

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PINOTEPA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE MAÍCES NATIVOS (*Zea mays*
L.) DE SANTIAGO TETEPEC, OAXACA**

T E S I S

Que para obtener el título de:

MAESTRA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA

Presenta: Ing. Guadalupe Nereida González Paz

Director: Mtro. Herminio Aniano Aguirre

Codirectora: Dra. Mónica Laura Pérez Nicolás

Junio, 2026



La presente tesis titulada **Caracterización bioquímica de maíces nativos (*Zea mays* L.) de Santiago Tetepec, Oaxaca**, realizada por la estudiante **Ing. Guadalupe Nereida González Paz**, bajo el Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA

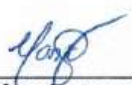
COMITÉ TUTORIAL

Director



Mtro. Herminio Aniano Aguirre

Codirectora



Dra. Mónica Laura Pérez Nicolás

Asesor



Dr. Iran Alia Tejacal

Asesor



Mtro. Arturo de la Rosa Galindo

Asesora



Mtra. Salomé López González

Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México, Junio de 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Pinotepa
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Santiago Pinotepa Nacional, Oax. **01/junio/2026**

OFICIO No. DEPI-047/2026

ASUNTO: Autorización de impresión de tesis

ING. GUADALUPE NEREIDA GONZÁLEZ PAZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA
PRESENTE

De acuerdo con las disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Comité Tutorial le hizo respecto a su tesis para obtener el grado de Maestra en Producción Agroalimentaria, cuyo título es: Caracterización bioquímica de maíces nativos (*Zea mays* L.) de Santiago Tetepec, Oaxaca. La división a mi cargo le concede la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

MTRO. HERMINIO ANIANO AGUIRRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Expediente
HAA/MLPN/bcr



2026
año de
Margarita
Maza



Av. Tecnológica, Sesión Primera No. 1155, Col. La santidad, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, C.P. 71602. Teléfonos: 95-45 43 53 05 y 95-45 43 52 87. E-mail: depi_pinotepa@tecnm.mx | www.tecnm.mx | www.pinotepa.tecnm.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Pinotepa
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Santiago Pinotepa Nacional, Oax., **01/junio/2026**

OFICIO No. DEPI- 046/2026

ASUNTO: Autorización de impresión de tesis

ING. GUADALUPE NEREIDA GONZÁLEZ PAZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA
PRESENTE

De acuerdo con las disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Comité Tutorial le hizo respecto a su tesis para obtener el grado de Maestra en Producción Agroalimentaria, cuyo título es: Caracterización bioquímica de maíces nativos (*Zea mays* L.) de Santiago Tetepec, Oaxaca. Los abajo firmantes del Comité Tutorial le concedemos la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

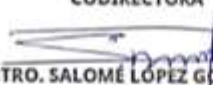
ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®


MTRO. HERMINIO ANIANO AGUIRRE
DIRECTOR


DRA. MÓNICA LAURA PÉREZ NICOLÁS
CODIRECTORA


DR. IRÁN ALIA TEJACAL
ASESOR


MTRO. SALOMÉ LÓPEZ GONZÁLEZ
ASESORA


MTRO. ARTURO DE LA ROSA GALINDO
ASESOR

Vo. Bo.


MTRO. HERMINIO ANIANO AGUIRRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Expediente
HAA/MLPN/bcr



Av. Tecnológico, Sección Primera No. 1155, Col. La Soledad, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca. C.P. 71602.
Teléfonos: 95 45 43 53 05 y 95 45 43 52 87, vin_pinotepa@tecnm.mx | www.tecnm.mx | www.pinotepa.tecnm.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Pinotepa
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Los abajo suscritos, integrantes del Comité Tutorial de la tesis titulada:

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE MAÍCES NATIVOS (*Zea mays* L.) DE SANTIAGO TETEPEC, OAXACA

Presentada por la C. GUADALUPE NEREIDA GONZÁLEZ PAZ

Hemos acordado que la estudiante ha cumplido con todas las recomendaciones emitidas por nosotros, por lo que no tenemos inconveniente en que sea extendido el oficio de autorización de impresión de la tesis mencionada para la formalización correspondiente.

NOMBRE COMPLETO	FUNCIÓN	FIRMA	Fecha autorización
Mtro. Herminio Aniano Aguirre	Director		01 de junio de 2026
Dra. Mónica Laura Pérez Nicolás	Codirectora		01 de junio de 2026
Dr. Irán Alia Tejacal	Asesor		01 de junio de 2026
Mtra. Salomé González López	Asesora		01 de junio de 2026
Mtro. Arturo de la Rosa Galindo	Asesor		01 de junio de 2026

Santiago Pinotepa Nacional, Oax., 01 de junio de 2026



2026
año de
**Margarita
Maza**



Av. Tecnológico, Sección Primera No. 1155, Col. La soledad. Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca. C.P. 71602.
Teléfonos: 95 45 43 53 05 y 95 45 43 52 87. vin_pinotepa@tecnm.mx | www.tecnm.mx | www.pinotepa.tecnm.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Pinotepa
División de Estudios de Posgrado e Investigación

LICENCIA DE USO OTORGADA POR C. GUADALUPE NEREIDA GONZÁLEZ PAZ, de nacionalidad Mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en calle novena poniente entre 13° y 15° sur s/n Barrio Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, C.P. 71600, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada: Caracterización bioquímica de maíces nativos (Zea mays L.) de Santiago Tetepec, Oaxaca en adelante "LA OBRA", quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL AUTOR Y/O EL TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico de Pinotepa del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA – OBJETO: "EL AUTOR Y/O TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico de Pinotepa, del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional del Tecnológico Nacional de México (RI-TecNM), éste último consultable en la página (<https://rinacional.tecnm.mx/>).

SEGUNDA – TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA – ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, en red, mensajes de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Pinotepa; por lo tanto, "EL AUTOR Y/O TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico de Pinotepa y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el "AUTOR Y/O TITULAR" es el único, primigenio y perpetuo titular de derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgar los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: "EL AUTOR Y/O TITULAR" manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la Ciudad de Santiago Pinotepa Nacional, a los 01 días del mes de junio de 2026.

"EL AUTOR Y/O TITULAR"

Guadalupe Nereida González Paz

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PINOTEPA"

Hermilio Aniano Aguilera

Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación



Margarita
Maza

Av. Tecnológica, Sección Primera No. 1155, Col. La Soledad, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, C.P. 71602. Teléfonos: 95 45 43 53 05 y 95 45 43 52 87, E-mail: depi.pinotepa@tecnm.mx | www.tecnm.mx | www.pinotepa.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Pinotepa
División de Estudios de Posgrado e Investigación

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Dra. Mónica Laura Pérez Nicolás, coordinadora del programa de Maestría en Producción Agroalimentaria,

HACE CONSTAR

que el C. Guadalupe Nereida González Paz, del Programa de Maestría en Producción Agroalimentaria, con número de control M24730411 y los integrantes del comité tutorial Herminio Aniano Aguirre (Director), Mónica Laura Pérez Nicolás (Codirector), Iran Alia Tejacal (Asesor), Salomé López González (Asesora) y Arturo de la Rosa Galindo (Asesor) del manuscrito de la Tesis "Caracterización bioquímica de malces nativos (*Zea mays* L.) de Santiago Tetepec, Oaxaca" en la que participaron, garantizan al firmar la Tesis, haber respetado los derechos de otros autores al ser citados cuando se utilizaron sus resultados o publicaciones.

