas que están relacionadas con su alto contenido de antocianinas, las cuales poseen actividad biológica benéfica (antioxidante) derivada de sus metabolitos secundarios, que reducen enfermedades como la diabetes tipo 2, la obesidad, problemas visuales hasta diferentes tipos de cáncer (Colín-Chávez *et al.*, 2020; Damián-Medina *et al.*, 2020).

Específicamente en el maíz azul, el color se encuentra en la capa de células llamada aleurona, donde hay una mayor concentración de pigmentos de antocianina y hace que los granos parezcan negros (Arellano-Vázquez *et al.*, 2021). Sin embargo, la estabilidad de las antocianinas depende de la presencia de luz, oxígeno, pH, presencia de iones metálicos (Ca^{2+}), temperatura, humedad y almacenamiento (Bordignon-Luiz *et al.*, 2007).

El mercado nacional e internacional del maíz azul se ha incrementado en varias industrias como la textil, cosmética y en la industria de alimentos nutraceuticos y funcionales, por

la demanda de estos productos por parte de los consumidores; pero la producción de maíces pigmentados en México se lleva a cabo por pequeños productores, quienes los cultivan para el autoconsumo y representa menos del 1%, de los cuales el 0.04% es para maíz azul, lo cual indica un bajo aprovechamiento, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticas representa una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejoras características funcionales y nutricionales (Herrera-Sotero *et al.*, 2017; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2022).

No obstante, los agricultores suelen almacenar los granos de maíz en costales, bolsas, canastos, silos, tejaban o graneros rústicos por periodos prolongados, pero el endospermo que presentan la mayoría de los maíces azules es de textura suave (grano harinoso) y lo hace aún más difícil de conservar, pues se vuelve vulnerable al ataque de plagas, lo que afecta la calidad nutricional y nutraceutica (Xochipa-Morante *et al.*, 2021).

El Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Sinaloa, Jalisco, y Michoacán, son las principales regiones donde se cultivan maíces pigmentados, pero estas presentan diversas condiciones ambientales (temperaturas, humedad relativa, etc.), que se tienen que tomar en cuenta para la conservación de semillas y granos de maíz azul, pues diversos estudios en granos básicos (soya, trigo, sorgo, arroz) han demostrado que el tiempo prolongado y la temperatura de almacenamiento afectan las concentraciones de compuestos nutraceuticos (polifenoles) y nutricionales (proteínas y carbohidratos), tanto en grano como harina (De Oliveira *et al.*, 2017; Lang *et al.*, 2019; Prabakaran *et al.*, 2018). Si bien es sabido, los maíces de grano azul son susceptibles a cortos periodos de almacenamiento para la degradación de sus componentes químicos, no obstante, ningún estudio ha documentado en qué medida pueden llegar a presentarse estas pérdidas.

En atención a lo anterior, es importante llevar a cabo estudios de almacenamiento en maíces pigmentados sometidos a diferentes condiciones de almacenamiento con temperaturas promedio que predominan en las principales zonas productoras. El presente estudio, en primera instancia tuvo como objetivo llevar a cabo la recolección de maíz

azul/morado en diferentes estados de México y del extranjero para ser caracterizados en cuanto a la concentración de compuestos fenólicos y antioxidantes. Posteriormente, los genotipos de maíz azul se almacenaron para evaluar el efecto que tiene la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre los compuestos polifenólicos, antioxidantes y el color.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis de la etapa 1

H₀: Los genotipos de maíz azul pigmentados presentan diferencias en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS).

H₁: Los genotipos de maíz azul pigmentados no presentan diferencias en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS).

Objetivo de la etapa 1

Evaluar y comparar el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíces pigmentados azul/morado de diferentes razas (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño y Cónicos).

Hipótesis de la etapa 2

H₀: El tiempo de almacenamiento (0, 30, 60, 90 y 120 días) y la temperatura (6, 25, y 35 °C) influye en el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y color en granos de maíces pigmentados: Poblano, Veracruz y Sinaloa.

H₁: El tiempo de almacenamiento (0, 30, 60, 90 y 120 días) y la temperatura (6, 25, y 35 °C) no influye en el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y color en granos de maíces pigmentados: Poblano, Veracruz y Sinaloa.

Objetivo de la etapa 2

Evaluar el impacto del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y color en granos de maíces pigmentados (Poblano, Veracruz y Sinaloa).

Los resultados de esta investigación se presentan en tres capítulos, el primer capítulo engloba la introducción, hipótesis, objetivos y revisión de literatura. Para el segundo

capítulo se presenta la información del artículo publicado en la revista Temas de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), que documenta las diferencias en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíces pigmentados de diferentes razas. El capítulo 3, presenta el efecto que genera diferentes temperaturas a 120 días de almacenamiento sobre los compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante en granos de maíz azul, estos resultados están por enviarse a la revista Cogent Food & Agriculture.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y evolución

El maíz se originó en el altiplano de México hace 7.000 a 10.000 años, según datos arqueológicos que han demostrado que el maíz se cultivaba en el año 2000-2500 a.C. La evidencia paleoetnobotánica más antigua de su domesticación se encuentra en un sitio arqueológico llamado "Nac Neish", ubicado en el sur del estado de Tamaulipas, México, el cual consta de tres cuevas primitivas que presentan datos entre 6000 y 20.000 años a.C. Otros sitios arqueológicos importantes se encuentran en los estados de Puebla, Oaxaca y México, pues existen registros antiguos (5000 años a.C.) de maíz y teosinte (*Zea mexicana* y *Zea perennis*) en los sitios arqueológicos denominados "La Playa" y "Nevada", ubicados en el valle de Tehuacán, además otros dos tipos de teosintles denominados Chalco y Balsas fueron encontrados en el oeste de México ubicados en altitudes altas y bajas respectivamente (García-Lara y Serna-Saldivar, 2019).

Al principio se consumían las cañas jóvenes del teosinte a través de la masticación o fermentación para obtener su azúcar, posteriormente, una alteración genética ocurrida entre los 7,000 y 8,000 años permitió el ablandamiento del gluten externo, el aplanado de la cúpula y la inclinación del grano en el olote, que al quedar desnudo facilitó su remoción, cosecha y finalmente el consumo humano de la semilla (Mariaca *et al.*, 2007).

Se han postulado tres teorías sobre el origen evolutivo del maíz, la primera propone que el maíz es el resultado del cruce de teosinte por *Tripsacum*, la segunda es que procede de un maíz tunicado y que el teosinte es el resultado del cruce de *Zea* por *Tripsacum* y la tercera, y más reconocida, es que el maíz evolucionó a partir del teosinte (Serna-Saldivar, 2015). La transformación del maíz a partir del teosinte tardó probablemente entre 100 y 200 años, y pruebas basadas en estudios cromosómicos y en la morfología de las mazorcas indican que al menos dos domesticaciones independientes de dos teosintes dieron origen a dos maíces diferentes (clasificados como cónicos o cilíndricos). Por otra parte, la selección recurrente por parte de muchas generaciones de humanos ha dado como

resultado una magnífica estructura portadora de granos capaz de llevar un alto número de cariósides con valiosa información genética.

Centro de origen

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29%) se han identificado como mexicanas, no obstante, solo se reportan para México 59 razas que se pueden considerar nativas y cinco que fueron descritas inicialmente en otras regiones de Cuba y Guatemala, pero que también se han colectado o reportado en el país (Wellhausen *et al.*, 1951; CONABIO, 2020).

De esta manera, a México se le considera centro del origen y diversidad del maíz (*Zea mays* L.), debido a la identificación de las 59 razas bien definidas (por ejemplo, subpoblaciones que son morfológica y genéticamente distintas, aspectos bioquímicos y moleculares), en muchas de ellas hay un sinnúmero de variedades que son cultivadas por los productores (Colín-Chávez *et al.*, 2020). Asimismo, es reconocido que los campesinos conservan la diversidad del cultivo por razones sociales, económicas y culturales, o cuando las variedades locales muestran un comportamiento agronómico superior al de las variedades mejoradas (Hellin *et al.*, 2013).

Descripción del maíz

La planta del maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia *Gramineae* y es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética, es de porte robusto de fácil desarrollo, el tallo es simple y erecto sin ramificaciones, la duración del período de crecimiento, el potencial de rendimiento y el tamaño de la planta varían considerablemente, dependiendo de la región de producción, pudiendo alcanzar hasta los cuatro metros de altura (Tobar y Colonia, 2013; CONABIO, 2020).

Su ciclo vegetativo tiene un rango muy amplio según las variedades, encontrado algunas tan precoces con alrededor de 80 días, hasta las más tardías con alrededor de 200 días desde la siembra hasta la cosecha. La reproducción de este cultivo se efectúa mediante una espiga o inflorescencia masculina y la inflorescencia femenina, el maíz es el único

que tiene las flores masculinas y femeninas separadas. Tras la polinización, se desarrolla el núcleo o fruto, denominado botánicamente cariósido. El grano de maíz consta de tres estructuras principales: pericarpio, endospermo y germen. El pericarpio o cubierta del fruto es una fina capa exterior que protege la verdadera semilla, formada por el germen y el endospermo, considerados los tejidos de primera y segunda reserva. El germen contiene el eje embrionario y el escutelo, mientras que el endospermo está formado principalmente por gránulos de almidón, que sirve como principal fuente de energía para la germinación de la semilla (Serna-Saldivar, 2010).

Producción e importancia mundial del maíz

El maíz tiene un alto valor e importancia económica en todo el mundo, no sólo como alimento humano, sino también como materia prima para una gran cantidad de productos industriales y biocombustibles (Colombo *et al.*, 2021). En la agricultura de subsistencia, el maíz se cultiva y utiliza como alimento básico, pero en muchos países desarrollados, más del 85% del maíz producido o importado se utiliza para la alimentación animal (FAO, 2018).

La producción mundial de maíz ha aumentado debido al desarrollo de genotipos, regulares y modificados genéticamente de alto rendimiento, y a su mayor adaptación a diferentes ecosistemas, convirtiéndose en el líder mundial, superando al arroz y al trigo desde hace unos 10 años. El Cinturón Maicero de Estados Unidos produce el 38% del total mundial, seguido de China (18%), Brasil (8%), Argentina (8%), Países Bálticos (9.5%), India (5%) y México (3%) (FAO, 2018).

Con los datos anteriores, México es deficitario en maíz por cerca de 7.9 millones de toneladas anuales en promedio en los últimos años, las cuales han sido cubiertas con importaciones de maíz blanco y amarillo provenientes principalmente de los Estados Unidos. Los problemas principales del cultivo de maíz en México son los bajos rendimientos por producción de temporal (S.E., 2012; Juárez *et al.*, 2020).

Producción nacional del maíz blanco, maíces pigmentados y maíz azul

En el entorno nacional, para el año 2021 se destinó una superficie de 7,309,546.20 ha para el maíz, lo que representó una producción de 27,503,477.82 t ha⁻¹ de maíz a nivel nacional; encabezado por el maíz blanco con 24,235,821.46 t ha⁻¹, seguido del maíz amarillo con 3,147,058.83 t ha⁻¹, al maíz de color le corresponden 83,072.64 t ha⁻¹, y solo 11,878.68 t ha⁻¹ al maíz azul, donde se destacan los estados de Chihuahua y Puebla por su producción (SIAP, 2022).

En consecuencia, la producción de maíces nativos en México corresponde sólo el 0.30% de la producción nacional y el maíz azul representa el 0.04%; esto conlleva a que el precio del maíz azul sea de 70 a 80% mayor que el del blanco, y dada a su rentabilidad y potencial, la situación ha alentado a los productores a seguir con su producción (Juárez *et al.*, 2020; SIAP, 2022).

Aunado a lo anterior, el maíz azul es cultivado por pequeños productores que conservan los maíces nativos de color azul bajo agricultura familiar de subsistencia, con poca superficie, entre 0.5 y 1.0 hectáreas, además, 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 (Xochipa-Morante *et al.*, 2021).

Importancia del maíz pigmentado

Los maíces azules, negros, púrpura y rojos se conocen como maíces pigmentados y deben su coloración a la frecuencia de pigmentos como carotenoides en los granos amarillos, y antocianinas en los azules o rojos; los cuales aportan mayores contenidos nutricionales y nutraceuticos a los consumidores (Juárez *et al.*, 2020).

En las estructuras del grano de maíz, se almacenan la fibra, los carbohidratos, las proteínas y las grasas que han servido de alimento para la población desde hace miles de años, y en la actualidad es una de las materias primas más importantes en diversas industrias tanto alimentaria como animal (Graillet *et al.*, 2019).

Cabe mencionar, que en México estos maíces pigmentados son producidos por agricultores de subsistencia, con prácticas culturales y de cultivo, que imprimen rasgos de identidad regional, atributos simbólicos y patrimoniales; en suelos marginales y en pequeñas superficies, y la mayor parte de su producción se destina para el autoconsumo (Cárdenas-Marcelo *et al.*, 2019; Blanch y del Castillo, 2021). Sin embargo, en los estados como Puebla y México, la relación beneficio/costo de la producción de maíz azul es superior a la razón del maíz comercial de grano blanco (Graillet *et al.*, 2019).

En los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla y el Estado de México, están las razas de maíces pigmentados: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Grande, Bolita, Cónico, Mushito y Tuxpeño (Bello-Pérez *et al.*, 2016). Lugares donde actualmente se realizan productos con valor agregado a base de maíz azul por pequeñas agroindustrias, talleres rurales o los mismos productores, que se dedican a la preparación de tortillas, tlacoyos, pinole, tostadas, totopos y nachos entre otros productos, y se destinan a sistemas alimentarios locales como tianguis, ferias rurales, puestos en la calle, mercados locales de productores y tienditas (Papaoikonomou y Ginieis, 2015; Ortega-Ortega, 2018).

Maíz azul y sus componentes nutracéuticos

Los consumidores prefieren productos de maíz azul por el sabor (más dulce y pronunciado), siendo este el principal atributo organoléptico de preferencia por el mercado (86.7%), con una textura más suave y flexible (Xochipa-Morante *et al.*, 2021). El color, sabor y textura de los productos derivados del maíz azul se debe a las antocianinas presentes en las estructuras externas del grano, que desarrolla actividad antioxidante y anticancerígena brindando propiedades nutracéuticas al ser humano (Blare *et al.*, 2020).

El color del grano del maíz azul se debe a las antocianinas, pigmentos vegetales derivados de la cianidina, que se localizan en el pericarpio y/o en la capa de aleurona, son solubles en agua y se utilizan en la elaboración de colorantes de vinos, mermeladas, jugos de fruta y textiles (Salinas-Moreno *et al.*, 2021). Los maíces pigmentados poseen excelentes propiedades nutricionales, gracias a su alto contenido de fitonutrientes con roles funcionales en la salud humana, actúan como antiinflamatorias y antioxidantes, reducen

el colesterol y triglicéridos en la sangre, inhiben la peroxidación de lípidos en el hígado, prevención de enfermedades cardiovasculares, control de la obesidad, de la diabetes y se relacionan con la reducción de cáncer (Blanch y del Castillo, 2021).

Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de flavonoides, en los maíces de grano azul, las antocianinas derivan de cianidina y en su fórmula se constituye por dos anillos aromáticos unidos por una estructura desde tres carbonos, que puede disminuir el daño oxidativo de las biomoléculas pronunciando los efectos de los oxidantes reactivos (Bello-Pérez *et al.*, 2016; Kadiri *et al.* 2017).

La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces; por ejemplo, si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano se puede usar para la nixtamalización y elaborar productos con tonalidades azules, pero si se acumula en el pericarpio, y en cantidad suficiente el grano pigmentado se podría utilizar para la extracción de pigmentos (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

Almacenamiento tradicional de maíces pigmentados

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los productos más comercializados a nivel mundial, pero durante el manejo de postcosecha se reduce la cantidad (60%) y calidad (el color, sabor, valor nutricional y funcional) de los granos almacenados, perjudicando gravemente al agricultor por las pérdidas económicas que ocasionan, a esto se lo conoce como umbral de daño económico, debido al riesgo de invertir en las cosechas (NKhata *et al.*, 2021; Taleon *et al.*, 2017).

Además, el manejo del maíz en postcosecha es una actividad muy compleja, ya que la conservación de este en almacenes representa una gran amenaza para la integridad del grano, y se han encontrado diferentes formas o prácticas para su conservación (Deras-Flores, 2020; Odjo *et al.*, 2022).

