

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.


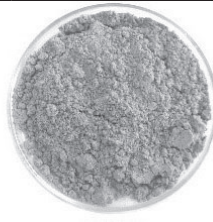


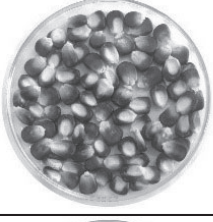





Materiales y Métodos

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

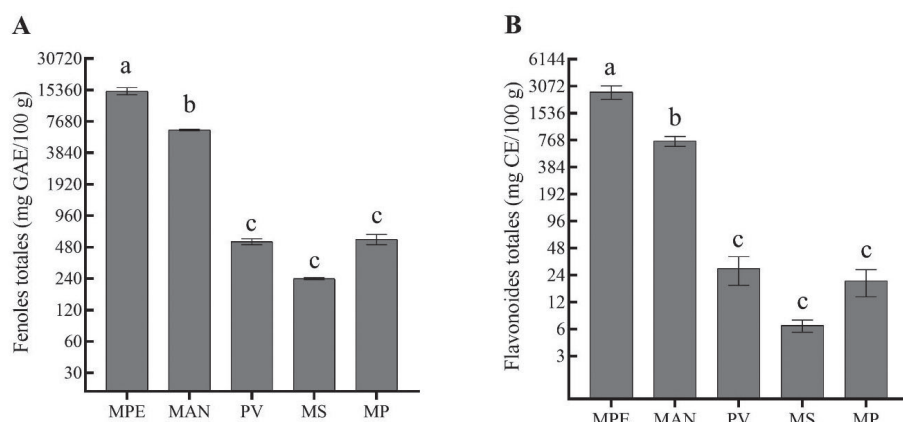


Figura 1. Contenido de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

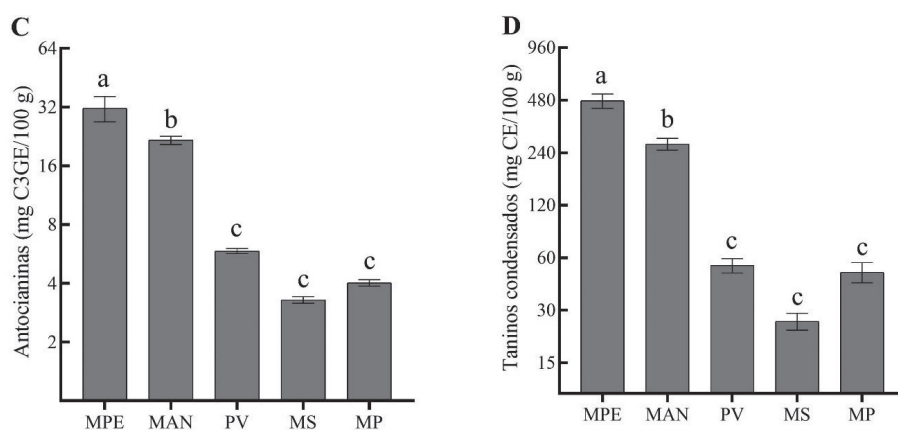


Figura 2. Contenido de antocianinas totales (C) y taninos condensados (D) de cinco genotipos de maíz morado. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

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 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$

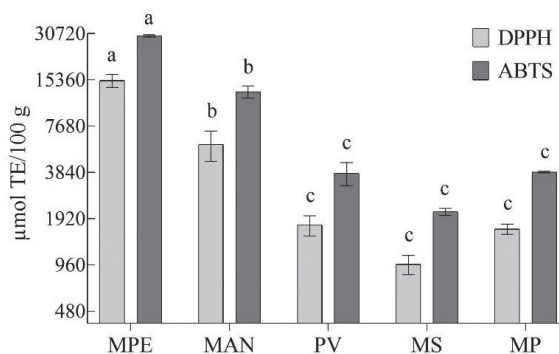


Figura 3. Capacidad antioxidante de cinco genotipos de maíz morado por los ensayos de DPPH y ABTS. Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes entre barras significa que fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

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. *Farmacia*. 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

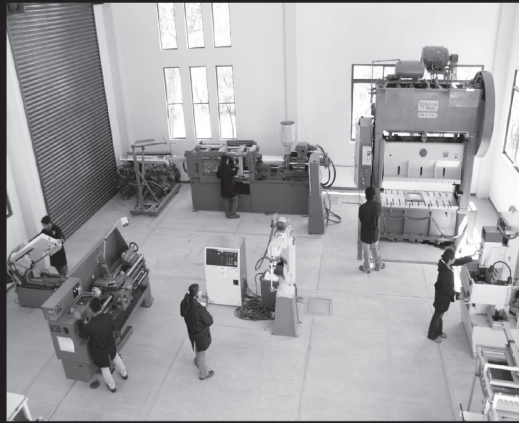
104 Ha. de dimensión
113 Edificios
48 Laboratorios
9 Talleres
Parque Tecnológico
Parque Solar Fotovoltaico
Agavetum



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