Así mismo, reportan un porcentaje de similitud de 14 % con otras fuentes. Por lo que la consideran una obra inédita y original del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Pinotepa.

Se extiende la presente constancia, en Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca a los veintiseis días del mes de mayo del dos mil veintiseis.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica.

DRA. MÓNICA LAURA PÉREZ NICOLÁS
COORDINADORA DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA



c.c.p. Expediente
HAA/MLPN



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Tecnológico, Sección Primera No. 1155, Col. La
soledad, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.
C.P.71602. Teléfonos: 95 45 43 53 05 y 95 45 43 52 87
E-mail: depi.pinotepa@tecnm.mx | www.tecnm.mx |
www.pinotepa.tecnm.mx



Dedicatoria

A mi padre Javier Héctor, mientras estas líneas tomaban forma, tu salud se debilitaba, te fuiste justo antes de verme entregar este trabajo, pero me dejaste la certeza de que mi éxito era tu mayor orgullo. Papá, lo logramos; este título es tan tuyo como mío, y sé que hoy celebras conmigo desde la eternidad.

A mis amadas hijas Sofía Yocel y María Fernanda, gracias por su infinita paciencia y por esperarme con amor durante las largas horas que les resté para culminar este proyecto. Perdónenme por esos momentos en los que quisieron jugar y yo no pude estar presente. Todo este sacrificio es por y para ustedes.

A mi familia gracias por sus palabras de aliento, su expresión de cariño, por ser mi refugio durante este proceso. Su apoyo fue el motor que hizo posible transformar este esfuerzo en una meta cumplida.

Y finalmente a mí misma, por la fuerza que encontré en mis momentos de mayor debilidad, por no rendirme a pesar del cansancio y el dolor, por demostrarme que soy capaz de cumplir mis metas sin importar los obstáculos. Este logro es la prueba de mi perseverancia, mi valentía y mi amor propio.

Con mucho amor Nelly

Agradecimientos

A Jehová, mi gratitud infinita. Gracias, Padre, por ser mi fuerza en los momentos difíciles, por iluminar mi mente y mi corazón.

Al Tecnológico Nacional de México, por el financiamiento otorgado para la realización de mi proyecto. Al Instituto Tecnológico de Pinotepa, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de superarme profesionalmente.

Al Mtro. Arturo de la Rosa Galindo por su apoyo incondicional para la realización y culminación de este proyecto.

A mi director de tesis, el Mtro. Aguirre Herminio Aniano por su confianza y apoyo incondicional durante todo este proceso.

A mi codirectora, la Dra. Mónica Laura Pérez Nicolás, por todas las facilidades brindadas para la obtención de las muestras evaluadas. Gracias por su apoyo, confianza y por la paciencia que me tuvo. Me siento muy afortunada de haber coincidido con usted.

Al Laboratorio de Ciencias Agropecuarias de la UAEM, por las facilidades otorgadas para la realización de los análisis bioquímicos.

Al Dr. Irán Alia Tejacal y a la M.C. Alyn Mariana Palacios Sosa, por su valiosa colaboración, guía y hospitalidad durante el desarrollo de este proyecto.

A los profesores de mi consejo quienes fueron parte fundamental en mi formación. Gracias por su orientación en la dirección de este trabajo, así como por sus valiosas aportaciones.

A los estudiantes y compañeros del laboratorio de la UAEM en especial a Héctor por su amistad y hospitalidad, a Verónica, Aranza, Emiliano, por la paciencia y apoyo en la realización de los procedimientos.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
CAPÍTULO I	3
I. Introducción	4
Referencias bibliográficas	14
CAPÍTULO II	19
II. Marco teórico	20
1.1 Morfología del maíz	20
1.2 Origen y distribución	21
1.3 Importancia del cultivo	23
1.4 Caracterización de Recursos Fitogenéticos	24
1.5 Caracterizaciones en maíces	26
1.6 Caracterización bioquímica	30
1.6.1 Determinación de color	31
1.6.2 Determinación de carbohidratos solubles	31
1.6.3 Proteínas	32
1.6.4 Antocianinas	33
1.6.5 Flavonoides	33
1.6.6 Capacidad Antioxidante	34
1.7 Caracterización bioquímica en alimentos	35
Referencias bibliográficas	38
CAPITULO III	47
III. Caracterización física, bioquímica, nutraceutica y actividad antioxidante de maíces nativos de la costa de México	48
Resumen	48

Abstract	49
Introducción	50
Materiales y métodos	52
Área de estudio	52
Material vegetal	52
Determinación de color	52
Determinación de carbohidratos solubles	53
Determinación de proteína	53
Determinación de flavonoides totales	53
Determinación de antocianinas totales	53
Determinación de compuestos fenólicos	54
Actividad antioxidante por FRAP	54
Actividad antioxidante por ABTS	54
Análisis estadístico	54
Resultados y discusión	55
Conclusiones	63
Agradecimientos	65
Referencias bibliográficas	65
CAPÍTULO IV	73
IV. Conclusiones y recomendaciones	74
Anexos	76
A.1.	76
A.2.	77

Índice de cuadros

Cuadro 1. Caracterizaciones realizadas en maíces en México.	26
Cuadro 2. Características bioquímicas de maíces nativos cultivados en regiones costeras de México.	57

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de maíces nativos en México (CONABIO, 2015).	8
Figura 2. Distribución geográfica de las razas de maíces nativos en el estado de Oaxaca (CONABIO, 2023).	9
Figura 3. Contenido de antocianinas en genotipos de maíces nativos de Santiago Tetepec, Oaxaca.	62

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en México por su valor alimentario, económico y cultural. En Oaxaca, los maíces nativos representan una importante reserva de diversidad genética, conservada mediante sistemas tradicionales de producción y selección campesina. Sin embargo, la información relacionada con su composición bioquímica y potencial nutracéutico a nivel local es limitada. El objetivo de esta investigación fue caracterizar bioquímicamente ocho variedades de maíces nativos cultivados en la comunidad de Santiago Tetepec, Oaxaca. El diseño experimental fue completamente al azar con ocho tratamientos y seis repeticiones, donde los tratamientos fueron Conejo, Blanco A, Olotillo Delgado, Magallanes, Amarillo, Café, Rojo y Morado. Las variables evaluadas consistieron en los parámetros cromáticos del grano, contenido de proteínas, carbohidratos solubles, compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y la capacidad antioxidante mediante los métodos ABTS y FRAP. Los datos obtenidos mostraron variaciones significativas vinculadas estrechamente con la pigmentación del grano. Los maíces pigmentados, particularmente el morado y rojo, presentaron mayores concentraciones de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, así como una mayor capacidad antioxidante en comparación con los maíces blancos y amarillos. Asimismo, la variabilidad encontrada en proteínas y carbohidratos evidenció diferencias asociadas al tipo de grano. Estos resultados demuestran el potencial nutracéutico de los maíces nativos de la Costa de Oaxaca y su relevancia como recurso fitogenético funcional, aportando información científica valiosa para la conservación, valorización y aprovechamiento sostenible de estos materiales nativos mexicanos.