El principio de un buen almacenamiento y conservación de granos y semillas es el empleo de bodegas secas, limpias y libres de plagas; donde se almacenan granos o semillas secas,

enteras, sanas y sin impurezas; independientemente del tipo de almacén o de recipiente que se utilice, el producto almacenado debe mantenerse fresco, seco y protegido de insectos, pájaros, hongos y roedores. Sin embargo, los productores de maíces pigmentados no tienen acceso a este tipo de recipientes e infraestructuras para almacenar los granos en condiciones adecuadas (Castillo-Najar, 2019; Manrique y Vera, 2022).

Problemáticas del almacenamiento de los maíces nativos

El almacenamiento de los granos básicos es indispensable para la seguridad alimentaria a mediano y largo plazo. La localización de los sitios de producción es importante para los pequeños productores por las temperaturas del almacén, altura sobre el nivel del mar y los problemas que esto conlleva, debido a que el almacenamiento de los maíces nativos en México se realiza de forma tradicional (costales, tejabanos, graneros rústicos, etc.), ya que pocos productores tienen acceso a silos y bolsas herméticas (Odjo *et al.*, 2022; Fonteyne *et al.*, 2021).

Además, el maíz azul cuenta con un tipo de endospermo suave, que hace al grano susceptible a factores bióticos: ataque de plagas primarias (gorgojo del maíz: *Sitophilus zeamais*, barrenador grande del grano: *Prostephanus truncatus* y la palomilla de los granos: *Sitotroga cerealella*) y enfermedades; y abióticos como: la luz, pH, temperatura, tiempo, humedad, almacenamiento y transformación del alimento. Estas condiciones afectan la concentración de metabolitos secundarios (polifenoles), específicamente en granos de maíz azul se disminuye la concentración de flavonoides de tipo antocianicos que afectan la capacidad antioxidante (García-Lara *et al.*, 2019; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019; García-Gómez *et al.*, 2022).

REFERENCIAS

- Arellano-Vázquez, J. L., Herrera-Zamora, A., Gutiérrez-Hernández, G. F., Ceja-Torres, L. F., and Flores Gómez, E. 2021. Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruza. *Idesia (Arica)*, 39(3), 75-82.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E., and Utrilla-Coello, R. G. 2016. Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063.
- Blanch, G. P., and Ruiz del Castillo, M. L. 2021. Effect of baking temperature on the phenolic content and antioxidant activity of black corn (*Zea mays* L.) bread. *Foods*, 10 (6), 1202.
- Blare, T., Donovan, J. and García-Medina, M. 2020. The right tortilla for the right occasion: variation in consumers' willingness to pay for blue maize tortillas based on utilization. *Journal of food products marketing*, 26(8), 564-579.
- Bordignon-Luiz, M. T., Gauche, C., Gris, E. F. and Falcao, L. D. 2007. Colour stability of anthocyanins from Isabel grapes (*Vitis labrusca* L.) in model systems. *LWT-Food Sci. Technol.* 40:549-599.
- Cárdenas-Marcelo, A. L., Vizcarra-Bordi, I., Espinoza-Ortega, A., and Espinosa-Calderón, A. 2019. Tortillas artesanales mazahuas y biodiversidad del maíz nativo. Reflexiones desde el ecofeminismo de la subsistencia. *Sociedad y Ambiente*, (19), 265-291.
- Castillo-Najar, W. 2019. Incidencia de hongos ocratoxigénicos en granos de maíz provenientes de distintos sistemas de almacenamiento.
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., and Astier, M. 2020. Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current research in food science*, 3, 189-194.
- Colombo, R., Ferron, L., and Papetti, A. 2021. Colored corn: An up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. *Molecules*, 26(1), 199.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. 2020. Razas de maíz de México <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.
- Damián-Medina, K., Salinas-Moreno, Y., Milenkovic, D., Figueroa-Yáñez, L., Marino-Marmolejo, E., Higuera-Ciapara, I. and Lugo-Cervantes, E. 2020. In silico analysis of antidiabetic potential of phenolic compounds from blue corn (*Zea mays* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Heliyon*, 6(3), e03632.
- De Oliveira, K.G., Queiroz, V.A.V.; De Almeida- Carlos, L.; De Morais- Cardoso, L., Pinheiro-Sant'Ana, H. M., Anunciação, P.C., De Menezes, C. B., Da Silva, E. C. and Barros, F. 2017. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. *Food Chem.*, 216, 390–398.
- Deras Flores, H. 2020. Guía técnica: el cultivo de maíz.
- Food and Agriculture Organization, FAO. 2012. FAOSTAT Base de Datos Estadísticos: [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org).
- Food and Agricultural Organization, FAO. 2018. FAOSTAT, Base de Datos Estadísticos: <http://apps.fao.org/>.

- Fonteyne, S., Burgueno, J., Albarran Contreras, A.B., Enríquez Andrio, E., Castillo Villasenor, L., Enyanche Velázquez, F., Escobedo Cruz, H., Espidio Balbuena, J., Espinosa Solorio, A., García Meza, P., González Galindo, F., González Regalado, J., Govaerts, B., López Durante, J.D., López Ramírez, A., Martínez Gamino, M.A., Martínez Hernández, Fermín Mora Gutiérrez, M., Nieves Navarro, A.I., Noriega Gonzalez, L.A., Núñez Penaloza, O., Osorio Alcala, L., de la Piedra Constantino, R., Ponce Lira, B., Rivas Jacobo, I.C., Saldivia Tejeda, A., Tapia Moo, C.A., Tapia Naranjo, A., Uribe Guerrero, M.A., Vilchis Ramos, R. and Villa Alcantara, J., Verhulst, N. 2021. Effects of conservation agriculture on physicochemical soil health in 20 maize-based trials in different agro-ecological regions across Mexico. *Land Degrad. Dev.* 1–15 <https://doi.org/10.1002/ldr.3894>.
- García-Gómez, R. S. 2022. Antocianinas del maíz azul (*Zea mays*) ¿Sustancias inocuas? Parte 5. Revisión bibliográfica de avances en los últimos 10 años. *Ambiens Techné et Scientia México*, 10(1), 117-150.
- García-Lara, S., and Serna-Saldivar, S. O. 2019. Corn history and culture. *Corn*, 1-18.
- García-Lara, S., García-Jaimes, E. and Bergvinson, D.J. 2019. Mapping of maize storage losses due to insect pests in central Mexico. *J. Stored Prod. Res.* 84, 101529. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101529>.
- 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.
- Hellin, J., Keleman, A., López, D., Donnet, L., y Flores, D. 2013. La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Revista Fitotecnia México*, (36), 315-328.
- Herrera-Sotero, M. Y., Cruz-Hernández, C. D., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H. S., Chávez-Servia, J. L. and Guzmán-Gerónimo, R. I. 2017. Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11(1), 1-8.
- Juárez, E. M. G., Martínez, D. L. A. and Juárez, A. D. G. 2020. Estudio De Mercado Del Maíz Azul (*Zea mays* L.) En México. *Innovación empresarial en Mercadotecnia*, 35.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. and Bye, R. A. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. D. F. 116 p.
- Lang, G. H., Da Silva-Lindemann, I., Ferreira, C. D.; Fernanda, J., Vanier, N. L. and De Oliveira, M. 2019. Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. *Food Chem.* 287, 197–204.
- Manrique, E. M., y Vera, V. J. 2022. Cereales (Técnicas de análisis). UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Mariaca M. R., Pérez P. J. y León M. N. S. 2007. La milpa tsotsil de los Altos de Chiapas y sus recursos genéticos. UNICH-ECOSUR, 272 pp.
- Nkhata, S.G., Liceaga, A.M., Rocheford, T., Hamaker, B.R. and Ferruzzi, M.G., 2021. Storage of biofortified maize in Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags reduces disulfide linkage-driven decrease in porridge viscosity. *Lebensm.-Wiss. and Technol.* 136. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110262>.

- Odjo, S., Palacios-Rojas, N., Burgueno, J., Corrado, M., Ortner, T. and Verhulst, N. 2022. Hermetic storage technologies preserve maize seed quality and minimize grain quality loss in smallholder farming systems in Mexico. *Journal of Stored Products Research*, 96, 101954.
- Ortega Ortega, Tomás. 2018. “Género, soberanía alimentaria y agrobiodiversidad: La Unión de Palmeadoras de la Heroica Ciudad se Tlaxiaco, Oaxaca” (Tesis de Doctorado en Ciencias). México: Programa de Postgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, 141 pp.
- Oseni Kadiri. 2017. A review on the status of the phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour: Effects of cereal processing. *International Journal of Food Properties*. 20:sup1, S798-S809, DOI:10.1080/10942912.2017.1315130
- Papaoikonomou, E. and Ginieis, M. 2015 La relación entre productor y consumidor en sistemas alimentarios locales: análisis de sus prácticas y narrativas. *Revista internacional de Organizaciones*, (14), 101-121.
- Prabakaran, M., Lee, J. H., Ahmad, A., Kim, S. H., Woo, K. S., Kim, M. J., and Chung, I. M. 2018. Effect of storage time and temperature on phenolic compounds of soybean (*Glycine max* L.) flour. *Molecules*, 23(9), 2269.
- Rodríguez-Salinas, P.A., Muy-Rangel, D., Urias-Orona, V., Zavala-García, F., Suarez-Jacobo, A., Heredia, J.B., Rubio-Carrasco, W. and Nino-Medina, G. 2019. Thermal processing effects on the microbiological, physicochemical, mineral, and nutraceutical properties of a roasted purple maize beverage. *Farmacia*. 67(4): 587–595 pp.
- Salinas-Moreno, Y., Esquivel-Esquivel, G., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., and Santillán-Fernández, A. 2021. Selección de germoplasma de maíz morado (*Zea mays* L.) con potencial para extracción de pigmentos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 309-309 pp.
- Secretaría de Economía, S. E. 2012. Análisis de la Cadena de valor maíz-tortilla: Situación Actual y Factores de Competencia Local., Dirección General de Industrias Básicas. 19 pp.
- Serna-Saldivar, S.O. 2010. Physical properties, grading and specialty grains. In: *Cereal Grains: Properties, Processing and Nutritional Attributes*. CRC Press, Boca Raton, 43–81 pp.
- Serna-Saldivar, S.O. 2015. History of corn and wheat tortillas. In: Rooney, L.W., Serna Saldivar, S.O. (Eds.), *Tortillas: Wheat Flour and Corn Products*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 1–28 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Taleon, V., Mugode, L., Cabrera-Soto, L. and Palacios-Rojas, N. 2017. Carotenoid retention in biofortified maize using different post-harvest storage and packaging methods. *Food Chem.* 232, 60–66 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.158>.
- Tovar, C. D. G., y Colonia, B. S. O. 2013. Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110 pp.

- Wellhausen, E.J., Roberts, L.M., Hernández, X.E. and Mangelsdorf, P.C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales-Secretaría de Agricultura y Ganadería, Folleto técnico No. 55, México
- Xochipa-Morante, R. C., Escobedo-Garrido, J. S., Macías-López, A., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., Valadez-Ramírez, M., and Mora-Flores, J. S. 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).

CAPÍTULO 2: COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE GENOTIPOS DE MAÍZ PIGMENTADO (AZUL/MORADO)

Eddaliz García-Reyes¹, Antonio Flores-Naveda¹, Norma A. Ruiz-Torres¹, Neymar Camposeco-Montejo¹, Sonia N. Ramírez-Barrón², Josué I. García-López^{1*}

Publicado en Revista Temas de Ciencia y Tecnología, Vol. 26 número 77, ISSN 2007-0977 pp 13 – 19.

Fecha de publicación: Agosto 2022 (Apéndice I)

¹Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila CP 25315, México.

²Departamento de Ciencias Básicas, UAAAN, Saltillo, Coahuila CP 2315, México.

*Autor de correspondencia: g.lopezj90@gmail.com

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales alimentos que constituyen la dieta de los mexicanos. Además, México es un país que cuenta con diversas razas de maíz con diferentes pigmentaciones. Los maíces con granos pigmentados se distinguen por presentar alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, que pueden ser utilizados para el desarrollo de productos funcionales en beneficio de la salud. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el contenido de compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas y taninos condensados), además de los niveles de capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en cinco genotipos de maíz azul/morado de diferentes razas (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño y Cónicos) identificados como Morado Peruano (MPE), Morado Antonio Narro (MAN), Morado Veracruz (MV), Morado Sinaloa (MS) y Morado Poblano (MP). Los resultados obtenidos, indican que los genotipos MPE y MAN presentaron los niveles más altos en fenoles totales y antocianinas, lo que resultó en mayores propiedades antioxidantes. El presente estudio, permite identificar genotipos de maíz con alta concentración de compuestos antioxidantes, que pueden ser utilizados para el desarrollo de suplementos alimenticios.

Palabras clave: Antocianinas totales, fenoles totales, flavonoides totales, capacidad antioxidante.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta considerada con centro de origen en México, cuenta con 59 razas de maíz, que representa un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019). Las razas muestran diferentes pigmentaciones del grano, con colores que van del negro hasta el rosa pálido, y los más comunes son rojo y azul (López-Vásquez *et al.*, 2020). El maíz morado es integrante de la raza Kculli, una de las 52 razas presentes en los Andes Peruanos y es único en el mundo por tener los granos, brácteas y la coronta de color morado a negro (MINAM, 2018). La gran diversidad de productos tradicionales a base de maíz en México está ligada a la diversidad de granos de las variedades locales de maíz, lo que otorga texturas, colores y cualidades particulares a los más de 600 productos finales en los que se destacan tortillas, tamales, pozole, elotes, palomitas, etc. (Guzzon *et al.*, 2021; CONABIO, 2020).

Actualmente, el maíz azul es una de las materias primas más importantes en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y textil a nivel internacional, debido a su color característico que a su vez está determinado por las antocianinas presentes en el pericarpio y la capa de aleurona del grano (Somavat *et al.*, 2016). Sin embargo, la producción de maíces pigmentados en México representa menos del 5%, lo cual indica bajo aprovechamiento, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticas representa una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejoras en características funcionales y nutricionales (Gómez-Montiel *et al.*, 2017; Graillet-Juárez *et al.*, 2020).

Adicionalmente, a los maíces pigmentados se les atribuyen propiedades fitoquímicas únicas, de las cuales existen dos grandes familias de pigmentos de naturaleza fenólica asociados al maíz, que incluyen a las antocianinas y los carotenoides (Bello-Pérez *et al.*, 2016). Los maíces ricos en antocianinas, son considerados como nutraceuticos debido al

efecto preventivo de estos pigmentos ante enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes, colesterol y ciertos tipos de cáncer (próstata y colón), estabilizando radicales libres al ceder átomos de hidrogeno, lo que permite reducir el estrés oxidativo y actuar como un efecto protector sobre los componentes celulares (Paulsmeyer *et al.*, 2017; Graillet *et al.*, 2019; Francavilla y Joye, 2020; Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Las antocianinas que se encuentran en los granos de maíces pigmentados permiten la elaboración de alimentos funcionales, principalmente para el desarrollo de bebidas nutraceuticas, suplementos alimenticios a base de antocianina como el Grape Seed Supreme (polifenol+antocianina), e incluso pueden ser utilizadas como colorante natural en los alimentos y en la industria textil (Mendoza *et al.*, 2017; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019). Además, en estudios *in vitro*, se ha demostrado que las antocianinas cuentan con mayor actividad antioxidante que las vitaminas C y E (Mendoza *et al.*, 2017; Francavilla y Joye, 2020).

En este sentido, es importante identificar genotipos de maíz pigmentado con alta concentración de compuestos bioactivos, que pueden ser utilizados para el desarrollo de productos antioxidantes con valor agregado para el consumo humano, o como alternativa de materia prima para el desarrollo de alimentos procesados. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en maíces de diferentes razas con pigmentaciones de grano azul/morado.


MATERIALES Y MÉTODOS

Los genotipos evaluados en este estudio fueron colectados en diferentes regiones del país y del extranjero, para ser resguardados en el banco de germoplasma del CCDTS, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los materiales fueron identificados y caracterizados por el Dr. Juan Manuel Hernández Casillas (Tabla 1).

Para realizar los análisis, los granos de los cinco genotipos de maíz se pesaron en tres repeticiones de 50 g de muestra, de los cuales 25 g se molieron hasta obtener partícula de

tamaño 0.5 mm (utilizando el tamaño de malla estándar 35). Los extractos de polifenoles se obtuvieron pesando 200 mg de muestra de maíz suspendidos en 4 mL de metanol al 80%, posteriormente, se agitó durante dos horas a 200 rpm a una temperatura de 25 °C. Para finalizar, las muestras se centrifugaron a 5000 rpm (25 °C, 7 min), y el sobrenadante fue recuperado y almacenado a -10 °C hasta su análisis.

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (azul/morado) seleccionados para el estudio.

Denominación	Sitios de colecta	Grano	Harina
MPE= Morado Peruano (Raza Kculli)	Perú		
MAN= Morado Antonio Narro (Raza Elotes Cónicos)	Puebla		
MV=Morado Veracruz (Raza Tuxpeño)	Veracruz		
MS= Morado Sinaloa (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Sinaloa		
MP= Morado Poblano (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Puebla		

Los ensayos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Spectronic BioMate 3 (Rochester, NY, USA). La determinación del contenido de fenoles totales se realizó mediante el reactivo de Folin-

Ciocalteu, utilizando ácido gálico como patrón para la curva de calibración (0 a 200 mg/L). La absorbancia de las muestras se midió a 750 nm, y los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por cien gramos de muestra (mg GAE/100 g). Las determinaciones de fenólicos totales, flavonoides totales y taninos condensados se realizaron con base en lo establecido por López-Contreras *et al.* (2015).

La determinación del contenido de flavonoides totales se basó en la reacción del complejo de cloruro de aluminio e hidróxido de sodio, utilizando como estándar de referencia (+)-catequina a una concentración de 0 a 200 mg/L. La absorbancia de las muestras se midió a 510 nm y el resultado se reportó como miligramos equivalentes de (+)-catequina por 100 gramos de muestra (mg CE/100 g). El contenido de taninos condensados se determinó con la reacción de vainillina- H_2SO_2 , utilizando (+)-catequina como estándar de referencia para la curva de calibración (0 a 250 mg/L). Las muestras se midieron a una absorbancia de 500 nm, y los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g).

El contenido de antocianinas totales se evaluó de acuerdo con Abdel-Aal y Hucl (1999). La absorbancia se midió a 535 nm, y el contenido de antocianinas se expresó como miligramos de equivalentes de cianidin-3-glucósido (C3GE) por cien gramos de muestra (mg C3GE/100 g). Los ensayos de capacidad antioxidante para DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) y ABTS ((2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) se realizaron de acuerdo con Camposeco-Montejo *et al.* (2021). Los resultados fueron reportados en micromoles de Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) equivalentes por cien gramos de muestra ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$), tomando como referencia la curva de calibración de Trolox (0 a 500 $\mu\text{mol/L}$).

La diferencia estadística entre muestras se obtuvo mediante análisis de varianza (ANOVA), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se expresaron como valores medios de tres muestras \pm desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos para el contenido de fenoles totales y flavonoides totales (Figura 1). El contenido de fenoles totales fue de 239.2 a 14,999.2 mg GAE/100 g; mientras que en flavonoides totales se encontraron valores de 6.6 a 2,641.5 mg CE/100 g. El mayor contenido de fenoles totales y flavonoides totales se presentó en MAN y MPE, con 6,359.8 y 14,999.2 mg GAE/100 g, y 750.7 a 2,641.5 mg CE/100 g, respectivamente.

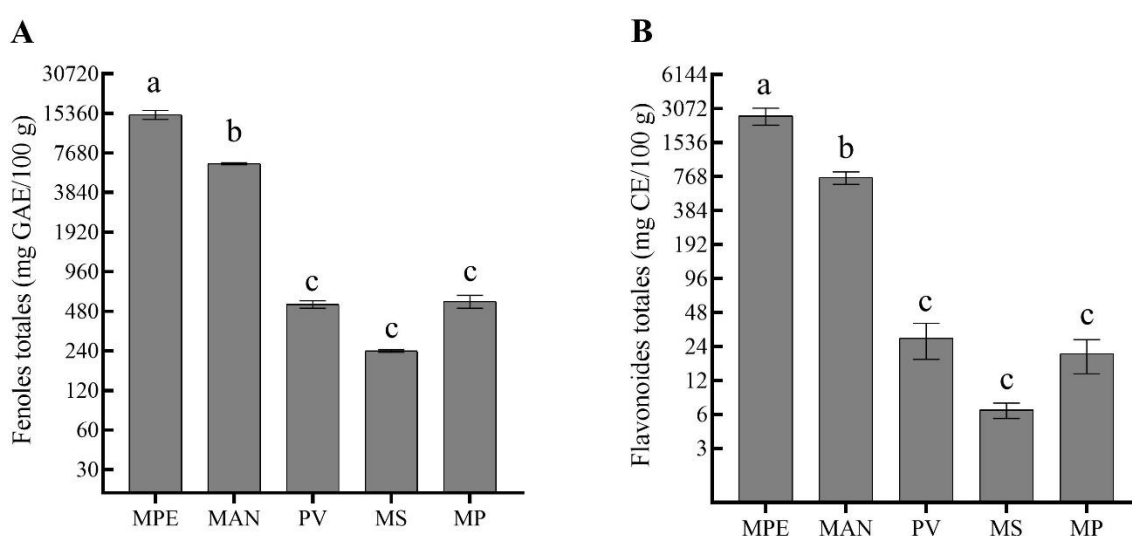


Figura 1. Concentración de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los resultados de fenoles totales obtenidos en esta investigación son 6.6 veces mayor en el valor máximo que los reportados por Guzmán-Gerónimo *et al.* (2017) y Khamphan *et al.* (2018), quienes informaron valores promedio de 203.2 a 2,261.66 mg GAE/100 g en granos pigmentados de maíz morado. Por otra parte, para el contenido de flavonoides totales en genotipos de maíces mexicanos de grano morado y azul, se han informado concentraciones de hasta 4.02 veces menores (5.55 a 656.35 mg ECat/100 g), para el valor máximo obtenido en esta investigación (Quintanilla-Rosales *et al.*, 2017 y Loarca-Piña *et al.*, 2019). La diferencia del contenido de polifenoles entre razas, son propios al lugar de

procedencia y de las condiciones ambientales donde se desarrolla el cultivo, sin dejar de mencionar que el maíz de raza Kculli se caracteriza por presentar mayor contenido de fenoles y flavonoides entre genotipos con esta pigmentación (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

El contenido de antocianinas totales y taninos condensados presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados (ver la Figura 2). El contenido de antocianinas osciló entre 3.29 a 31.56 mg C3GE/100 g, por otro lado, el contenido de taninos condensados fue de 25.96 a 476.01 mg CE/100 g. Los genotipos MAN y MPE mostraron mayores contenidos de antocianinas y taninos condensados (sus concentraciones fueron 21.62, 31.56 mg CE/100 g y 269.12, 476.01 mg C3GE/100 g, respectivamente), mientras que MS y MP presentaron menor contenido de estos compuestos (3.29, 4.03 mg C3GE/100 g y 25.96, 49.67 mg CE/100 g, respectivamente).

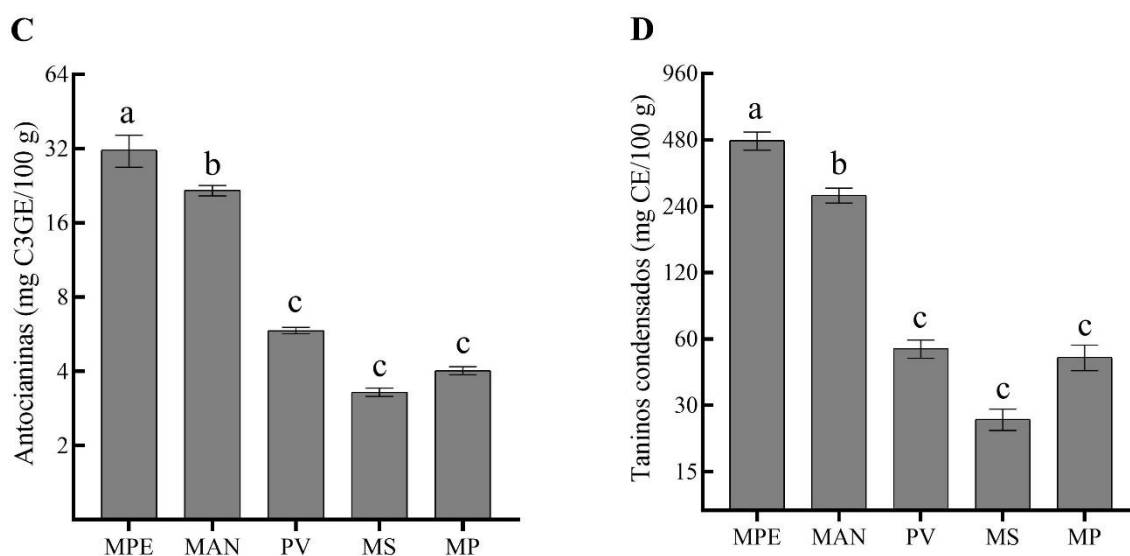


Figura 2. Concentración de antocianinas totales (C) y taninos condensados (D) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Estudios previos realizados en genotipos de grano pigmentado, para el contenido de antocianinas muestran valores con diferencia de 1.1 veces, en el valor máximo obtenido (promedios similares de 3.89 a 34.17 mg C3GE/100 g), cultivados en el centro de México (Loarca-Piña *et al.*, 2019). Sin embargo, otros autores han informado concentraciones

superiores (2.7 veces) de antocianinas totales (85.30 mg C3GE/100 g) en genotipos de maíces pigmentados (grano morado) (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017). Las antocianinas son las responsables del color rojo o púrpura que observamos en las hojas, flores y frutos de las plantas, los cuales son pigmentos hidrosolubles que se encuentran en las vacuolas de las células vegetales (Eng-EKhoo *et al.*, 2017). Pertenecen al grupo de los flavonoides y están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que está unida un azúcar a través de un enlace β -glucosídico (Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021). Las principales antocianinas y taninos condensados que se han reportado en maíces pigmentados son cianidina-3-glucosido, pelarginidina-3-glucosido, peonidina-3-glucosido, cianidina-3-(6"-malonilglucosido), pelargonidina-3--(6"-malonilglucosido), peonidina-3--(6"-malonilglucosido) (en grano de maíz morado) (Magaña-Cerino *et al.*, 2020).

Cabe señalar, que existe una correlación positiva entre la actividad antioxidante y la concentración de compuestos fenólicos en granos de maíces pigmentados (Quintanilla-Rosales *et al.*, 2017). Por consiguiente, estudios demuestran que los compuestos polifenólicos que se encuentran en los granos de maíz azul/morado son benéficos para la salud humana, debido a que tienen propiedades antioxidantes, y ayudan a disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares como la obesidad, diabetes, hasta ciertos tipos de cáncer (Eng-Khoo *et al.*, 2017). Sin embargo, para el año 2021 la producción de maíz en México fue de 27 millones 503 mil 477.82 toneladas de maíz, de los cuales 88.12 % corresponde a maíz de grano blanco, 11.44 % al amarillo y el resto a otros colores entre los cuales se encuentra el maíz azul (0.04 %), donde la producción se rige por familias campesinas para autoconsumo (SIAP, 2021). Por lo anterior, es importante incrementar el consumo de los maíces pigmentados a nivel nacional, promoviendo su producción, conservación y aprovechamiento en la agroindustria y la farmacología.

El genotipo de raza Elotes Cónicos (MAN), presentó un contenido de antocianinas similar (1.46 veces menor) al genotipo de raza Kculli proveniente del Perú. Por ello, MAN podría ser utilizado en México para el desarrollo de alimentos funcionales, que impacten

positivamente en la salud humana de personas vulnerables a enfermedades no transmisibles o con bajos recursos.

Los ensayos de capacidad antioxidante DPPH y ABTS presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos (Figura 3). Los valores en términos equivalentes de Trolox, estuvieron en un rango de 968.6 a 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ y 2,127.5 a 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ para los ensayos de DPPH y ABTS, respectivamente. El genotipo que presentó la mayor capacidad antioxidante fue MPE, con 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en DPPH, y 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en ABTS, seguido de MAN con 5,830.8 y 12,836.1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en DPPH y ABTS, respectivamente. Por el contrario, el genotipo MS presentó la menor capacidad antioxidante en DPPH y ABTS (968.6 y 2,127.5 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, respectivamente).

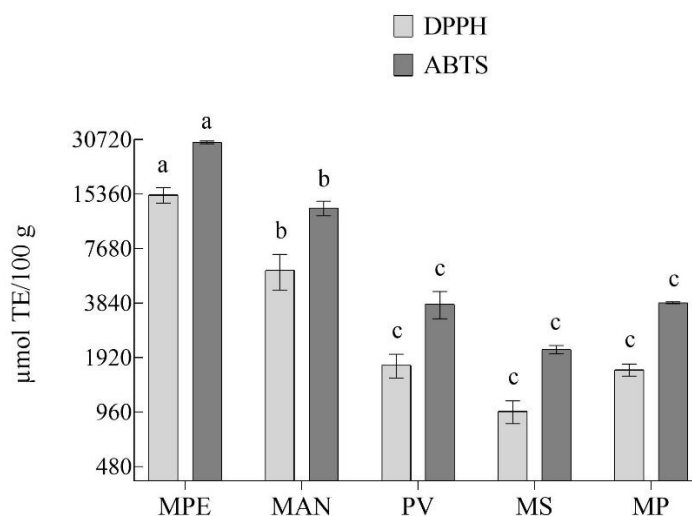


Figura 3. Capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíz morado por los ensayos de DPPH y ABTS. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En general, los genotipos con pigmentación morado presentan mayor capacidad antioxidante ante los de pigmentación azul. Por otro lado, los métodos aplicados presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque también muestran diferencias. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa,

captando radicales libres que se encuentran de forma hidrosoluble; en cambio ABTS se genera tras una reacción química, enzimática o electroquímica, además de medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica (Francavilla y Joye, 2020).

Otros estudios realizados en genotipos de maíz azul/morado de México reportan valores 1.3 veces superiores en el valor mínimo en DPPH obtenidos en este estudio (de 1,286.7 a 1,865.7 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$) y 1.6 veces superior en el valor mínimo en ABTS (3,439.65 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$) (Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019). Así mismo, un estudio realizado en Tailandia reportó valores promedio de 14,079.27 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de capacidad antioxidante mediante el método ABTS en mazorcas de maíz morado, lo que representa 2.1 veces menor al genotipo MPE y 1.1 veces mayor a MAN (Khamphan *et al.*, 2018). De acuerdo con los resultados obtenidos con el método DPPH, la capacidad antioxidante de los genotipos fue en el orden MPE>MAN>MV>MP>MS; mientras que con el método ABTS fue en el orden MPE>MAN>MP>MV>MS, mostrando un comportamiento similar en ambos ensayos. La actividad antioxidante de los granos de maíz pigmentado está directamente relacionada con la cantidad de compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides y antocianinas) presentes en el grano de maíz (Vázquez-Olivo *et al.*, 2017). No obstante, la capacidad antioxidante se ve afectada por las características propias de los genotipos (constitución genética), además del lugar y las condiciones de crecimiento en las que se desarrolle la planta (Flores-Naveda *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten identificar una amplia variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante entre los genotipos evaluados. Los genotipos MAN y MPE presentaron el mayor contenido de fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y taninos condensados, lo que generó mayores propiedades antioxidantes. Por lo anterior, se sugiere que los genotipos que presentaron la mayor concentración de compuestos bioactivos se incluyan en programas de mejoramiento genético con la finalidad de generar materiales con mayor contenido de compuestos antioxidantes que puedan ser utilizados para el desarrollo de suplementos alimenticios.