Palabras clave: antocianinas, capacidad antioxidante, flavonoides, *Zea mays* L.

Abstract

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops in Mexico due to its food, economic, and cultural value. In Oaxaca, native maize varieties represent an important reservoir of genetic diversity, conserved through traditional production systems and farmer selection. However, information regarding their biochemical composition and nutraceutical potential at the local level is limited. The objective of this research was to biochemically characterize eight native maize varieties cultivated in the community of Santiago Tetepec, Oaxaca. The experimental design was completely randomized with eight treatments and six replications, where the treatments were Conejo, Blanco A, Olotillo Delgado, Magallanes, Amarillo, Café, Rojo, and Morado. The evaluated variables consisted of grain chromatic parameters, protein content, soluble carbohydrates, phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, and antioxidant capacity using the ABTS and FRAP methods. The obtained data showed significant variations closely linked to grain pigmentation. Pigmented maize, particularly purple and red, presented higher concentrations of phenolic compounds, flavonoids, and anthocyanins, as well as greater antioxidant capacity compared to white and yellow maize. Furthermore, the variability found in protein and carbohydrate contents evidenced differences associated with grain type. These results demonstrate the nutraceutical potential of native maize from the Coast of Oaxaca and its relevance as a functional phytochemical resource, providing valuable scientific information for the conservation, valorization, and sustainable use of these Mexican native materials.

Keywords: anthocyanins, antioxidant capacity, flavonoids, *Zea mays* L.

CAPÍTULO I

I. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más importante en México, desde tiempos ancestrales ha sido la base de la alimentación y la cultura de sus habitantes (Aragón *et al.*, 2006). Aunque su origen exacto y su evolución son temas de debate, las investigaciones de Nikolai Vavilov (1887-1943) sitúan su centro de diversificación desde el centro-sur de México hasta la mitad del territorio centroamericano (Serratos, 2009). Lo que respalda la importancia de Mesoamérica como núcleo de evolución de este cultivo.

De acuerdo con diversas evidencias arqueobotánicas, se ha determinado su antigüedad y proceso de domesticación. Estudios de Gómez-Pérez (2019) y Cantú-Martínez (2023) señalan la presencia de restos de maíz en sitios como el Valle de Tehuacán, Puebla, y la cueva de Guilá Naquitz, en los Valles Centrales de Oaxaca, con una antigüedad de entre 4 500 y 7 000 años.

Una de las propuestas más relevantes para explicar su origen es la teoría multicéntrica, descrita por Caballero-García *et al.* (2019), la cual está fundamentada en estudios morfológicos de los cromosomas paquiténicos del maíz y su relación con especies afines como *Tripsacum* y el teocintle. De acuerdo con esta propuesta, el origen y domesticación del maíz ocurrieron en varias regiones, desde México hasta Guatemala, identificándose al menos cinco centros de origen y domesticación.

Entre estos centros destacan la Mesa Central de México, regiones de altura media en los estados de Morelos, México y Guerrero, así como zonas del centro-norte de Oaxaca-Chiapas y la región alta de Guatemala. Estos centros favorecieron la migración de complejos de nudos cromosómicos hacia distintas regiones del territorio mesoamericano, contribuyendo a la amplia diversidad genética del maíz.

El origen del maíz no puede explicarse desde una sola perspectiva. Kato-Yamakake *et al.* (2009) y González *et al.* (2016) argumentan que su domesticación se llevó a cabo a partir de su ancestro silvestre, el teocintle (*Zea perennis*), y su evolución fue posible gracias a las diversas selecciones realizadas por las culturas mesoamericanas. Esta diversificación, producto de conocimiento tradicional e indígena, permitió la clasificación de 59 razas en México basadas en sus afinidades genéticas y morfológicas (Sánchez *et al.*, 2000; García-Franco y Gómez-Galindo, 2023). Entre los rasgos físicos más relevantes destaca la pigmentación del grano, que varía desde el blanco y amarillo hasta tonalidades azules, rojas y moradas (García, 2013).

Los maíces nativos en México forman parte del patrimonio biocultural y alimentario del país, debido a su amplia diversidad genética y a su adaptación a diferentes condiciones agroecológicas y sistemas tradicionales de producción. Su conservación ha sido posible gracias al manejo y selección de semillas realizado por comunidades campesinas e indígenas, las cuales han preservado características agronómicas, culinarias y nutraceuticas de alto valor. Estudios realizados por Salinas-Moreno *et al.* (2021) y Pérez-Salinas *et al.* (2023), demuestran que los maíces pigmentados a diferencia de los maíces blancos presentan mayor concentración de compuestos bioactivos, como antocianinas, flavonoides y fenoles, asociados con una elevada capacidad antioxidante y potencial funcional para la salud humana. Asimismo, investigaciones de Chan-Chan *et al.* (2022) destacan que los maíces nativos contribuyen a la seguridad alimentaria y la conservación de la biodiversidad agrícola, frente al cambio climático y la pérdida de diversidad genética causada por la sustitución de variedades locales. Estos materiales poseen atributos de calidad para la elaboración de alimentos tradicionales, lo que fortalece su importancia económica, cultural y gastronómica en las comunidades rurales mexicanas (Rangel-Lucio *et al.*, 2021). Por ello, la conservación y revalorización de los maíces nativos resulta indispensable para mantener el patrimonio biocultural y la soberanía alimentaria de México.

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tiene una gran importancia en la alimentación, la economía y la cultura en México. A nivel nacional, es la base de la dieta de la población y un componente clave del sistema agroalimentario. Su producción se distribuye en distintas regiones del país, con aproximadamente 7 millones de hectáreas sembradas (Guzmán-Anaya & Lugo-Sánchez, 2024).

El maíz se produce de dos formas: la primera, de manera intensiva y destinada al mercado, concentrada en estados como Sinaloa, Chihuahua y Jalisco; y la segunda de manera tradicional en regiones del centro y sur del país, donde el cultivo se destina al autoconsumo. En estas regiones, el maíz sigue siendo fundamental para la vida diaria de muchas comunidades rurales e indígenas, ya que contribuye directamente a su alimentación y sustento (Guzmán-Anaya & Lugo-Sánchez, 2024). En este contexto, México alcanzó un volumen de producción de 27.5 millones de toneladas en 2023, manteniendo un crecimiento que refleja lo valioso de este grano. Dentro de este panorama el estado de Oaxaca destaca como el tercer productor nacional, aportando el 8.6% del total del país (SIAP, 2023). Más allá de su volumen productivo, lo que realmente distingue a la entidad es que el 90% de su superficie se siembra con maíces nativos, predominando razas como Bolita, Zapalote Chico y Olotón (Ramírez Jaspeado *et al.*, 2013; Diego-Flores *et al.*, 2023).

Estos materiales, aparte de ser el sustento de las comunidades, también poseen una enorme diversidad cromática que va desde granos blancos y amarillos hasta azules y rojos (Aragón *et al.*, 2006). A pesar de que el proceso de nixtamalización es indispensable para la elaboración de la tortilla en la cocina tradicional, este método provoca una degradación inevitable de compuestos bioactivos. Investigaciones realizadas por Herrera-Sotero *et al.* (2017) señalan que, aunque se observan pérdidas considerables de antocianinas en granos azules al ser procesados como masa (83%) y tortillas (64%), los productos finales logran conservar una capacidad antioxidante y antimutagénica significativa, manteniendo propiedades biológicas de gran interés para la salud.

La riqueza de los maíces nativos no se limita a las variedades azules. Los maíces amarillos son una fuente esencial de carotenoides, principalmente luteína y zeaxantina, los cuales desempeñan un papel crítico en la salud visual y actúan como precursores de la vitamina A (Salinas-Moreno *et al.*, 2012). En el caso de los maíces rojos, estos ofrecen un perfil bioquímico importante al integrar antocianinas y carotenoides en su pericarpio, lo que ayuda en su capacidad protectora contra el estrés oxidativo (Guzmán-Gerónimo *et al.*, 2017).

Los maíces nativos son una herencia genética adaptada por siglos a climas específicos, su caracterización ha sido un tema central en la investigación agrícola. Para documentar esta diversidad y entender su valor nutricional y conservación *in situ*, se han realizado numerosos trabajos de investigación enfocados en caracterizaciones morfológicas, físico-química, agronómicas, fenotípicas, moleculares y nutraceuticas (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021; Rangel-Lucio *et al.*, 2021; Ramírez Jaspeado *et al.*, 2013; López-Morales *et al.*, 2020; García-Campos *et al.*, 2020; Torres-Morales *et al.*, 2022; Chan-Chan *et al.*, 2021; Diego-Flores *et al.*, 2023; Suárez-González *et al.*, 2025).

Los maíces nativos se localizan principalmente en regiones rurales donde las comunidades campesinas e indígenas lo cultivan bajo condiciones de temporal. Su mayor diversidad se concentra en estados del sur y centro del país, como Oaxaca, Chiapas, Puebla, Guerrero, Estado de México y Michoacán, considerados centros importantes de diversidad y conservación *in situ* del maíz. Estas regiones presentan una amplia variabilidad de condiciones climáticas y agroecológicas que han favorecido la adaptación y diferenciación de numerosas razas y variantes locales.

En México se han reportado 64 razas de maíz, de las cuales 59 son nativas (SADER, 2023) (Figura 1). De estas, 35 se localizan en el estado de Oaxaca (Figura 2), reconocido como una de las entidades con mayor diversidad de maíces nativos del país, debido a la diversidad ambiental y cultural presente en sus comunidades (Aragón-Martínez *et al.*, 2023). Estudios realizados por Salinas-Moreno *et al.* (2021) mencionan que los maíces pigmentados se distribuyen principalmente en zonas de

agricultura tradicional del altiplano y del sur-sureste mexicano, donde son conservados por productores locales por sus características alimentarias y nutracéuticas.

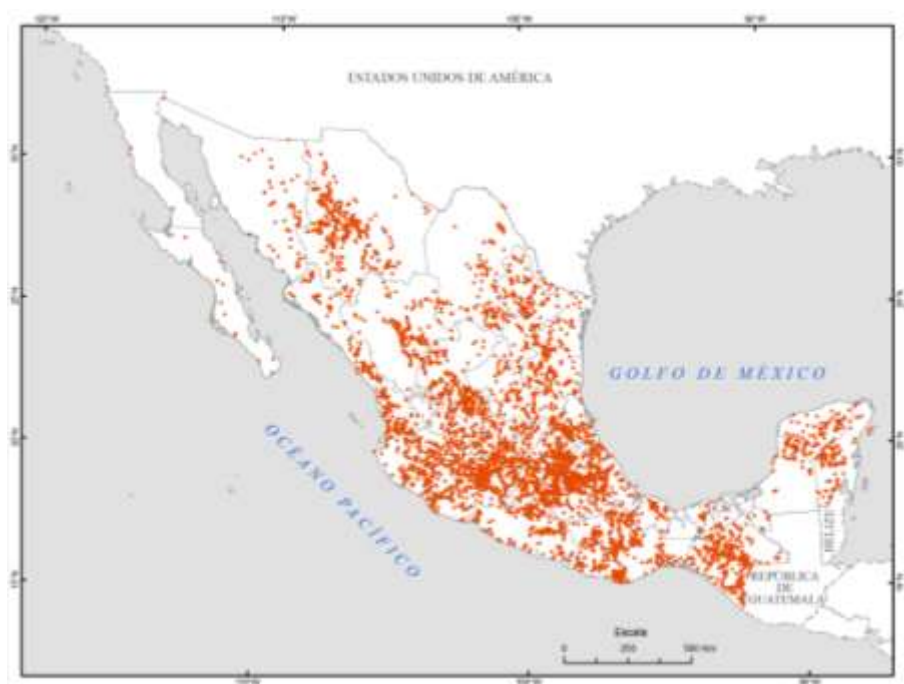


Figura 1. Distribución de maíces nativos en México (CONABIO, 2015).