REFERENCIAS

- Abdel-Aal, E. S. y Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 76, 350–354.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E. y Utrilla-Coello, R. G. 2016. Aspectos nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia.* 50(8),1041–1063.
- Camposeco-Montejo, N., Flores-Naveda, A., Ruiz-Torres, N., Álvarez-Vázquez, P., Niño-Medina, G., Ruelas-Chacón, X., Torres-Tapia, M. A., Rodríguez-Salinas, P., Villanueva-Coronado, V. and García-López, J. I. 2021. Agronomic performance, capsaicinoids, polyphenols and antioxidant capacity in genotypes of habanero pepper grown in the southeast of Coahuila, Mexico. *Horticulturae.* 7: 372.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. 2020. Razas de Maíz en México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.
- Eng-Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T. and Lim, S. M. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. Review. *Food Nutr. Res.* 61(1361779): 1–21.
- Flores-Naveda, A., Díaz-Vázquez, F., Ruiz-Torres, N. A., Vázquez-Badillo, M. E., Niño-Medina, G., Camposeco-Montejo, N., Rodríguez-Salinas, P. y García-López, J. I. 2021. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. *ITEA-Inf. Tec. Econ.* 20:1–16 pp.
- Francavilla, A. y Joye, I. J. 2020. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients.* 12(2922).
- Gómez-Montiel, N. O., Cantú-Almaguer, M. A., Vázquez-Carrillo, M. G., Hernández-Galeno, A. A., Aragón-Cuevas, F., Espinosa-Calderón, A. y Tadeo-Robledo, M. 2017. Variedad mejorada de maíz azul ‘V-239AZ’ para las regiones semicálidas de Guerrero. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 8(8),1905-1910. ISSN: 2007–0934.
- 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.*1074-1080 pp.
- Graillet-Juárez, E. M, Arizmendi-Martínez, D. L. y Gómez-Juárez, A. D. 2020. Estudio de mercado del maíz azul (*Zea mays* L.) en México. *Innovación Empresarial En Mercadotecnia. Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C.* ISBN 978-607-8617-78-4 P. 35–54.
- Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón, E., García, O., Chávez-Servia, J. L. and Alarcón-Zavaleta, T. 2017. Chemical, antioxidant, and cytotoxic properties of native blue corn extract. In Badria FA (Ed.) *Natural Products and Cancer Drug Discover.* In Tech. Rijeka, Croatia. 67–77 pp.
- Guzzon, F., Arandia Rios, L. W., Caviades Cepeda, G. M., Céspedes Polo, M., Chavez Cabrera, A., Muriel Figueroa, J. and Pixley, K. V. 2021. Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy.* 11(1), 172.

- Khamphasan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Ketthaisong, D., Scott, M. P., Lertrat, K. and Suriharn, B. 2018. Genotypic variation in anthocyanins, phenolic compounds, and antioxidant activity in cob and husk of purple field corn. *Agronomy*. 8: 271
- Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, J. D., Castaño-Tostado, E., Ramos-Gómez, M., Reynoso, R. and Mendoza, S. 2019. Chemical characterization, antioxidant and antimutagenic evaluations of pigmented corn. *J. Food Sci. Technol.* 56(7): 3177–3184 pp.
- López-Contreras, J. J., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. and Niño-Medina, G. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of *Sorghum bicolor* genotypes. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca*. 43: 366–370 pp.
- López-Vásquez, V. M., Salinas-Moreno, Y., Alemán-de la Torre, I., Morales-Hernández, N. and Bautista-Ramírez, E. 2020. Effect of adding anthocyanins to blue maize dough on color, texture, and antioxidant capacity of maize tortillas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 12(2), 183–200 pp.
- Magaña-Cerino, J. M., Peniche-Pavía, H. A., Tiessen, A. y Gurrola-Díaz, C. M. 2020. Pigmented maize (*Zea mays* L.) contains anthocyanins with Potential therapeutic action against oxidative stress – A Review. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 70(2): 85–99 pp.
- 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 pp.
- 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 pp.
- Ministerio del Ambiente, MINAM. 2018. Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. Ministerio del Ambiente. Primera edición. Grupo Raso. Lima, Perú, 144 pp.
- Paulsmeyer, M., Chatham, L., Becker, T., West, M. West, L., and Juvik, J. 2017. A survey of anthocyanin composition and concentration in diverse maize germplasm. *J. Agric. Food Chem.* 1–39 pp.
- Quintanilla-Rosales, V.L., Galindo-Luna, K., Zavala-García, F., Pedroza-Flores, J.A., Heredia, J.B., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, M.D., y Niño-Medina, G. 2017. Fenólicos solubles de tipo flavonoide y capacidad antioxidante en genotipos criollos pigmentados de maíz (*Zea mays*). *ITEA-Inf. Tec. Econ.* 113(4), 325–334 pp.
- Rabanal-Atalaya, M. y Medina-Hoyos, A. 2021. Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*. 39(e808): 1–12 pp.
- 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 nutraceuticas en bebidas de maíz. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 23(1): 92–101 pp.

- Rodríguez-Salinas, P.A., Muy-Rangel, D., Urias-Orona, V., Zavala-García, F., Suarez-Jacobo, A., Heredia, J.B., Rubio-Carrasco, W., y Nino-Medina, G. 2019. Thermal processing effects on the microbiological, physicochemical, mineral, and nutraceutical properties of a roasted purple maize beverage. *Farmacia*. 67(4): 587–595 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Somavat, P., Li, Q., González de Mejía, E., Liu, W. y Singh, V. 2016. Coproduct yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes. *Ind. Crops Prod.* 87:266–272 pp.
- Vázquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L. and Heredia, J. B. 2017. Antioxidant capacity of lignin and phenolic compounds from corn stover. *Springer*. 1–8 pp.

CAPÍTULO 3: IMPACTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA EN COMPUESTOS BIOACTIVOS EN GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS

Eddaliz García-Reyes¹, Antonio Flores-Naveda¹, Norma A. Ruíz-Torres¹, Neymar Camposeco-Montejo¹, Sonia N. Ramírez-Barrón², Josué I. García-López^{1*}

¹Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila CP 25315, México.

²Departamento de Ciencias Básicas, UAAAN, Saltillo, Coahuila CP 2315, México.

Artículo que se enviará en los próximos días a la revista Cogent Food & Agriculture

*Autor de correspondencia: g.lopezj90@gmail.com

RESUMEN

Recientemente el maíz azul/morado ha tomado relevancia por sus propiedades benéficas a la salud, sin embargo, en México el manejo postcosecha de granos de maíces pigmentados alcanza pérdidas de hasta el 80%, donde además de la cantidad, la calidad nutracéutica se ve seriamente afectada por las malas condiciones de almacenamiento. En esta investigación, se evaluó el impacto del tiempo de almacenamiento (0, 30, 60, 90 y 120 días) y la temperatura (6, 25, y 35 °C) sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales (solubles y ligados), antocianinas totales, parámetros de cromaticidad (L^* , C^* y h) y capacidad antioxidante por los métodos de radicales libres 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) y el poder antioxidante férrico reductor (FRAP), en tres genotipos de maíz azul identificados como Azul Veracruz (AV), Azul Sinaloa (AS) y Azul Poblano (AP). Los resultados indican que el tiempo de almacenamiento a 120 días y la temperatura a 35 °C, afectaron en mayor medida a la concentración de fenoles, flavonoides y antocianinas totales en un 49.33, 61.09 y 53.33%, respectivamente. Además, el color de los granos fue inestable a 25 y 35 °C, y la capacidad antioxidante se redujo en 17.87, 17.84 y 18.93% para DPPH, ABTS y FRAP, respectivamente, al final del almacenamiento. Este estudio

permitió cuantificar la tasa de degradación de los compuestos nutraceuticos y antioxidantes cuando la temperatura de almacenamiento aumenta y el tiempo se prolonga.

Palabras clave: *Zea mays* L., almacenamiento, fenoles totales, flavonoides totales, antioxidantes, cromaticidad.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una diversidad de razas nativas de maíz, con diferentes pigmentaciones (azul, morado, rojo, amarillo, naranja, rosa y marrón) por ello es considerado el centro de origen (Arellano-Vázquez *et al.*, 2021). Los maíces con pigmentación azul/morado, se caracterizan por presentar altas concentraciones de compuestos polifenólicos y antocianinas en la capa de aleurona y el pericarpio (Kapcum y Uriyapongson, 2018). Los maíces ricos en polifenoles y antocianinas presentan una alta capacidad antioxidante, que ayuda a contrarrestar enfermedades crónicas- degenerativas como el cáncer de próstata, diabetes tipo 2, obesidad, problemas visuales y cardiovasculares etc. (Kadiri, 2017). En los últimos años, estos beneficios se han dado a conocer y actualmente el maíz azul/morado tiene grandes demandas en Perú, Bolivia, Estados Unidos, y otros países de África, Asia y Europa (Suriano *et al.*, 2021; García-Gómez *et al.*, 2022).

Sin embargo, en México la producción de maíces pigmentados representa menos del 1% en comparación con el maíz blanco y amarillo, y son cultivados por pequeños productores en comunidades rurales, quienes suelen almacenar el grano de manera artesanal como tejabanos rústicos, costales, tenates, entre otros, para su subsistencia y autoconsumo (FAO, 2018; García-Lara y Serna-Saldivar, 2019, SIAP, 2022). Lamentablemente, las pérdidas postcosecha en los maíces cultivados a pequeña escala son elevadas, alrededor del 60 al 80%, donde, los compuestos antioxidantes se ven seriamente afectados, dado que la mayoría de los fenoles y antocianinas son sensibles, y se degradan por factores ambientales como temperatura, la luz y el pH, durante el almacenamiento (García-Lara *et al.*, 2020; Chaaban *et al.*, 2017).

Los principales estados donde se cultivan los maíces pigmentados son Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, los cuales presentan una amplia variación climática, esto compromete el tiempo en que los maíces pueden conservar sus propiedades nutricionales y nutraceuticas hasta llegar al consumidor final (CONABIO, 2020; Odjo *et al.*, 2022). Sin embargo, a la fecha no existe ningún estudio que indique la tasa de reducción de los compuestos antioxidantes en maíz de grano azul que es sometido a diferentes temperaturas por un tiempo prolongado de almacenamiento.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del tiempo de almacenamiento, a 0, 30, 60, 90 y 120 días, y temperaturas de 6, 25, y 35 °C, sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales (solubles y ligados), antocianinas totales, parámetros de cromaticidad (L^* , C^* y h) y capacidad antioxidante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Para el experimento se colectaron semillas de genotipos de maíz azul/morado (*Zea mays* L.) en los estados de Veracruz, Sinaloa y Puebla de la república mexicana. Los genotipos fueron identificados y caracterizados por el Dr. Juan Manuel Hernández Casillas (Cuadro 1). Los materiales se encuentran resguardados en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Incremento de los materiales

Las semillas colectadas de cada genotipo se cultivaron durante el ciclo agrícola primavera-verano 2021, en el Campo Experimental Bajío UAAAN en Saltillo, Coahuila, México; localizado a 25° 21' 29" latitud N, 101° 02' 21" longitud O, a una altitud de 1742 msnm, con una precipitación media anual de 350-400 mm y una temperatura media anual de 19.8 °C. Los genotipos fueron plantados en parcelas de cuatro hileras con 8 m de largo, espaciado de 80 cm entre surcos y 20 cm entre plantas; sin delimitaciones, obteniendo un total de 120 plantas por genotipo. Para controlar la polinización de cada material, se

realizó por diferencia de días de floración de cada genotipo (62, 106 y 126 días para MV, MS y MP, respectivamente). Para el manejo agronómico del cultivo, la primera aplicación fue a la siembra (60 N, 60 P y 30 K kg/ha), a los 30 días se realizó la primera escarda y la segunda a los 30 días después de siembra (60 N, 00 P y 00 K kg/ha), con riego por goteo durante el ciclo de cultivo. Los granos fueron cosechados en madurez fisiológica, con un contenido de humedad del 11 a 13%. De la cosecha obtenida, el 50% se utilizó para reserva y el resto para llevar a cabo el estudio.

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (azul/morado) seleccionados para el estudio

Denominación	Sitios de colecta	Grano	Harina
AV=Azul Veracruz (Raza Tuxpeño)	Veracruz		
AS= Azul Sinaloa (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Sinaloa		
AP= Azul Poblano (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Puebla		

Obtención de muestras y condiciones de almacenamiento

Las muestras de grano se obtuvieron tomando 25 mazorcas de cada surco sembrado. Las mazorcas de cada genotipo fueron deshojadas, desgranadas y finalmente mezcladas en un equipo homogeneizador Riffle 040G-020 (Quebec, CA). De la mezcla final (pool), se pesaron muestras de 200 g con cuatro repeticiones para cada genotipo, colocadas en bolsas de papel semi kraft (No 1 3.35 x 8.07 pulgadas, calibre 50-60 g/m²) y polietileno (11.02 x 13.78 pulgadas, calibre 0.910 g/cm³). Posteriormente, se almacenaron a 6 °C, 25 °C y 35 °C, por 120 días. Los análisis se realizaron a 0, 30, 60, 90 y 120 días de almacenamiento (fechas de muestreos). Los granos de maíz fueron molidos en cada fecha de muestreo con

un molino pulverizador eléctrico Cgoldenwall HC-500 (Zhejiang, CN). Después, la harina se tamizó para obtener partículas con tamaño <0.50 mm (malla estándar 35), la harina obtenida se utilizó para llevar a cabo los procedimientos analíticos (análisis nutricionales y nutraceuticos).

Cromaticidad del grano

Antes de realizar la molienda del grano, en cada fecha de muestreo se determinaron las características de color con un lector Konica Minolta CR-10 (Tokio, JP) sobre el pericarpio del grano, colocando 100 g de grano en una caja Petri (4.73 cm \times 1.50 cm). Los parámetros cromáticos se obtuvieron utilizando los sistemas de color CIELCH (L^* , C^* , h^*) establecido por la Comisión Internacional de Iluminación de Alimentos (CIE, 2004). Para graficar el color se utilizó el software en línea color Hexa utilizando los valores obtenidos de L^* , C^* y h^* (ColorHexa, 2017).

Extracción de compuestos fenólicos (libres y ligados)

La extracción de compuestos fenólicos libres y ligados se realizaron de acuerdo con Rodríguez-Salinas *et al.* (2019). Para la extracción, se pesaron 200 mg de harina de maíz, los cuales fueron suspendidos con 4 mL de metanol al 80%, se purgaron durante 30 s con argón y se agitaron durante 2 h a 200 rpm en oscuridad. Después, las muestras se centrifugaron a 5000 rpm durante 5 min y el sobrenadante fue recuperado y almacenado a -20 °C hasta su análisis. Los compuestos fenólicos ligados se obtuvieron de los residuos sólidos de los fenoles libres, añadiendo 5 mL de NaOH 2 M y se purgaron con argón durante 30 s. Después, la mezcla se agitó durante 2 h. Posteriormente, se ajustó el pH a 2.5 con HCl concentrado y los fenólicos se extrajeron con 5 mL de acetato de etilo en dos ocasiones. Los extractos de acetato de etilo se combinaron y se colocaron en un rotavapor Yamato RE201 (Yamato, JP), para evaporar el acetato de etilo durante 30 min, una vez evaporado, la muestra se resuspendió con 4 mL de metanol al 80%.

Determinación de fenoles totales y flavonoides totales (libres y ligados)

Las determinaciones de fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y los ensayos de capacidad antioxidante se realizaron en un espectrofotómetro Thermo

Spectronic BioMate3 (New York, USA), de acuerdo con lo establecido por López-Contreras *et al.* (2015). La determinación del contenido de fenoles totales se realizó mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico como patrón para la curva de calibración (0 a 200 mg/L). La absorbancia de las muestras se midió a 750 nm, y los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por cien gramos de muestra (mg GAE/100 g). La determinación del contenido de flavonoides totales se basó en la reacción del complejo de cloruro de aluminio e hidróxido de sodio, utilizando como estándar de referencia (+)-catequina a una concentración de 0 a 200 mg/L. La absorbancia de las muestras se midió a 510 nm y el resultado se reportó como miligramos equivalentes de (+)-catequina por 100 gramos de muestra (mg CE/100 g).

Contenido de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales se evaluó de acuerdo con Abdel-Aal y Hucl (1999), mezclando 200 mg de harina de maíz con 10 mL de etanol-HCl 1 N (85:15 v/v, pH 1, 4 °C), se purgó durante 30 s con argón y se agitó durante 30 min a 200 rpm. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 6,000 rpm (4 °C, 15 min) y la absorbancia se midió a 535 nm, el contenido de antocianinas se expresó como miligramos de equivalentes de cianidin-3-glucósido (C3GE) por cien gramos de muestra (mg C3GE/100 g) de la siguiente manera: $C = (A/\epsilon) * (V/1000) * MW * (1/\text{peso de muestra}) * 10^6$, donde: C= concentración en mg C3GE/L, A= absorbancia de la muestra, ϵ = absortividad molar (mg C3GE= 26.965 l/cm²/mol), V= volumen de muestra, MW= molecular peso de C3G (449.2 g/mol).

Capacidad antioxidante

Los ensayos de capacidad antioxidante para ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) y FRAP (ferric reducing antioxidant power) se realizaron de acuerdo con Camposeco-Montejo *et al.* (2021). Los resultados fueron reportados en micromoles de Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) equivalentes por cien gramos de muestra ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$), tomando como referencia la curva de calibración de Trolox (0 a 500 $\mu\text{mol/L}$).