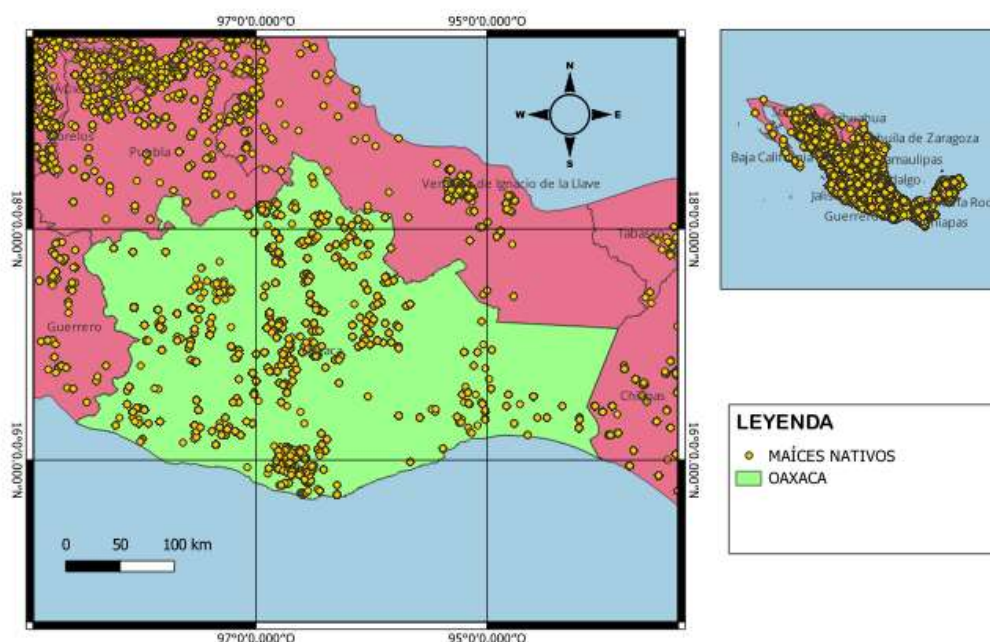


Figura 2. Distribución geográfica de las razas de maíces nativos en el estado de Oaxaca (CONABIO, 2023).

El maíz se cultiva en diversas regiones del mundo, adaptándose a un amplio rango de condiciones climáticas que van desde el nivel del mar hasta cerca de los 4000 msnm, con precipitaciones que oscilan entre menos de 400 mm y hasta 3000 mm, se desarrolla en ambientes tropicales, subtropicales y templados (Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

En México, la distribución del maíz se ha organizado en complejos raciales agrupados en siete conjuntos, los cuales comparten características morfológicas y genéticas similares. Entre ellos se encuentra el complejo Zapalote, integrado por zapalote chico, zapalote grande y bolita, distribuido en la región Oaxaca-Chiapas. El complejo Pepitilla, conformado por la raza pepitilla y maíz ancho, se adapta a altitudes de 1500 a 1800 m, en estados como Morelos, Puebla, Guerrero, Estado de México, Michoacán y Guanajuato, extendiéndose hacia Jalisco, Nayarit e incluso

el noroeste de Estados Unidos. El complejo Sierra de Chihuahua integrado por palomero de chihuahua, gordo, azul, cristalino de Chihuahua y Apachito, las cuales se desarrollan en condiciones de suelo y clima poco favorables, destacando por su precocidad y adaptación a zonas templadas. Complejo de Ocho Hileras conformado por harinoso de ocho, elotes occidentales, tabloncillo, tabloncillo perla, Bofo, Jala, Onaveño, Blando de Sonora, Reventador, Tablilla de Ocho, Ancho, Bolita, Zamorano Amarillo, distribuidas en Sonora, Sinaloa y Nayarit (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; Perales-Rivera *et al.*, 2010).

El complejo de maíces dentados tropicales incluye razas como Tuxpeño, dominante en regiones tropicales de baja altitud bajo temporal y en zonas subtropicales bajo riego. En estas áreas predominan granos de color blanco, amarillo y azul-negro, como Vandeño, Tuxpeño Norteño, Celaya, Olotón, Olotillo, Dzit-Bacal, Comiteco, Tehua y Coscomatepec, esta última distribuida por las partes altas de la escarpa este de la Sierra Madre Oriental, en el estado de Veracruz; Complejos de maduración temprana a tardía constituidos por Conejo, Nal-Tel, Ratón y Tepecintle, distribuidas en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán, la raza Ratón también se encuentra en regiones como Tamaulipas, Coahuila y la Comarca Lagunera, adaptándose hasta los 1800 msnm. El complejo Chapalote integrado por Chapalote, Dulcillo del Noroeste y Elotero de Sinaloa, con distribución desde el noroeste del país hasta Chiapas. Por último, tenemos el complejo de razas no asociadas a un grupo específico, donde se localiza la raza mixteca, Mountain Yellow, negro de Chimaltenango. Complejo Serrano de Jalisco, Serrano Mixe y Serrano, se encuentran distribuidas en suelos pobres de la región mixteca de Oaxaca, zonas altas de Guatemala, Chiapas y Colima. De acuerdo con esta información se ha identificado tres posibles rutas de diversificación del maíz: la primera en el occidente de México y el territorio sur de Mesoamérica (Oaxaca, Chiapas, Guatemala hasta Sonora), la segunda el centro de México hasta el norte y la última, la costa oriental del Golfo de México, de acuerdo con la distribución del Tuxpeño (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; Perales-Rivera *et al.*, 2010).

A pesar de la diversidad genética y bioquímica de los maíces nativos en México, así como de su importancia alimentaria, cultural y económica, el conocimiento científico sobre su composición bioquímica en comunidades locales sigue siendo limitado. Diversos estudios han documentado la presencia de compuestos bioactivos como antocianinas, flavonoides y carotenoides en maíces pigmentados, los cuales se asocian con propiedades funcionales y beneficios para la salud (Arellano-Vázquez *et al.*, 2021; Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017; Salinas-Moreno *et al.*, 2021). Sin embargo, la información disponible no es homogénea ni representativa de todas las regiones productoras, dificultando la comprensión integral de su variabilidad (García-Campos *et al.*, 2020; Chan-Chan *et al.*, 2021).

En ese sentido, en el estado de Oaxaca predominan sistemas tradicionales de cultivo en los que los maíces nativos ocupan una proporción significativa de la superficie agrícola. Estos materiales no solo constituyen la base de la alimentación de las comunidades rurales, sino también una importante reserva de diversidad genética, resultado de selección y adaptación local a lo largo del tiempo (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; González-Santos *et al.*, 2023). No obstante, la caracterización bioquímica de estas variedades a nivel comunitario continúa siendo escasa, lo que dificulta valorar su potencial nutrimental y nutracéutico (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020; Rangel-Lucio *et al.*, 2021).

Por otro lado, los procesos tradicionales como la nixtamalización, necesarios para el consumo del maíz, pueden modificar la concentración de compuestos bioactivos. Algunos estudios han reportado pérdidas significativas de antocianinas y otros metabolitos durante el procesamiento, sin embargo, también se ha demostrado que los productos finales conservan propiedades funcionales relevantes (Ballesteros-Martínez *et al.*, 2019; Herrera-Sotero *et al.*, 2017). Aun así, esta información sigue siendo insuficiente y poco específica para las variedades locales cultivadas en distintas regiones, incluyendo comunidades como Santiago Tetepec, Oaxaca.

La limitada información con respaldo científico acerca de estas variedades representa un problema relevante, ya que reduce la valorización de los maíces

nativos como alimentos funcionales, limita las oportunidades de comercialización con valor agregado y reduce las posibilidades de mejorar las condiciones económicas de los productores. Además, complica el diseño de estrategias orientadas a su conservación, caracterización y aprovechamiento sostenible (Kato-Yamakake, 2023; Perales-Rivero *et al.*, 2011).

Aunque el maíz es un cultivo importante en México, la información disponible sobre su caracterización bioquímica a nivel local sigue siendo limitada, lo que dificulta comprender de manera integral su valor nutricional y funcional (García-Campos *et al.*, 2020; Chan-Chan *et al.*, 2021). La presente investigación surge por la necesidad de generar conocimiento científico sobre la composición bioquímica de los maíces nativos, principalmente en regiones donde estos materiales constituyen la base de la alimentación y el sustento de las comunidades rurales. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la composición bioquímica y potencial nutracéutico de los maíces nativos cultivados en comunidades mixtecas de la región costa de Oaxaca?

La investigación permitirá ampliar el conocimiento sobre la variabilidad bioquímica de los maíces nativos, mediante la identificación y cuantificación de compuestos como proteínas, carbohidratos, fenoles, flavonoides y antocianinas, los cuales han sido asociados con actividad antioxidante y beneficios potenciales para la salud (Arellano-Vázquez *et al.*, 2021; Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017; Salinas-Moreno *et al.*, 2021). Además, esta información contribuirá a comprender la relación entre la pigmentación del grano y su composición química, aspecto relevante en la diferenciación de genotipos y su potencial como alimentos funcionales.

En el ámbito social y cultural, la investigación contribuye a la valorización de los maíces nativos como parte del patrimonio biocultural de las comunidades rurales. En regiones como Oaxaca, estos materiales han sido conservados mediante prácticas tradicionales de manejo y selección, lo que ha permitido mantener una alta diversidad genética adaptada a condiciones locales (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; González-Santos *et al.*, 2023). En comunidades como Santiago Tetepec, el maíz no

solo representa la base de la alimentación, sino también un elemento central en la identidad cultural y en la transmisión de conocimientos tradicionales.

Desde una perspectiva económica, la caracterización bioquímica de los maíces nativos puede contribuir a su valorización, al evidenciar atributos nutrimentales y funcionales que permitan su aprovechamiento en mercados con mayor valor agregado. Esto representa una oportunidad para mejorar las condiciones económicas de los productores locales, quienes dependen en gran medida de sistemas tradicionales de producción (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020).

Asimismo, desde el punto de vista ambiental, la conservación de los maíces nativos es fundamental para mantener la diversidad genética del cultivo, considerada una estrategia clave frente a los efectos del cambio climático. Estas variedades, adaptadas a condiciones específicas de suelo y clima, constituyen un recurso importante para la resiliencia de los sistemas agrícolas (Perales-Rivero *et al.*, 2011; Kato-Yamakake, 2023).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar bioquímicamente maíces nativos cultivados en la comunidad de Santiago Tetepec, Oaxaca, para fortalecer el conocimiento sobre estos materiales, contribuir a su valorización y servir como base para el diseño de estrategias orientadas a su conservación y aprovechamiento sostenible. Se determinará el contenido de proteínas y carbohidratos, en los maíces nativos evaluados, se cuantificará la concentración de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas presentes en los diferentes tipos de maíz. Se evaluará la capacidad antioxidante de los maíces nativos por métodos de ABTS y FRAP. Por último, se comparará la variabilidad en la composición bioquímica entre maíces de diferente pigmentación (azul, rojo, café, amarillo y blanco).

Referencias bibliográficas

- Aragón, C. E., Taba, S., Hernández, J. M., Figueroa, L. de D., Serrano, V. y Castro, F. H. (2006). *Catálogo de maíces criollos de Oaxaca*. Instituto Nacional de Investigación Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Aragón-Martínez, M. C., Serratos-Díaz, A., Rocha Munive, M. G., Ramírez-Corona, F., Vargas-Mendoza, C. F. & Rendón-Aguilar, B. (2023). Traditional Management of Maize in the Sierra Sur, Oaxaca, Maintains Moderate Levels of Genetic Diversity and Low Population Differentiation Among Landraces. *Economic Botany*, 77(3), 282-304.
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L. y López-Herrera, A. de J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 357-366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357>
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21.
- Cantú-Martínez, P. C. (2023). La cultura sustentable del maíz en México. *Sustentabilidad Ecológica*, 117, 70-79.
- Diego-Flores, P., Padilla-Cortés, E., Martínez-Martínez, L., Carrillo-Rodríguez, J. C. y Chávez-Servia, J. L. (2023). Variación fenotípica entre poblaciones precoces de maíz nativo de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(2), 106–117.

- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. P., Cortés-Sánchez, A. J. y Villanueva-Carvajal, A. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(9), 41–48.
- García P., M. A. (2013). *Diversidad, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de valles altos de México* [Tesis doctoral, Colegio de postgraduados]. Montecillo, Estado de México.
- Gómez-Pérez, V. (2019). *Caracterización agromorfológica in situ de poblaciones de maíces nativos en Concordia, Sinaloa, México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa]. Repositorio Institucional UAS.
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada-Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., y Tejero-Jiménez, L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669–680.
- Guzmán-Anaya, L. y Lugo-Sánchez, M. G. (2024). Análisis regional de la producción de maíz en México. *Revista Eseconomía*, 19(62), 9-27.
- Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón-Zavaleta, M. A., Oliart-Ros, R. M., Meza-Alvarado, J. E., Herrera-Meza, S., & Chávez-Servín, J. L. (2017). Blue maize (*Zea mays* L.) extract ameliorates insulin resistance and hepatic steatosis in rats with a high fat/high fructose diet. *Journal of Medicinal Food*, 20(2), 110-115.
- Herrera-Sotero, P. E., Cruz-Hernandez, A., Trujillo-Carreño, J. L., Rodríguez-Dorantes, M., Cortes-Arroyo, A. R., & Sierra-Palacios, E. (2017). Antioxidant

and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *African Journal of Biotechnology*, 16(25), 1458-1464.

Kato-Yamakake T. A., Mapes-Sánchez, C., Mera- Obando, L. M., Serratos-Hernández J. A., y Bye- Boettler, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) / Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Marrufo-Díaz, M. L., Hernández-Salinas, G., & Ibáñez-Martínez, A. (2020). Characterization of the grain and tortilla of maize races native to the State of Puebla, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 295–306.

Maldonado-Astudillo, Y. I., Gutiérrez González, A. A., Flores Rogel, Y. L., Arámbula-Villa, G., Flores-Casamayor, V., Jiménez-Hernández, J., Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., y Salazar, R. (2021). Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Nova Scientia*, 13(27), 1–26.