Retención (%) de compuestos al final del almacenamiento

El cálculo de la retención aparente de los fenoles totales, flavonoides totales, las antocianinas totales, proteína y almidón al final del periodo de almacenamiento (120 días), se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Retención (\%)} = \left[\frac{\text{Contenido a 120 días (T120)}}{\text{Contenido al tiempo cero (T0)}} \right] \times 100$$

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio se estableció bajo un diseño experimental completamente aleatorio, con arreglo factorial 3^5 , considerando al factor A las variedades en estudio (Poblano, Sinaloa y Veracruz), factor B tiempos de almacenamiento (muestreos en 0, 30, 60, 90 y 120 días) y como factor C las temperaturas (6, 25 y 35 °C). La diferencia estadística entre muestras se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se informaron como valores medios de tres muestras \pm desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Polifenoles y propiedades cromáticas para la fuente de variación genotipos

Los resultados indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los genotipos en polifenoles y las propiedades cromáticas (L^* , C^* y h) (Anexo I; Cuadro 2). Para la concentración de fenoles solubles y ligados, el genotipo AS presentó mayores concentraciones con 86.68 y 246.31 mg GAE/100 g, respectivamente. Mientras que en flavonoides (solubles y ligados) y antocianinas totales, el genotipo AV mostró mayores concentraciones con 21.36, 58.06 mg CE/100 g y 29.61 mg C3GE/100 g, respectivamente (Cuadro 2). En los maíces de color de grano morado se presenta mayores concentraciones de antocianinas, que determina la pigmentación de los granos y su actividad antioxidante (Blanch y Ruiz del Castillo, 2021). Se han reportado concentraciones de antocianinas en maíces pigmentados azul/morado de 22.01 a 82.78 mg C3GE/100 g (Salinas-Moreno *et al.*, 2017; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019).

En cuanto a la luminosidad, el parámetro L^* fue mayor en AS con 33.03 y menor en AV con 32.05, sin embargo, todas las muestras analizadas presentaron mayor tendencia al negro que al blanco. Los valores de C^* fueron de 1.88 a 2.85, y las lecturas del ángulo hue (h) presentaron valores de 66.42, 81.71 y 109.88 en AS, AV y AP, respectivamente. Con base en los valores obtenidos para las escalas L^* , C^* y h , los granos de maíz se clasifican en dos grupos de colores: 1) naranja grisáceo muy oscuro, que incluye a AV y AS; 2) azul grisáceo muy oscuro que incluye a AP.

La percepción visual del color de los granos de maíz está relacionada con la concentración de polifenoles (antocianinas y carotenoides) en las estructuras externas del grano: pericarpio y capa de aleurona, las cuales determinan las propiedades de cromaticidad (Navarro *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Concentración de polifenoles y propiedades cromáticas de genotipos de maíz azul.

Genotipo	Fenoles (mg GAE/100 g)		Flavonoides (mg CE/100 g)		Antocianinas (mg C3GE/100 g)	L^*	C^*	h
	Solubles	Ligados	Solubles	Ligados				
AV	71.92±2.58 b	217.09±7.56 b	21.36±1.89 a	58.06±3.07 a	29.61±2.78 a	32.05±0.27 b	2.85±0.09 b	81.71±0.22 a
AS	86.68±4.81 a	246.31±6.07 a	15.90±2.87 b	39.77±2.08 b	15.01±1.04 c	33.03±0.76 a	2.57±0.36 a	66.42±0.06 b
AP	73.01±3.03 b	189.27±5.62 c	13.60±0.86 c	38.16±2.02 c	19.74±1.72 b	32.65±0.29 a	1.88±0.18 c	109.88±0.41b

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los genotipos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). L^* : luminosidad; C^* : saturación de color; h : ángulo de tono.

Propiedades antioxidantes para la fuente de variación genotipos

Los resultados indican que la capacidad antioxidante de los genotipos de maíz mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Anexo I; Cuadro 3). El genotipo AS mostro la mayor capacidad antioxidante; superando en 8.71, 9.65 y 16.22% (proporción soluble), y 9.40, 7.43 y 18.16% (proporción ligada) más que los genotipos AV y AP, para DPPH, ABTS y FRAP, respectivamente. La mayor capacidad antioxidante se presentó en la proporción ligada.

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos que se encuentran en los cereales permite estabilizar radicales libres como el H_2O_2 , O_2 , O_2^- , O_2^{-2} y OH^\cdot , operando en contra de los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS) (Martínez-Martínez *et al.*, 2019). Algunos maíces nativos de México con pigmentación azul/morado, presentan capacidades antioxidantes para DPPH de 533.60 a 1136.10 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, mientras que en ABTS los valores son de 687.90 a 3345.75, y para FRAP de 344.82 a 856.41 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ (Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019). Los maíces pigmentados que se producen en México presentan una alta capacidad antioxidante y son ricos en compuestos fenólicos, que evitan el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, disminuyen la presión sanguínea en personas hipertensas, elevan la capacidad antioxidante total de la sangre y mejoran el estilo de vida de las personas que lo consumen (Salehi *et al.*, 2020; García-Gómez *et al.*, 2022). Los altos niveles de capacidad antioxidante se atribuyen a un mayor contenido de fenoles totales (Flores-Naveda *et al.*, 2022).

Cuadro 3. Capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP de genotipos de maíz azul.

Genotipo	DPPH ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)		ABTS ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)		FRAP ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)	
	Solubles	Ligados	Solubles	Ligados	Solubles	Ligados
AV	510.19 \pm 16.04 c	677.21 \pm 16.04 c	599.18 \pm 12.71 b	721.71 \pm 12.42 c	672.06 \pm 19.46 c	762.65 \pm 12.04 c
AS	604.12 \pm 8.11 a	778.87 \pm 12.15 a	686.24 \pm 16.27 a	851.96 \pm 9.52 a	881.65 \pm 13.01 a	1013.28 \pm 11.67 a
AP	584.54 \pm 7.28 b	744.76 \pm 6.40 b	671.32 \pm 11.54 a	817.68 \pm 4.83 b	805.11 \pm 6.36 b	895.87 \pm 19.25 b

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los genotipos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). DPPH= 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS= 2,2'azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); FRAP= Ferric Reducing Antioxidant Power.

Resultados de la interacción tiempos x almacenamiento

Fenoles totales (solubles y ligados)

Los resultados indican efectos significativos ($p \leq 0.05$) para la interacción tiempos x temperaturas sobre el contenido de fenoles totales (Cuadro 4), pero para ninguna variable se presentan diferencias significativas en la interacción genotipos x tiempos x temperaturas. Al T30 a temperaturas de 25 y 35 °C se presentó un incremento del 21.89 y

37.18% para fenoles solubles, y para ligados del 5.29 a 13.56%, respectivamente. Por otra parte, después de T60 al T120 los fenoles totales presentan las mayores reducciones en función del tiempo de almacenamiento y la temperatura, la proporción más afectada fue la de fenoles solubles con disminuciones de 50.82 y 68.89%, mientras que en ligados las reducciones fueron del 32.15 y 55.19%, con temperaturas que van de 25 a 35 °C, estas disminuciones se vieron reflejadas en el porcentaje de retención final. Después de 120 días de almacenamiento, la temperatura a 6 °C presentó la mejor retención de fenoles solubles y ligados con 80.47 y 87.19%.

Cuadro 4. Contenido de fenoles totales (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.

Fenoles (mg GAE/100)	Tiempo (días)	Temperatura °C			Media
		6	25	35	
Solubles	Cero	81.17			81.17
	30	83.60 a C	103.92 a B	129.22 a A	105.58
	60	78.65 b B	79.71 b B	94.59 b A	84.32
	90	69.93 c A	67.98 c A	58.31 c B	65.41
	120	65.32 d A	51.10 d B	40.19 d C	52.20
	Retención (%)	80.47	62.95	49.51	64.30
Ligados	Cero	247.97			247.97
	30	247.91 a C	261.82 a B	286.86 a A	265.53
	60	241.31 a A	224.67 b B	203.35 b C	223.11
	90	227.04 b A	202.31 c B	162.63 c C	197.33
	120	216.21 c A	177.65 d B	128.54 d C	174.13
	Retención (%)	87.19	71.64	51.84	70.22

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos y letras mayúsculas comparan las temperaturas. % de retención de 0 a 120 días.

La mayoría de los cereales básicos que se emplean para la alimentación humana, deben ser almacenados por tiempos prolongados después de la cosecha, para posteriormente ser transformados de materia prima a alimentos, a través de procesos térmicos que afectan su composición química de los componentes nutricionales y nutraceuticos (Colín-Chávez *et al.*, 2020). Por ejemplo, en estudios de almacenamiento de granos de sorgo las temperaturas de 25 y 40 °C disminuyeron el contenido de 3-Deoxianthocianidinas en 26.43 y 29.84%, respectivamente (De Oliveira *et al.*, 2017). También se ha informado que

en granos de maíces pigmentados que fueron sometidos a procesos térmicos de nixtamalización presentaron una reducción del 61.46 al 76.53% en el total de compuestos fenólicos, esto implica que los antioxidantes durante el periodo que comprende el manejo postcosecha (almacenamiento y acondicionamiento) e industrialización, se reduce en más del 97% la concentración de compuestos antioxidantes en el producto final (Žilić *et al.*, 2015).

Los granos son de naturaleza higroscópica (pueden ganar o perder humedad), por ello, las temperaturas superiores a los 20 °C durante periodos prolongados de almacenamiento permiten mayor pérdida de humedad en las estructuras externas del grano, que impactan en el contenido de polifenoles (Prabakaran *et al.*, 2018). Además, la disminución en el contenido total de polifenoles durante el almacenamiento podría atribuirse a la degradación de estos por oxidación (Colombo *et al.*, 2021).

Flavonoides totales (solubles y ligados)

Para el contenido de flavonoides totales, los resultados indican efectos significativos ($p \leq 0.05$) para la interacción tiempos x temperaturas (Cuadro 5). La concentración de flavonoides totales presentó una tendencia similar a la de fenoles totales, ya que al T30 las temperaturas de 25 y 35 °C los flavonoides solubles incrementaron en 20.32 y 24.75% y en ligados 19.28 y 22.92%, respectivamente. Sin embargo, a partir del T30 al T120 a 25 y 35 °C, las disminuciones fueron del 48.37 y 69.19% para flavonoides solubles, mientras que para ligados fue 47.15 y 71.57%. Al T120 días de almacenamiento, el porcentaje de retención de flavonoides totales fue de 38.91% a 35 °C.

Estudios recientes en cereales muestran que los flavonoides son alterados por el tiempo de almacenamiento y la temperatura, afectando el número y la distribución de los grupos de isoflavonas (agliconas, glucosidos, acetil glucosidos y malonil glucosidos), donde el porcentaje de malonil glucósidos totales disminuye a medida que se prolonga el tiempo de almacenamiento; a 48 semanas a temperaturas de 4, 20 y 40 °C se presentaron disminuciones del 77.1, 70.5 y 57.8%, respectivamente (Prabakaran *et al.*, 2018). Las alteraciones en el porcentaje de malonil glucósidos totales afecta el porcentaje de

glucósidos totales y acetyl glucósidos totales, lo cual se produce debido a la degradación y descarboxilación del grupo malonilo, y con ello al grupo acetilo (Ed-Nignpense *et al.*, 2021).

Cuadro 5. Contenido de flavonoides totales (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.

Flavonoides (mg CE/100 g)	Tiempo (días)	Temperatura °C			Media
		6	25	35	
	Cero	18.78			18.78
Solubles	30	21.10 a B	23.57 a A	24.96 a A	23.21
	60	19.22 b A	16.92 b B	16.94 b B	17.69
	90	17.79 bc A	13.34 c B	10.74 c C	13.96
	120	17.22 c A	12.17 c B	7.69 d C	12.36
	Retención (%)	91.69	64.80	40.94	65.81
	Cero	50.51			50.51
Ligados	30	55.47 a C	62.58 a B	65.53 a A	61.19
	60	50.99 b A	50.35 b A	44.22 b B	48.52
	90	46.73 c A	39.21 c B	26.86 c C	37.60
	120	45.13 c A	33.07 d B	18.63 d C	32.27
	Retención (%)	89.34	65.47	36.88	63.88

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos y letras mayúsculas comparan las temperaturas. % de retención de 0 a 120 días.

Los granos almacenados ricos en carbohidratos muestran diferencias significativas en el contenido de flavonoides a nivel metabólico, como lo indica Wang *et al* (2022), en un análisis en granos de arroz almacenados a 20 °C durante 540 días, reportaron que los metabolitos más alterados durante el almacenamiento son los flavonoides, los ácidos fenólicos entre otros (sacáridos y alcoholes, ácidos orgánicos, alcaloides y lípidos) con una variación del 11.8% en flavonoides, entre las muestras frescas y almacenadas. La estabilidad de los flavonoides depende del entorno fisicoquímico donde se almacenan los granos, los factores que más se atribuyen al deterioro de estos compuestos son el calor, la luz, el oxígeno y el propio metabolismo de respiración del grano (Chaaban *et al.*, 2017).

Color del grano y antocianinas

Los valores de cromaticidad (L^* , C^* y h) y antocianinas presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para la interacción tiempos x temperaturas (Cuadro 6). Los resultados de color muestran que los valores de L^* y C^* disminuyen a medida que transcurren los días de almacenamiento en todas las temperaturas, la mayor afectación se presentó a 35 °C. Con respecto al ángulo hue (h), los valores de las muestras aumentaron en todos los tiempos de almacenamiento a 6 °C, ubicándolas en el cuadrante verde-amarillo con valores de 90.71 a 102.85; mientras que a 25 y 35 °C se mantuvieron estables, lo que indica que el amarillo es la característica cromática que más predominó. Los cambios en las propiedades de color se ven reflejadas en el contenido de antocianinas, que muestran reducciones en el porcentaje de retención que van del 56.74 al 46.67%, para 25 y 35 °C al final del almacenamiento.

En granos de maíz almacenados por 360 días a 35 °C se afectó la saturación de color y el ángulo de matiz en más de 21% (Paraginski *et al.*, 2014). Además, en granos de maíz se han reportado cambios significativos en los parámetros de color L^* , a^* y b^* , con variaciones que van de 1.39 al 29.34% después de ser almacenados por 180 días en bolsas de propileno con cal y con cal micronizada (Odjo *et al.*, 2022). En pericarpio de maíz morado, la concentración de antocianinas disminuye conforme pasan los días de almacenamiento de 15.14 a 40.87%, y presenta una correlación negativa en la disminución de la saturación del color y en el ángulo hue, lo que indica que la estabilidad del color del grano depende de la degradación de los polifenoles (Luna-Vital *et al.*, 2017).

Las alteraciones de color en el grano durante el almacenamiento se puede atribuir a la pérdida de humedad en sus estructuras externas, y como consecuencia una concentración o disminución de los compuestos hidrosolubles en el pericarpio, las cuales están asociados a las condiciones de almacenamiento (contenido de humedad, temperatura y duración) y a la actividad de la polifenoloxidasas, que cataliza reacciones de fenoles generando otros compuestos (*p*-cresol y la *o*-benzoquinona) cuya oxidación y polimerización conduce a la formación de melaninas (Shafiekhani *et al.*, 2018; Mohammadi Shad y Atungulu, 2019).

Cuadro 6. Contenido de antocianinas totales y propiedades cromáticas en genotipos de maíz azul almacenado a 120 días con diferentes temperaturas.

	Tiempo (días)	Temperatura °C			Media
		6	25	35	
<i>L*</i>	Cero	32.84			
	30	33.85 a A	32.84 a B	32.48 b B	33.05
	60	33.48 a A	32.05 a C	34.71 a B	33.41
	90	33.21 a A	32.62 a B	30.99 c C	32.27
	120	33.09 a A	32.41 a B	29.38 d C	31.63
<i>C*</i>	Cero	2.07			
	30	1.99 a B	2.07 a AB	2.84 a A	2.30
	60	1.85 a B	2.04 a B	3.04 a A	2.31
	90	1.72 a B	2.06 a B	2.57 b A	2.12
	120	1.70 a B	2.08 a AB	2.11 b A	1.96
<i>h</i>	Cero	84.69			
	30	90.71 bc A	84.69 b B	81.72 bc B	85.71
	60	102.85 a A	85.71 ab B	84.36 b B	90.97
	90	94.79 b A	89.69 a B	89.73 a B	91.40
	120	96.61 b A	84.68 b B	84.63 b B	88.64
Antocianinas (mg C3GE/100 g)	Cero	28.80			
	30	27.36 a A	26.63 a A	23.42 a B	25.80
	60	23.14 b A	21.89 b B	19.23 b C	21.42
	90	21.80 bc A	19.40 c B	16.59 c C	19.26
	120	20.84 c A	16.34 d B	13.44 d C	16.87
	Retención (%)	72.36	56.74	46.67	58.58

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos y letras mayúsculas comparan las temperaturas. % de retención de 0 a 120 días. *L**: luminosidad; *C**: saturación de color; *h*: ángulo de tono.

Existen factores que pueden determinar el contenido en polifenoles fácilmente oxidables, permitiendo la formación de más o menos sustancias polimerizadas que afectan al color del grano de maíz azul/morado, como la luz, el grado de conservación, y la estabilidad de las antocianinas, que disminuye considerablemente a un mayor grado de hidroxilación y metoxilación de la aglicona; además, el contenido de polifenoles en los alimentos está también influenciado por los métodos culinarios de preparación, puesto que estas sustancias están a menudo presentes en altas concentraciones en las partes externas de los mismos (Luna-Vital *et al.*, 2017; Eliášová *et al.*, 2020).

Propiedades antioxidantes

Los resultados de capacidad antioxidante a través de los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP indican que los genotipos de maíz mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la interacción tiempos x temperaturas (Anexo I; Cuadro 7). La capacidad antioxidante en genotipos de maíz azul al final del almacenamiento (T120), muestra porcentajes de retención de 96.03, 83.71 y 76.71% a temperaturas de 6, 25 y 35 °C, respectivamente. Las menores afectaciones en la capacidad antioxidante al T120, se reflejaron en la proporción de compuestos solubles a 6 °C, con 0.22, 3.24 y 0.02% para DPPH, ABTS y FRAP, mientras que las mayores afectaciones se presentaron en la proporción ligada a 35 °C, con reducciones del 24.19, 20.16 y 23.17% para DPPH, ABTS y FRAP, respectivamente.

Cuadro 7. Capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP (solubles y ligados) en genotipos de maíz azul almacenado a 120 a diferentes temperaturas.

μmol TE/100 g	Tiempo (días)	Temperatura °C					
		6		25		35	
		Solubles	Ligados	Solubles	Ligados	Solubles	Ligados
DPPH	Cero			596.42	797.53		
	30	599.76 a A	796.62 a A	591.06 a B	783.52 a B	572.03 a C	761.40 a C
	60	599.85 a A	785.77 ab A	576.22 b B	740.49 b B	549.51 b C	702.73 b C
	90	595.30 a A	778.65 b A	548.84 c B	697.50 c B	523.31 c C	652.25 c C
	120	595.07 a A	776.73 b A	519.55 d B	659.23 d B	494.75 d C	604.56 d C
	Retención (%)	99.81	97.39	87.11	82.65	82.95	75.80
ABTS	Cero			703.78	855.63		
	30	703.13 a A	858.28 a A	689.22 a B	831.22 a B	653.75 a C	801.75 a C
	60	701.62 a A	853.39 a A	670.07 b B	802.07 b B	623.62 b C	763.29 b C
	90	694.80 ab A	841.45 b A	643.85 c B	776.74 c B	571.30 c C	728.43 c C
	120	681.00 b A	827.82 c A	596.70 d B	739.30 d B	546.34 d C	683.14 d C
	Retención (%)	96.76	96.75	84.78	86.40	77.63	79.84
FRAP	Cero			843.08	968.74		
	30	842.64 a A	966.35 a A	824.90 a B	944.29 a B	799.77 a C	910.03 a C
	60	839.41 a A	959.08 a A	797.33 b B	902.9 b B	755.58 b C	857.89 b C
	90	830.63 ab A	942.35 b A	770.60 c B	855.18 c B	706.17 c C	802.22 c C
	120	823.26 b A	923.34 c A	725.57 d B	801.99 d B	662.63 d C	744.26 d C
	Retención (%)	97.65	95.31	86.06	82.79	78.60	76.83

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n=3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos y letras mayúsculas comparan las temperaturas. % de retención de 0 a 120 días. DPPH= 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS= 2,2'azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); FRAP= Ferric Reducing Antioxidant Power.

De forma similar, la capacidad antioxidante de maíces pigmentados azul/morado después de 60 días a bajas temperaturas (4 °C), no presentó reducciones significativas (1.04%) por el método ABTS (Kapcum y Uriyapongson, 2018). En contraparte, a temperaturas de 35 °C en granos de arroz pigmentados (negro) que fueron almacenados por 180 días, presentaron reducciones de 24.11 y 45.60% para los ensayos de ABTS y FRAP, respectivamente (Ito *et al.*, 2019). Así mismo, en granos de sorgo con diferentes pigmentaciones, la capacidad antioxidante por DPPH se ve afectada por el tiempo y las condiciones de almacenamiento, con una disminución de 29.33% después de 56 días de almacenamiento (Zhang *et al.*, 2021).

El contenido y tipo de compuestos polifenólicos está relacionada con la actividad antioxidante, a mayor disminución de estos compuestos, la actividad antioxidante se ve afectada negativamente (Yamuangmorn *et al.*, 2021; Espitia-Hernández *et al.*, 2020).

Durante el manejo postcosecha, temperaturas superiores a 20 °C afectan la estabilidad de la actividad antioxidante, debido a la variación del contenido de humedad en los granos y a la posible oxidación de las moléculas de polifenoles (Dar *et al.*, 2016; Antony y Farid, 2022). Por otra parte, durante el proceso de almacenamiento se puede observar disminuciones en el contenido de los ácidos fenólicos, ya que algunos polifenoles son degradados dando origen a otros nuevos como las antocianinas que pueden descomponerse en derivados del ácido benzoico (ácido siríngico o ácido 4-hidroxibenzoico), lo que repercute en los niveles de capacidad antioxidante (Zhang *et al.*, 2021; Hou *et al.*, 2022).

De acuerdo con los resultados obtenidos de capacidad antioxidante el nivel de afectaciones en cada método fue en el siguiente orden DPPH>FRAP>ABTS. La capacidad antioxidante mostró menor afectación en DPPH, dado a que este método sólo determina la capacidad de ceder átomos de hidrógenos de los compuestos que se encuentran en forma hidrosoluble (polifenoles) presentes en el pericarpio y capa de aleurona del grano de maíz azul (Duangpapeng *et al.*, 2019; Francavilla y Joye, 2020). Por otra parte, la mayor disminución de la capacidad antioxidante que se observa en FRAP y ABTS está correlacionada con el contenido fenólico, moléculas con capacidad de reducir iones

férricos, además, de la presencia de compuestos de naturaleza lipofílica (ácidos grasos poliinsaturados, ácido linoleico, carotenoides y vitaminas A, D, E, K) (Martínez-Martínez *et al.*, 2019; Enaru *et al.*, 2021).

Las diferencias en los resultados para cada método se pueden atribuir a la sensibilidad diferencial de los fenólicos presentes en el extracto, a los radicales libres y a las capacidades reductoras de cada método (Salinas Moreno *et al.*, 2017; Minh, 2021).

CONCLUSIONES

En esta investigación, las temperaturas a 25 y 35 °C fueron la que más afectaron los compuestos polifenólicos, las propiedades cromáticas y la capacidad antioxidante de los granos de los genotipos de maíz azul durante el periodo de almacenamiento. El aumento de los días de almacenamiento a partir de T60 a 35 °C, disminuyó en gran medida el contenido de fenoles y flavonoides totales (solubles y ligados), lo que se reflejó en cambios de las propiedades cromáticas y disminuciones en la capacidad antioxidante según los ensayos utilizados ABTS, DPPH y FRAP. La temperatura a 6 °C mostró disminuciones mínimas, por lo tanto, los granos de maíz azul conservan mejor los compuestos bioactivos a bajas temperaturas. Como resultado, las altas temperaturas durante un periodo prolongado de almacenamiento podrían afectar seriamente las concentraciones de compuestos funcionales en granos de maíz azul, antes de ser consumidos. Estos resultados contribuyen a explicar el efecto que causa la temperatura y el tiempo de almacenamiento en los compuestos nutracéuticos, en el color del grano y en los contenidos antioxidantes.

REFERENCIAS

- Abdel-Aal, E. S. y Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 76, 350–354.
- Antony, A. and Farid, M. 2022. Effect of temperatures on polyphenols during extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107.
- Arellano-Vázquez, J. L., Herrera-Zamora, A., Gutiérrez-Hernández, G. F., Ceja-Torres, L. F., and Flores Gómez, E. 2021. Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruas. *Idesia (Arica)*, 39(3), 75-82.
- Chaaban, H., Ioannou, I., Paris, C., Charbonnel, C. and Ghoul, M. 2017. The photostability of flavanones, flavonols and flavones and evolution of their antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 336, 131-139.
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., and Astier, M. 2020. Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current research in food science*, 3, 189-194.
- Colombo, R., Ferron, L., and Papetti, A. 2021. Colored corn: An up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. *Molecules*, 26(1), 199.
- ColorHexa: Color Encyclopedia: Information and Conversion. 2019. Computer Software. www.colorhexa.com. Accessed 15 Jan 2019.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. 2020. Razas de maíz de México <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.
- Dar, B. N., Sharma, S. and Nayik, G. A. 2016. Effect of storage period on physiochemical, total phenolic content and antioxidant properties of bran enriched snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(4), 755-761 pp.
- De Oliveira, K.G., Queiroz, V.A.V.; De Almeida- Carlos, L.; De Morais- Cardoso, L., Pinheiro-Sant’Ana, H. M., Anunciação, P.C., De Menezes, C. B., Da Silva, E. C. and Barros, F. 2017. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. *Food Chem.*, 216, 390–398.
- Duangpapeng, P., Lertrat, K., Lomthaisong, K., Paul Scott, M. and Suriharn, B. 2019. Variability in anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant capacity in the tassels of collected waxy corn germplasm. *Agronomy*, 9(3), 158.
- Ed Nignpense, B., Francis, N., Blanchard, C., and Santhakumar, A. B. 2021. Bioaccessibility and bioactivity of cereal polyphenols: A review. *Foods*, 10(7), 1595.
- Eliášová, M., Kotíková, Z., Lachman, J., Orsák, M. and Martinek, P. 2020. Influence of baking on anthocyanin content in coloured-grain wheat bread. *Plant, Soil and Environment*, 66(8), 381-386.
- Enaru, B., Dreţcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A. and Diaconeasa, Z. 2021. Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. *Antioxidants*, 10(12), 1967.
- Espitia-Hernández, P., Chavez Gonzalez, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., Dávila-Medina, D., Flores-Naveda, A., Silva, T. and Sepúlveda, L. 2020. Sorghum (*Sorghum*

- bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 2269-2280 pp.
- Flores-Naveda, A., Díaz-Vázquez, F., Ruiz-Torres, N. A., Vázquez-Badillo, M. E., Niño-Medina, G., Camposeco-Montejo, N., Rodríguez-Salinas, P. y García-López, J. I. 2021. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. *ITEA-Inf. Tec. Econ.* 20:1–16 pp.
- Food and Agricultural Organization, FAO. 2018. FAOSTAT, Base de Datos Estadísticos: <http://apps.fao.org/>.
- Francavilla, A. y Joye, I. J. 2020. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*. 12(2922).
- García-Gómez, R. S. 2022. Antocianinas del maíz azul (*Zea mays*) ¿Sustancias inocuas? Parte 5. Revisión bibliográfica de avances en los últimos 10 años. *Ambiens Techné et Scientia México*, 10(1), 117-150.
- García-Lara, S., García-Jaimes, E. and Ortíz-Islas, S. 2020. Field effectiveness of improved hermetic storage technologies on maize grain quality in Central Mexico. *J. Stored Prod. Res.* 87 <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101585>.
- Hou, C. Y., Hsieh, C. C., Huang, Y. C., Kuo, C. H., Chen, M. H., Hsieh, C. W. and Cheng, K. C. 2022. Development of Functional Fermented Dairy Products Containing Taiwan Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) in Regulating Glucose Utilization. *Fermentation*, 8(9), 423.
- Ito, V. C., Zielinski, A. A. F., Demiate, I. M., Spoto, M., Nogueira, A. and Lacerda, L. G. 2019. Effects of gamma radiation on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds and antioxidant activity during storage of (*Oryza sativa* L.) black rice flour. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62.
- Kapcum C. and Uriyapongson, J. 2018. Effects of storage conditions on phytochemical and stability of purple corn cob extract powder. *Food Science and Technology*, 38, 301-305 pp.
- López-Contreras, J. J., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. and Niño-Medina, G. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of *Sorghum bicolor* genotypes. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca.* 43: 366–370.
- Luna-Vital, D., Li, Q., West, L., West, M. and de Mejia, E. G. 2017. Anthocyanin condensed forms do not affect color or chemical stability of purple corn pericarp extracts stored under different pHs. *Food Chemistry*, 232, 639-647.
- Martínez-Martínez, R., Vera-Guzmán, A. M., Chávez-Servia, J. L., Bolaños, E. N. A., Carrillo-Rodríguez, J. C. and Pérez-Herrera, A. 2019. Bioactive compounds and antioxidant activities in pigmented maize landraces. *Interciencia*, 44(9), 549-556 pp.
- Minh, N. P. 2021. Influence of thermal treatment on Anthocyanin, total phenolic content and antioxidant capacity of Pigmented Maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today*, 8(4), 1075-1078 pp.
- Mohammadi-Shad, Z. and Atungulu, G.G. 2019. Post-harvest kernel discoloration and fungi activity in long-grain hybrid, pureline and medium-grain rice cultivars as influenced by storage environment and antifungal treatment. *J. Stored Prod. Res.* 81, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.02.002>.

- Navarro, A., Torres, A., Fernández-Aulis, F. and Peña, C. 2018. Bioactive compounds in pigmented maize. *Corn: Production and Human Health in Changing Climate* (Amanullah, Fahad S, eds.). London: IntechOpen, 69-91.
- Odjo, S., Palacios-Rojas, N., Burgueno, J., Corrado, M., Ortner, T., and Verhulst, N. 2022. Hermetic storage technologies preserve maize seed quality and minimize grain quality loss in smallholder farming systems in Mexico. *Journal of Stored Products Research*, 96, 101954.
- Oseni Kadiri. 2017. A review on the status of the phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour: Effects of cereal processing. *International Journal of Food Properties*. 20:sup1, S798-S809, DOI:10.1080/10942912.2017.1315130
- Paraginski, R. T., Vanier, N. L., Berrios, J. D. J., de Oliveira, M. and Elias, M. C. 2014. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research*, 59, 209-214.
- Prabakaran, M., Lee, J. H., Ahmad, A., Kim, S. H., Woo, K. S., Kim, M. J., and Chung, I. M. 2018. Effect of storage time and temperature on phenolic compounds of soybean (*Glycine max* L.) flour. *Molecules*, 23(9), 2269.
- Rodríguez-Salinas, P.A., Muy-Rangel, D., Urias-Orona, V., Zavala-García, F., Suarez-Jacobo, A., Heredia, J.B., Rubio-Carrasco, W., y Nino-Medina, G. 2019. Thermal processing effects on the microbiological, physicochemical, mineral, and nutraceutical properties of a roasted purple maize beverage. *Farmacia*. 67(4): 587–595.
- Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Cappellini, F., Reiner, Z., Zorzan, D., Imran, M., Sener, B., Kilic, M., El-Shazly, M., Fahmy-M, N., AlSayed, E., Martorell, M., Tonelli, C., Petroni, K., Docea, A.O., Calina, D. and Maroyi, A. 2020. The therapeutic potential of anthocyanins: Current approaches based on their molecular mechanism of action. *Frontiers in Pharmacology*. 11:1-11.
- Salinas Moreno, Y., Hernández Martínez, V., Trejo Téllez, L. I., Ramírez Díaz, J. L. and Iñiguez Gómez, O. 2017. Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1483-1496.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shafiekhani, S., Wilson, S.A. and Atungulu, G.G. 2018. Impacts of storage temperature and rice moisture content on color characteristics of rice from fields with different disease management practices. *J. Stored Prod. Res.* 78, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.07.001>.
- Suriano, S., Balconi, C., Valoti, P. and Redaelli, R. 2021. Comparison of total polyphenols, profile anthocyanins, color analysis, carotenoids and tocopherols in pigmented maize. *LWT*, 144, 111257.
- Wang, Q., Zhang, D., Zhao, L., Liu, J., Shang, B., Yang, W. and Sun, H. 2022. Metabolomic analysis reveals insights into deterioration of rice quality during storage. *Foods*, 11(12), 1729.
- Yamuangmorn, S., Jumrus, S., Jamjod, S., Yimyam, N. and Prom-u-Thai, C. 2021. Stabilizing grain yield and nutrition quality in purple rice varieties by management of planting elevation and storage conditions. *Agronomy*, 11(1), 83.
- Zhang, Y., Truzzi, F., D’Amen, E. and Dinelli, G. 2021. Effect of storage conditions and time on the polyphenol content of wheat flours. *Processes*, 9(2), 248.