Perales-Rivero H., Sánchez-González, J. de J., Ortega-Paczka, R., Rincón-Sánchez, F., Castillo-González, F., Manuel-Arias, L., Kato-Yamakake, T. A., Figueroa-Cárdenas, J de D. y Gómez-Montiel, N. (2011). Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México: Resultados de proyectos relativos a la determinación de centros de origen y diversidad genética de maíz en México (Informe de gestión No 1). https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Taller_17_18_marzo_2010.pdf

- Ramírez-Jaspeado, A., García-de los Santos, G., Carballo-Carballo, A., Castillo-González, F., Serratos, J. A., y Cadena-Iñiguez, J. (2013). Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 895–907.
- Rangel-Lucio, J. A., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., García-Rodríguez, J. G., Cervantes-Ortíz, F., Vaquera-Huerta, H., y Cuenca-Salgado, J. A. (2021). Adaptación y selección de maíces nativos en la región del Bajío de México por su caracterización morfológica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 241–250.
- Salinas-Moreno, Y., Cruz-Chávez, F. J., Díaz-Ortiz, S. A., y Castillo-González, F. (2012). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 33-41.
- Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villareal, J., Altunar-López, B., y Sosa-Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31.
- Sánchez-G., J. J., Stuber, C. W., y Goodman, M. M. (2000). Isozymatic and Morphological Diversity in the Races of Maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59.
- Serratos, H., J., A., (2009). Serratos-Hernández, J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Greenpeace México. <https://esant.mx/bach/perfil/hm/docs/hm-en1.8.pdf>

Servicio De Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2023). Infografía Agroalimentaria 2023, Ciudad de México, México. Consultado el 26 de septiembre, 2024, desde <file:///C:/Users/VICTOR/Documents/sistemas%20de%20produccion%20agroalimentaria/Oaxaca-Infografia-Agroalimentaria-2023.pdf>

Suárez-González, G., López-Guzmán, G., León-Fernández, A., y Bautista-Rosales, P. (2025). Diversidad genética de maíz (*Zea mays* L.) raza Jala mediante marcadores moleculares ISSR. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 13(73), 25–39.

Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., y López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 687–699.

Perales-Rivero H., Sánchez-González, J de J., Ortega-Paczka, R., Rincón-Sánchez, F., Castillo-González, F., Manuel-Arias, L., Kato-Yamakake, T. A., Figueroa-Cárdenas, J de D. y Gómez-Montiel, N. (2011). Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México: Resultados de proyectos relativos a la determinación de centros de origen y diversidad genética de maíz en México (Informe de gestión No 1). https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Taller_17_18_marzo_2010.pdf

CAPÍTULO II

II. Marco teórico

1.1 Morfología del maíz

El maíz es una planta anual que se caracteriza por su gran tamaño y vigor, alcanza alturas de uno a cinco metros. Su tallo principal es recto y fuerte, similar al de la caña de azúcar debido a la presencia de nudos, entrenudos y médula esponjosa que almacena agua y nutrientes (González-Santos *et al.*, 2023; Torres-Morales *et al.*, 2022). El tallo presenta escasa ramificación lateral, lo que favorece el crecimiento vertical de la planta (Torres-Morales *et al.*, 2022).

Las hojas se desarrollan de manera alterna a lo largo del tallo y están unidas a este mediante una vaina que envuelve los entrenudos. Su distribución y orientación permiten la captación de radiación solar, contribuyendo al proceso fotosintético y al crecimiento y desarrollo del cultivo (Torres-Morales *et al.*, 2022). El número, tamaño y distribución de las hojas a lo largo del tallo son características que varían de acuerdo con factores genéticos y ambientales. Entre los factores ambientales la temperatura regula el crecimiento y longitud de las hojas durante las etapas vegetativas del cultivo. Temperaturas elevadas dentro de los rangos óptimos favorecen una mayor tasa de desarrollo foliar, mientras que temperaturas inferiores pueden retrasar el desarrollo de nuevas hojas y prolongar la duración de las fases de crecimiento (Xu *et al.*, 2023).

El crecimiento y soporte de la planta de maíz es gracias a su sistema de raíces, que se clasifican en tres tipos: las raíces seminales, las cuales vienen formadas desde el embrión de la semilla para darle el impulso inicial a la planta. Una vez que la plántula emerge, comienzan a desarrollarse las raíces adventicias a partir de los propios tejidos del tallo. Finalmente, el cultivo genera raíces de anclaje, que son aquellas estructuras visibles que nacen en los nudos aéreos por encima del suelo (Torres-Morales *et al.*, 2022). El sistema radicular también brinda el soporte y el anclaje necesario para mantener erguida la planta y evitar el acame por los vientos (Escutia-Ponce *et al.*, 2025).

Es una monocotiledónea con un ciclo vegetativo que varía de 80 a 200 días, dependiendo de la variedad cultivada (Grande-Tovar y Orozco-Colonia, 2012). El maíz es una especie monoica, presentando inflorescencias masculinas y femeninas ubicadas en distintas partes de la planta (Alicia-Defacio, 2009; García-Sañudo, 2015), lo que favorece la polinización cruzada debido a que el polen es transportado por el viento a distancias de 100 a 1000 m, y también por polinizadores (Hernández-González, 2022).

La inflorescencia masculina es terminal y se denomina panícula o espiga. Está formada por un raquis o eje central del cual se originan ramas laterales que portan espiguillas. Estas se disponen en forma polística en el eje principal, es decir, en múltiples filas, mientras que en las ramas se organizan de manera dística, en dos filas. Cada espiguilla está protegida por dos glumas o brácteas que resguardan las flores estaminadas; a su vez, cada espiguilla contiene tres estambres donde se produce el polen. Las inflorescencias femeninas se desarrollan en las yemas axilares de las hojas y forman estructuras cilíndricas derivadas del eje central o olote, donde las espiguillas se disponen en pares. Cada espiguilla contiene dos flores pistiladas, una fértil y otra abortiva, organizadas en hileras. La flor fértil posee un ovario único, un pedicelo unido al olote, un estilo alargado y un estigma bien desarrollado (Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

Las inflorescencias femeninas presentan entre 8 y 24 hileras por mazorca, con una producción aproximada de 400 a 1000 granos o cariósides, dependiendo de la variedad. La mazorca está protegida por brácteas y del raquis emergen los estilos alargados, conocidos comúnmente como “pelos de elote” (Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

1.2 Origen y distribución

El origen del maíz sigue siendo un tema aún no definido, evidencias arqueobotánicas han permitido demostrar su antigüedad y domesticación. Aunque

su origen exacto y su evolución siguen siendo temas controversiales, las investigaciones de Nikolai Vavilov (1887-1943) señalan que su centro de diversificación inicia desde el centro-sur de México hasta la mitad del territorio centroamericano (Serratos, 2009). Dichas investigaciones respaldan la importancia de Mesoamerica como el núcleo de evolución de este cultivo. Estudios realizados por Gómez-Pérez (2019) y Cantú-Martínez (2023) señalan la presencia de restos de maíz en cuevas del Valle de Tehuacán, Puebla, y en la cueva de Guilá Naquitz, en los Valles Centrales con una antigüedad de 4500 a 7000 años. Asimismo, en cuevas de Romero y Valenzuela, cerca de Ocampo en Tamaulipas y cuevas de Coxcatlán y San Marcos, en Tehuacán, Puebla se han encontrado evidencias que documentan el proceso de domesticación del maíz (Ortiz y Otero, 2007; Vielle-Calzada *et al.*, 2014).