Žilić, S., Delić, N., Basić, Z., Ignjatović-Micić, D. R. A. G. A. N. A., Janković, M. and Vančetović, J. 2015. Effects of alkaline cooking and sprouting on bioactive compounds, their bioavailability and relation to antioxidant capacity of maize flour. *Journal of Food & Nutrition Research*, 54(2).

ANEXO I

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables funcionales y parámetros cromáticos de genotipos de maíz pigmentado almacenados a 120 días a diferentes temperaturas.

FV	GL	FS	FL	FaS	FaL	Ant	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
		mg GAE/100 g	mg GAE/100 g	mg CE/100 g	mg CE/100 g	mg C3GE/100 g			
Genotipos (G)	2	2437.19 **	28140.44**	536.64**	4271.28**	1934.99**	11.39**	23.29**	5.01**
Tiempo (T)	3	14576.34 **	41414.48**	627.02**	4421.27**	388.85**	121.18**	1.71**	10.89**
Temperatura (Ti)	2	385.02 **	12907.80**	129.26**	1097.52**	236.86**	71.94**	1.74**	7.55**
Interacción T*Ti	6	2269.27**	6911.18**	80.03**	536.31**	8.32**	98.06**	2.38**	9.10**
Interacción G*Ti	12	28.92	86.48	3.61	41.57	5.28	37.50	0.99	2.42
Error	78	11.29	33.82	2.24	5.71	1.13	0.79	0.16	0.38
CV (%)		4.35	2.673	8.82	5.27	4.95	2.74	217.49	25.42

NS= No significativo, **= Significativo al 0.01 y 0.05 niveles de probabilidad; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; FS= Fenoles Solubles; FL= Fenoles ligados; FaS= Flavonoides solubles; FaL= Flavonoides ligados; Ant= Antocianinas; *L**= Luminosidad; *a**= Cromaticidad; *b**= Angulo de tono.

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para capacidad antioxidante DPPH, ABTS y FRAP de genotipos de maíz pigmentado almacenados a 120 días a diferentes temperaturas.

FV	GL	DPPH	DPPH	ABTS	ABTS	FRAP	FRAP
		S	L	S	L	S	L
μmol TE/100 g							
Genotipos (G)	2	83805.77**	91696.43**	76132.69**	157389.00**	383351.52**	535561.44**
Tiempo (T)	3	13549.59**	50523.50**	28606.92**	31782.61**	36445.36**	68953.87**
Temperatura (Ti)	2	35901.31**	99506.58**	83722.05**	92602.55**	95486.43**	129646.34**
Interacción T*Ti	6	2740.61**	8492.03**	4100.50**	3264.45**	6109.48**	7005.02**
Interacción G*Ti		104.48	160.35	151.01	80.02	59.73	119.74
Error	78	53.79	109.44	135.13	87.75	140.76	139.93
CV (%)		1.29	1.42	1.78	1.17	1.50	1.32

NS= No significativo, **= Significativo al 0.01 y 0.05 niveles de probabilidad; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; DPPH= 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS= 2,2'azino bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); FRAP= Ferric Reducing Antioxidant Power.

Ensayo de Investigación

Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de genotipos de maíz pigmentado (azul/morado)

Recibido: 04-11-2021 Aceptado: 15-06-2022 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales alimentos que constituyen la dieta de los mexicanos. Además, México es un país que cuenta con diversas razas de maíz con diferentes pigmentaciones. Los maíces con granos pigmentados se distinguen por presentar alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, que pueden ser utilizados para el desarrollo de productos funcionales en beneficio de la salud. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el contenido de compuestos fenólicos (fenoles y flavonoides totales, antocianinas y taninos condensados), además de los niveles de capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en cinco genotipos de maíz azul/morado de diferentes razas (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño y Cónicos), identificados como Morado Peruano (MPE), Morado Antonio Narro (MAN), Morado Veracruz (MV), Morado Sinaloa (MS) y Morado Poblano (MP). Los resultados obtenidos indican que los genotipos MPE y MAN presentaron los niveles más altos en fenoles totales y antocianinas, lo que resultó en mayores propiedades antioxidantes. El presente estudio permite identificar genotipos de maíz con alta concentración de compuestos antioxidantes que pueden ser utilizados para el desarrollo de suplementos alimenticios.

Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is one of the main foods that constitute the Mexican diet. In addition, Mexico is a country that has various races of corn with different pigmentations. Corn with pigmented kernels are distinguished by their high content of phenolic compounds and antioxidant capacity, which can be used for the development of functional products to benefit of health. The aim of this work was to evaluate and compare the content of phenolic compounds (total phenols and flavonoids, anthocyanins and condensed tannins), also to the levels of antioxidant capacity (DPPH and ABTS) in five genotypes of blue/purple corn of different breeds (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño and Cónicos), identified as Morado Peruano (MPE), Morado Antonio Narro (MAN), Morado Veracruz (MV), Morado Sinaloa (MS) and Morado Poblano (MP). The results obtained indicate that the MPE and MAN genotypes presented the highest levels of total phenols and anthocyanins, which resulted in higher antioxidant properties. The present study allows the identification of maize genotypes with a high concentrations of antioxidant compounds that can be used for the development of food supplements.

Résumé

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'un des principaux aliments qui composent l'alimentation mexicaine. De plus, le Mexique est un pays qui possède différentes races de maïs avec des pigmentations différentes. Le maïs à grains pigmentés se distingue par sa haute teneur en composés phénoliques et sa capacité antioxydante, qui peuvent être utilisés pour le développement de produits fonctionnels au bénéfice de la santé. L'objectif de ce travail était d'évaluer et de comparer la teneur en composés phénoliques (phénols et flavonoïdes totaux, anthocyanes et tanins condensés), ainsi que les niveaux de capacité antioxydante (DPPH et ABTS) dans cinq génotypes de maïs bleu/violet de différentes races (Kculli, Tuxpeño, Chalqueño et Cónicos), identifiées comme Violet Peruano (MPE), Violet Antonio Narro (MAN), Violet Veracruz (MV), Violet Sinaloa (MS) et Violet Poblano (MP). Les résultats obtenus indiquent que les génotypes MPE et MAN présentaient les niveaux les plus élevés de phénols totaux et d'anthocyanes, ce qui a entraîné des propriétés antioxydantes plus élevées. La présente étude permet l'identification de génotypes de maïs à forte concentration en composés antioxydants pouvant être utilisés pour le développement de compléments alimentaires.

Eddalíz García Reyes¹
Antonio Flores Naveda¹
Norma Ruiz Torres¹

Neymar Camposeco Montejo¹
Sonia Noemi Ramírez Barrón²
Josué Israel García López^{1*}

¹Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas

²Departamento de Ciencias Básicas Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo

Correspondencia:
*g.lopezj90@gmail.com

Palabras clave: Antocianinas, fenoles, flavonoides, capacidad antioxidante.

Keywords: Anthocyanins, phenols, flavonoids, antioxidant capacity.

Mots-clés: Anthocyanes, phénols, flavonoïdes, pouvoir antioxydant.

Introducción

El maíz (*Zea Mays* L.) es una planta considerada con centro de origen en México, cuenta con 59 razas de maíz, que representa un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Rodríguez-Salinas et al., 2019). Las razas muestran diferentes pigmentaciones del grano, con colores que van del negro hasta el rosa pálido, y los más comunes son rojo y azul (López-Vásquez et al., 2020). El maíz morado es integrante de la raza Kculli, una de las 52 razas presentes en los Andes Peruanos

y es único en el mundo por tener los granos, brácteas y la coronta de color morado a negro (MINAM, 2018). La gran diversidad de productos tradicionales a base de maíz en México, está ligada a la diversidad de granos de las variedades locales de maíz, lo que otorga texturas, colores y cualidades particulares a los más de 600 productos finales en los que se destacan: tortillas, tamales, pozole, elotes, palomitas, etc. (Guzzon et al., 2021; CONABIO, 2020).

Actualmente, el maíz azul es una de las materias primas más importantes en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y textil a nivel internacional, debido a su color característico que a su vez está determinado por las antocianinas presentes en el pericarpio y la capa de aleurona del grano (Somavat et al., 2016). Sin embargo, la producción de maíces pigmentados en México representa menos del 5 %, lo cual indica bajo aprovechamiento, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticas representan una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejoras en características funcionales y nutricionales (Gómez-Montiel et al., 2017; Graillet-Juárez et al., 2020).

Adicionalmente, a los maíces pigmentados se les atribuyen propiedades fitoquímicas únicas, de las cuales existen dos grandes familias de pigmentos de naturaleza fenólica asociados al maíz, que incluyen a las antocianinas y los carotenoides (Bello-Pérez et al., 2016). Los maíces ricos en antocianinas, son considerados como nutraceuticos debido al efecto preventivo de estos pigmentos ante enfermedades cardiovasculares como la obesidad, diabetes, colesterol y ciertos tipos de cáncer (próstata y colón), estabilizando radicales libres al ceder átomos de hidrógeno, lo que permite reducir el estrés oxidativo y actuar como un efecto protector sobre los componentes celulares (Paulsmeyer et al., 2017; Graillet et al., 2019; Francavilla y Joye, 2020; Medina-Hoyos et al., 2020).

Las antocianinas que se encuentran en los granos de maíces pigmentados, permiten la elaboración de alimentos funcionales, principalmente para el desarrollo de bebidas nutraceuticas, suplementos alimenticios a base de antocianina como el Grape Seed Supreme (polifenol+antocianina), e incluso pueden ser utilizadas como colorante natural en los alimentos y en la industria textil (Mendoza et al., 2017; Rodríguez-Salinas et al., 2019). Además, en estudios *in vitro*, se

ha demostrado que las antocianinas cuentan con mayor actividad antioxidante que las vitaminas C y E (Mendoza et al., 2017; Francavilla y Joye, 2020).

En este sentido, es importante identificar genotipos de maíz pigmentado con alta concentración de compuestos bioactivos, que pueden ser utilizados para el desarrollo de productos antioxidantes con valor agregado para el consumo humano, o como alternativa de materia prima para el desarrollo de alimentos procesados. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en maíces de diferentes razas con pigmentaciones de grano azul/morado.


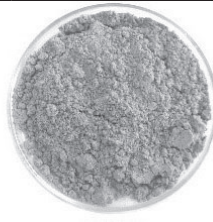


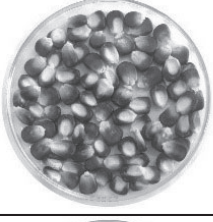





Materiales y Métodos

Los genotipos evaluados en este estudio fueron colectados en diferentes regiones del país y del extranjero para ser resguardados en el banco de germoplasma del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los materiales fueron identificados y caracterizados por el Dr. Juan Manuel Hernández Casillas (ver la Tabla 1).

Para realizar los análisis, los granos de los cinco genotipos de maíz se pesaron en tres repeticiones de 50 g de muestra, de los cuales 25 g se molieron hasta obtener partícula de tamaño 0.5 mm (utilizando el tamaño de malla estándar 35). Los extractos de polifenoles se obtuvieron pesando 200 mg de muestra de maíz suspendidos en 4 mL de metanol al 80 %, posteriormente, se agitó durante dos horas a 200 rpm a una temperatura de 25 °C. Para finalizar, las muestras se centrifugaron a 5000 rpm (25 °C, 7 min), y el sobrenadante fue recuperado y almacenado a -10 °C hasta su análisis.

Los ensayos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Spectronic BioMate 3 (Rochester, NY, USA). La determinación del contenido de fenoles totales se realizó mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico como patrón para la curva de calibración (0 a 200 mg/L). La absorbancia de las muestras se midió a 750 nm, y los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por cien gramos de muestra (mg GAE/100 g). Las determinaciones de fenólicos totales, flavonoides totales y taninos condensados se realizaron con base en lo establecido por López-Contreras et al. (2015).

Tabla 1. Genotipos de maíz pigmentado (azul/morado) seleccionados para el estudio.

Denominación	Sitios de colecta	Grano	Harina
MPE= Morado Peruano (Raza Kculli)	Perú		
MAN= Morado Antonio Narro (Raza Elotes Cónicos)	Puebla		
MV= Morado Veracruz (Raza Tuxpeño)	Veracruz		
MS= Morado Sinaloa (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Sinaloa		
MP= Morado Poblano (Raza Chalqueño x Elotes Cónicos)	Puebla		

La determinación del contenido de flavonoides totales se basó en la reacción del complejo de cloruro de aluminio e hidróxido de sodio, utilizando como estándar de referencia (+)-catequina a una concentración de 0 a 200 mg/L. La absorbancia de las muestras se midió a 510 nm y el resultado se reportó como miligramos equivalentes de (+)-catequina por 100 gramos de muestra (mg CE/100 g). El contenido de taninos condensados se determinó con la reacción de vainillina- H_2SO_4 , utilizando (+)-catequina como estándar de referencia para la curva de calibración (0 a 250 mg/L). Las muestras se midieron a una absorbancia de 500 nm, y los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g).

El contenido de antocianinas totales se evaluó de acuerdo con Abdel-Aal y Hucl (1999). La absorbancia se midió a 535 nm, y el contenido de antocianinas se expresó como miligramos de equivalentes de cianidin-3-glucósido (C3GE) por cien gramos de muestra (mg C3GE/100 g). Los ensayos de capacidad antioxidante para DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) y ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) se realizaron de acuerdo con Camposeco-Montejo et al. (2021). Los resultados fueron reportados en microcromoles de Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) equivalentes por cien gramos de muestra ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$), tomando como referencia la curva de calibración de Trolox (0 a 500 $\mu\text{mol}/\text{L}$).

La diferencia estadística entre muestras se obtuvo mediante análisis de varianza (ANOVA), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se expresaron como valores medios de tres muestras \pm desviación estándar.

Resultados y Discusión

Los resultados indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos para el contenido de fenoles totales y flavonoides totales (ver la Figura 1). El contenido de fenoles totales fue de 239.2 a 14,999.2 mg GAE/100 g; mientras que en flavonoides totales se encontraron valores de 6.6 a 2,641.5 mg CE/100 g. El mayor contenido de fenoles totales y flavonoides totales se presentó en MAN y MPE, con 6,359.8 y 14,999.2 mg GAE/100 g y 750.7 a 2,641.5 mg CE/100 g, respectivamente.

Los resultados de fenoles totales obtenidos en esta investigación son 6.6 veces mayor en el valor máximo que los reportados por Guzmán-Gerónimo et al. (2017) y Khamphan et al. (2018), quienes informaron valores promedio de 203.2 a 2,261.66 mg GAE/100 g en granos pigmentados de maíz morado. Por otra parte, para el contenido de flavonoides totales en genotipos de maíces mexicanos de grano morado y azul, se han informado concentraciones de hasta 4.02 veces menores (5.55 a 656.35 mg ECat/100 g), para el valor máximo obtenido en esta investigación (Quintanilla-Rosales et al., 2017; Loarca-Piña et al., 2019). La diferencia del contenido de polifenoles entre razas, son propios al lugar de procedencia y de las condiciones ambientales donde se desarrolla el

cultivo, sin dejar de mencionar que el maíz de raza Kculli se caracteriza por presentar mayor contenido de fenoles y flavonoides entre genotipos con esta pigmentación (Medina-Hoyos et al., 2020).

El contenido de antocianinas totales y taninos condensados presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados (ver la Figura 2). El contenido de antocianinas osciló entre 3.29 a 31.56 mg C3GE/100 g, por otro lado, el contenido de taninos condensados fue de 25.96 a 476.01 mg CE/100 g. Los genotipos MAN y MPE mostraron mayores contenidos de antocianinas y taninos condensados (sus concentraciones fueron 21.62, 31.56 mg CE/100 g y 269.12, 476.01 mg C3GE/100 g, respectivamente), mientras que MS y MP presentaron menor contenido de estos compuestos (3.29, 4.03 mg C3GE/100 g y 25.96, 49.67 mg CE/100 g, respectivamente).

Estudios previos realizados en genotipos de grano pigmentado, para el contenido de antocianinas muestran valores superiores con diferencia de 1.1 veces, en el valor máximo obtenido (promedios similares de 3.89 a 34.17 mg C3GE/100 g), cultivados en el centro de México (Loarca-Piña et al., 2019). Sin embargo, otros autores han informado concentraciones superiores (2.7 veces) de antocianinas totales (85.30 mg C3GE/100 g) en genotipos de maíces pigmentados (grano morado) (Mendoza-Mendoza et al., 2017). Las antocianinas son las responsables del color rojo o púrpura que observamos en las hojas, flores y frutos de las plantas, los cuales son pigmentos hidrosolubles que se encuentran en las vacuolas de las células vegetales (Eng-EKhoo et al., 2017). Pertenecen al grupo de los flavonoides y están constituidas por

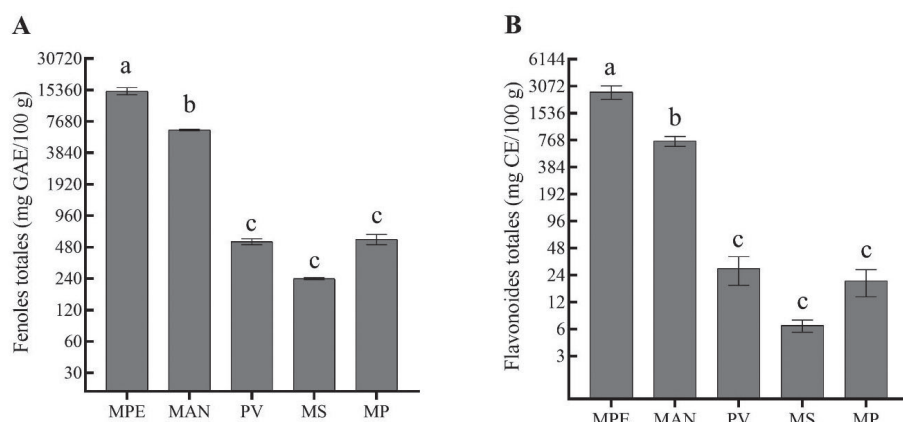


Figura 1. Contenido de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

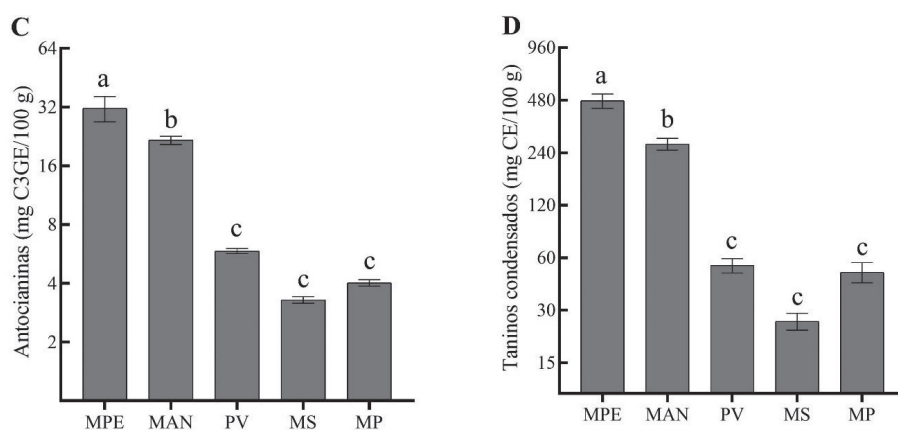


Figura 2. Contenido de antocianinas totales (C) y taninos condensados (D) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que está unida un azúcar a través de un enlace β -glucosídico (Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021). Las principales antocianinas y taninos condensados que se han reportado en maíces pigmentados son cianidina-3-glucosido, pelarginidina-3-glucosido, peonidina-3-glucosido, cianidina-3-(6"-malonilglucosido), pelargonidina-3--(6"-malonilglucosido), peonidina-3--(6"-malonilglucosido) (en grano de maíz morado) (Magaña-Cerino et al., 2020). Cabe señalar, que existe una correlación positiva entre la actividad antioxidante y la concentración de compuestos fenólicos en granos de maíces pigmentados (Quintanilla-Rosales et al., 2017). Por consiguiente, estudios demuestran que los compuestos polifenólicos que se encuentran en los granos de maíz azul/morado son benéficos para la salud humana, debido a que tienen propiedades antioxidantes, y ayudan a disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares como la obesidad, diabetes, hasta ciertos tipos de cáncer (Eng-Khoo et al., 2017).

Sin embargo, para el año 2021 la producción de maíz en México fue de 27 millones 503 mil 477.82 toneladas de maíz, de los cuales 88.12 % corresponde a maíz de grano blanco, 11.44 % al amarillo, y el resto a otros colores entre los cuales se encuentra el maíz azul (0.04 %), donde la producción se rige por familias campesinas para autoconsumo (SIAP, 2021). Por lo anterior, es importante incrementar el consumo de los maíces pigmentados a nivel nacional, promoviendo su producción, conservación y aprovechamiento en la agroindustria y la farmacología.

El genotipo de raza Elotes Cónicos (MAN), presentó un contenido de antocianinas similar (1.46 veces menor) al genotipo de raza Kculli proveniente del Perú. Por ello, MAN podría ser utilizado en México para el desarrollo de alimentos funcionales, que impacten positivamente en la salud de las personas vulnerables a enfermedades no transmisibles o con bajos recursos.

Los ensayos de capacidad antioxidante DPPH y ABTS presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos (ver la Figura 3). Los valores en términos equivalentes de Trolox, estuvieron en un rango de 968.6 a 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ y 2,127.5 a 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ para los ensayos de DPPH y ABTS, respectivamente. El genotipo que presentó la mayor capacidad antioxidante fue MPE, con 15,178.1 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ en DPPH, y 29,640.2 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ en ABTS, seguido de MAN con 5,830.8 y 12,836.1 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$

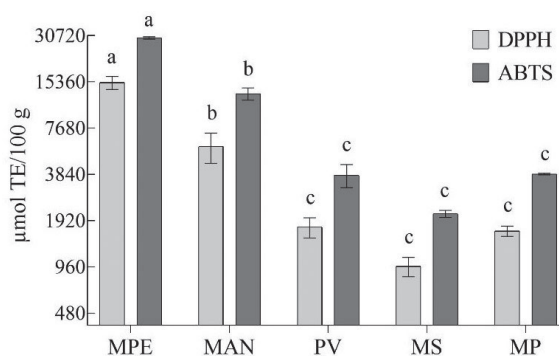


Figura 3. Capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíz morado por los ensayos de DPPH y ABTS. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

en DPPH y ABTS, respectivamente. Por el contrario, el genotipo MS presentó la menor capacidad antioxidante en DPPH y ABTS (968.6 y 2,127.5 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, respectivamente).

En general, los genotipos con pigmentación morado presentan mayor capacidad antioxidante ante los de pigmentación azul. Por otro lado, los métodos aplicados presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque también muestran diferencias. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, captando radicales libres que se encuentran de forma hidrosoluble; en cambio ABTS se genera tras una reacción química, enzimática o electroquímica, además de medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica (Francavilla y Joye, 2020).

Otros estudios realizados en genotipos de maíz azul/morado de México reportan valores 1.3 veces superiores al valor mínimo de DPPH obtenidos en este estudio (de 1,286.7 a 1,865.7 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$), y 1.6 veces superior al valor mínimo de ABTS (3,439.65 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$) (Rodríguez-Salinas et al., 2019). Así mismo, un estudio realizado en Tailandia reportó valores promedio de 14,079.27 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de capacidad antioxidante mediante el método ABTS en mazorcas de maíz morado, lo que representa 2.1 veces menor al genotipo MPE y 1.1 veces mayor a MAN (Khamphan et al., 2018). De acuerdo a los resultados obtenidos con el método DPPH, la capacidad antioxidante de los genotipos fue en el orden MPE>MAN>MV>MP>MS; mientras que con el método ABTS fue en el orden MPE>MAN>MP>MV>MS, mostrando un comportamiento similar en ambos ensayos. La actividad antioxidante de los granos de maíz pigmentado, está directamente relacionada con la cantidad de compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides y antocianinas) presentes en el grano de maíz (Vázquez-Olivo et al., 2017). No obstante, la capacidad antioxidante se ve afectada por las características propias de los genotipos (constitución genética), además del lugar y las condiciones de crecimiento en las que se desarrolle la planta (Flores-Naveda et al., 2021).

Conclusiones

Los resultados de este estudio, permiten identificar una amplia variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante entre

los genotipos evaluados. Los genotipos MAN y MPE presentaron el mayor contenido de fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y taninos condensados, lo que generó mayores propiedades antioxidantes. Por lo anterior, se sugiere que los genotipos que presentaron la mayor concentración de compuestos bioactivos se incluyan en programas de mejoramiento genético con la finalidad de generar materiales con mayor contenido de compuestos antioxidantes que puedan ser utilizados para el desarrollo de suplementos alimenticios.

Bibliografía

- Abdel-Aal, E. S. y Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 76, 350–354.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E. y Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia.* 50(8),1041–1063.
- Camposeco-Montejo, N., Flores-Naveda, A., Ruiz-Torres, N., Álvarez-Vázquez, P., Niño-Medina, G., Ruelas-Chacón, X., Torres-Tapia, M. A., Rodríguez-Salinas, P., Villanueva-Coronado, V. y García-López, J. I. (2021). Agronomic performance, capsaicinoids, polyphenols and antioxidant capacity in genotypes of habanero pepper grown in the southeast of Coahuila, Mexico. *Horticulturae.* 7: 372.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. (2020). Razas de Maíz en México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.
- Eng-Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T. y Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. *Review. Food Nutr. Res.* 61(1361779): 1–21.
- Flores-Naveda, A., Díaz-Vázquez, F., Ruiz-Torres, N. A., Vázquez-Badillo, M. E., Niño-Medina, G., Camposeco-Montejo, N., Rodríguez-Salinas, P. y García-López, J. I. (2021). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. *ITEA-Inf. Tec. Econ.* 20:1–16.
- Francavilla, A. y Joye, I. J. (2020). Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients.* 12 (2922).
- Gómez-Montiel, N. O., Cantú-Almaguer, M. A., Vázquez-Carrillo, M. G., Hernández-Galeno, A. A., Aragón-Cuevas, F., Espinosa-Calderón, A. y Tadeo-Robledo, M. (2017). Variedad mejorada de maíz azul 'V-239AZ' para las regiones semicálidas de Guerrero. *Rev. Mexicana Cienc. Agríc.* 8(8),1905-1910.
- 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).
- Graillet-Juárez, E. M, Arizmendi-Martínez, D. L. y Gómez-Juárez, A. D. (2020). Estudio de mercado del maíz azul (*Zea Mays* L.) en México. Innovación Empresarial En Mercadotecnia. *Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C.* ISBN 978-607-8617-78-4 P. 35–54.

- Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón, E., García, O., Chávez-Seriva, J. L. y Alarcón-Zavaleta, T. (2017) Chemical, antioxidant, and cytotoxic properties of native blue corn extract. In Badria FA (Ed.) *Natural Products and Cancer Drug Discover. InTech. Rijeka, Croatia*. pp. 67–77.
- Guzzon, F., Arandia Rios, L. W., Caviedes Cepeda, G. M., Céspedes Polo, M., Chavez Cabrera, A., Muriel Figueroa, J. y Pixley, K. V. (2021). Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy*. 11(1), 172.
- Khamphasan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Kethaisong, D., Scott, M. P., Lertrat, K. y Suriharn, B. (2018). Genotypic variation in anthocyanins, phenolic compounds, and antioxidant activity in cob and husk of purple field corn. *Agronomy*. 8: 271.
- Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, J. D., Castaño-Tostado, E., Ramos-Gómez, M., Reynoso, R. y Mendoza, S. (2019). Chemical characterization, antioxidant and antimutagenic evaluations of pigmented corn. *J. Food Sci. Technol*. 56(7): 3177–3184.
- López-Contreras, J. J., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. y Niño-Medina, G. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of *Sorghum bicolor* genotypes. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca*. 43: 366–370.
- López-Vásquez, V. M., Salinas-Moreno, Y., Alemán-de la Torre, I., Morales-Hernández, N. y Bautista-Ramírez, E. (2020). Effect of adding anthocyanins to blue maize dough on color, texture and antioxidant capacity of maize tortillas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 12(2), 183–200.
- Magaña-Cerino, J. M., Peniche-Pavía, H. A., Tiessen, A. y Gurrrola-Díaz, C. M. (2020). Pigmented maize (*Zea mays* L.) contains anthocyanins with Potential therapeutic action against oxidative stress – A Review. *Polish J. Food Nutr. Sci*. 70(2): 85–99.
- 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.
- 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.
- MINAM. 2018. Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. Ministerio del Ambiente. Primera edición. Grupo Raso. Lima, Perú, 144 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>.
- Paulsmeyer, M., Chatham, L., Becker, T., West, M. West, L., y Juvik, J. (2017). A survey of anthocyanin composition and concentration in diverse maize germplasm. *J. Agric. Food Chem*. 1–39.
- Quintanilla-Rosales, V.L., Galindo-Luna, K., Zavala-García, F., Pedroza-Flores, J.A., Heredia, J.B., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, M.D., y Niño-Medina, G. (2017). Fenólicos solubles de tipo flavonoide y capacidad antioxidante en genotipos criollos pigmentados de maíz (*Zea mays*). *ITEA-Inf. Tec. Econ*. 113(4), 325–334.
- Rabanal-Atalaya, M. y Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*. 39(e808): 1–12.
- 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 nutraceuticas en bebidas de maíz. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 23(1): 92–101.
- Rodríguez-Salinas, P.A., Muy-Rangel, D., Urias-Orona, V., Zavala-García, F., Suarez-Jacobo, A., Heredia, J.B., Rubio-Carrasco, W., y Niño-Medina, G. (2019). Thermal processing effects on the microbiological, physicochemical, mineral, and nutraceutical properties of a roasted purple maize beverage. *Farmacía*. 67(4): 587–595.
- Somavat, P., Li, Q., González de Mejía, E., Liu, W. y Singh, V. (2016). Coproduct yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes. *Ind. Crops Prod*. 87:266–272.
- Vazquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L. y Heredia, J. B. (2017). Antioxidant capacity of lignin and phenolic compounds from corn stover. *Springer*. 1–8.

Universidad Tecnológica de la Mixteca UTM



Infraestructura

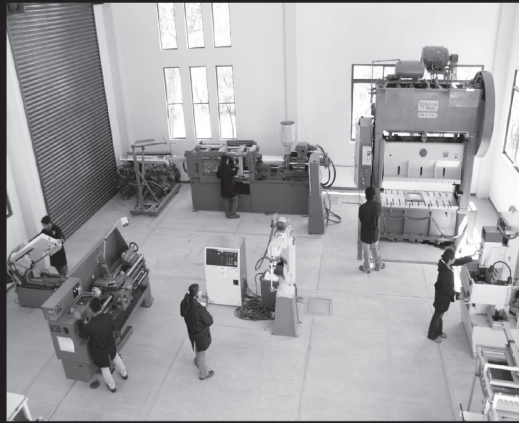
104 Ha. de dimensión
113 Edificios
48 Laboratorios
9 Talleres
Parque Tecnológico
Parque Solar Fotovoltaico
Agavetum



9 Institutos de Investigación

Instituto de Agroindustrias
Instituto de Computación
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Instituto de Diseño
Instituto de Electrónica y Mecatrónica
Instituto de Física y Matemáticas
Instituto de Hidrología
Instituto de Minería
Instituto de Ingeniería Industrial y Mecánica Automotriz

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería en Electrónica
Ingeniería en Computación
Ingeniería en Diseño
Ingeniería en Alimentos
Ingeniería Industrial
Ingeniería en Mecatrónica
Ingeniería en Física Aplicada
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Ingeniería Civil
Licenciatura en Ciencias Empresariales
Licenciatura en Matemáticas Aplicadas
Licenciatura en Estudios Mexicanos (modalidad virtual)



Posgrado

Doctorado en Robótica
Doctorado en Modelación Matemática
Doctorado en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Doctorado en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Robótica
Maestría en Medios Interactivos
Maestría en Administración de Negocios
Maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura
Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos
Maestría en Modelación Matemática
Maestría en diseño de Muebles
Maestría en diseño de Modas
Maestría en Ciencias de Materiales
Maestría en Electrónica con opción en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Computación con especialidad en Sistemas Distribuidos (modalidad virtual)

INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