El origen del maíz es un tema que ha tenido mucho debate entre los investigadores, debido a la explicación de cómo se originó el maíz moderno, este tema ha originado diversas teorías a lo largo de los años. Una de las primeras teorías propuestas fue la de Harshberger en 1907, la cual propone al maíz como un híbrido que nació por la mutación de teocintle con un antecesor original (Ramírez-Vega, 1988). El teocintle ancestro del maíz, es la teoría con mayor aceptación, la cual señala que el teocintle mexicano es la planta que dio origen al maíz actual, mediante el proceso de domesticación realizado por humanos para obtener sus alimentos. Sin embargo, la morfología del teocintle que se caracteriza por tener con tan solo dos hileras de grano y el maíz actual llega a tener de 10 a 16 hileras, descartando así esta teoría (Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

Otra perspectiva para explicar su origen es la teoría multicéntrica, que se basa en estudios morfológicos de los cromosomas paquiténicos del maíz y su relación con especies afines como *Tripsacum* y el teocintle. De acuerdo con esta propuesta, el origen y domesticación del maíz ocurrieron en varias regiones, desde México hasta Guatemala, identificándose al menos cinco centros de origen y domesticación. Los cuales fueron la Mesa Central de México, región de altura media en los estados de

Morelos, México, Guerrero y sus alrededores, región centro-norte de Oaxaca-Chiapas y la región alta de Guatemala (Caballero-García *et al.*, 2019).

A pesar los estudios realizados, muchos investigadores concluyen que desconocen el origen exacto del maíz a partir del teocintle. Reconociendo a la teoría multicéntrica como la mejor sustentada para explicar la evolución de la variedad racial y la distribución geográfica del maíz en México, respetando al teocintle como el ancestro del maíz (Wellhausen *et al.*, 1951; Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

1.3 Importancia del cultivo

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia en México por su contribución a la seguridad alimentaria, económica, social y cultural al país. En el 2023, se sembraron aproximadamente 6.9 millones de hectáreas alcanzando una producción de 27.5 millones de toneladas, equivalentes al 88.2 % de la producción nacional de granos (FIRA, 2024; Borja-Bravo *et al.*, 2025). De este volumen, el 67.5 % se obtuvo en el ciclo primavera-verano y el 32.5 % en el ciclo otoño-invierno (FIRA, 2024). Los principales estados productores fueron: Sinaloa, con 6.7 millones de toneladas equivalentes al 24.2 % de la producción nacional; Jalisco, con 3.5 millones de toneladas (12.7 %); Michoacán, con 1.9 millones de toneladas (6.9 %); Estado de México, con 1.8 millones de toneladas (6.6 %) y Guanajuato, con 1.8 millones de toneladas (6.4 %); las cinco principales entidades aportaron el 56.7 % de la cosecha del país (FIRA, 2024).

Esta producción se desarrolla bajo dos regímenes de humedad: riego y temporal, este último es el sistema predominante y el principal sustento de miles de productores rurales (Toledo-García *et al.*, 2026). En 2023, la superficie cosechada por riego fue del 24.1 % y por temporal fue del 75.9 %, sin embargo, aunque la superficie cultivada bajo temporal representa cerca de tres cuartas partes del área cosechada, los rendimientos son considerablemente menores que los obtenidos en condiciones de riego, lo que evidencia la influencia de la disponibilidad de agua sobre la productividad del cultivo (FIRA, 2024).

El estado de Oaxaca se ubica entre las principales entidades productoras de maíz del país, aportando el 8.6 % de la producción nacional (SIAP, 2023). Más allá de su relevancia en volumen, la entidad destaca por su enorme riqueza genética y la amplia diversidad de maíces nativos que conserva; alrededor del 90 % de su superficie cultivada corresponde a variedades nativas. Entre ellas sobresalen las razas Bolita, Zapalote Chico y Olotón, materiales de gran valor que representan un patrimonio biocultural invaluable y una fuente de diversidad genética esencial para el país (Ramírez Jaspeado *et al.*, 2013; Diego-Flores *et al.*, 2023).

1.4 Caracterización de Recursos Fitogenéticos

La caracterización permite identificar y medir la variabilidad genética dentro de las poblaciones mediante el uso de descriptores, que son atributos medibles que diferencian una variedad de otra. En la caracterización morfológica se determina el grado de variabilidad y la identidad genética de las poblaciones nativas de maíz, esto con la finalidad de identificar materiales sobresalientes con potencial agronómico. De acuerdo con Martínez-Sánchez *et al.* (2017), los atributos morfológicos evaluados en diversas etapas fenológicas, como la altura de planta, el número de ramas de la espiga y las características del grano, reflejan una amplia diversidad genética que ha sido preservada mediante la selección tradicional en nichos ecológicos específicos. Estos caracteres morfológicos permiten diferenciar razas adaptadas a condiciones extremas; por ejemplo, en la raza Zapalote Chico, se han identificado poblaciones que destacan por su precocidad y dimensiones reducidas de la mazorca y la planta, rasgos que se transmiten a la descendencia y que resultan de una adaptación evolutiva a zonas de baja altitud y altas temperaturas (Cabrera-Toledo *et al.*, 2016). La definición de atributos morfológicos clave no solo facilita la clasificación racial, también permite la selección de genotipos con características fenotípicas de interés para el mejoramiento genético y la conservación de los recursos fitogenéticos en el sur de México.

En la caracterización agronómica, los parámetros que se miden son el rendimiento que es la producción del cultivo por unidad de superficie, en cereales se evalúa el

rendimiento de grano en diferentes ambientes, expresado en toneladas por hectáreas (Valenzuela-Antelo *et al.*, 2018; Martínez-Núñez *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2019). También se identifica la tolerancia a factores de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, además de la resistencia a plagas y enfermedades, factores que ayudan en la selección de materiales resistentes (López-Hernández *et al.*, 2018; Miller-Butler *et al.*, 2019).

Debido a que los rasgos físicos pueden ser alterados por el ambiente, es necesario integrar la caracterización molecular para lograr una clasificación precisa, confiable y libre de sesgos ambientales. Mientras que los rasgos físicos y agronómicos en maíces son distintos de acuerdo con el clima o suelo, los marcadores moleculares no se ven afectados por el entorno, permitiendo una genética exacta de cada planta. Una investigación realizada en zonas de protección como la Reserva de la Biosfera La Sepultura demuestran que el uso de marcadores inter-microsatélites (ISSR) separa con claridad los maíces nativos de los comerciales (Hernández-Ramos *et al.*, 2017). De igual forma, el empleo de microsatélites (SSR) ha demostrado que existe una diferencia genética muy notable entre las razas de maíz mexicano, algo que sería imposible detectar a simple vista (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020).

La metodología molecular ha evolucionado significativamente. En el pasado, las técnicas AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) y RAPD (Random Amplification of Polymorphic DNA) eran laboriosas, costosas y dominantes, actualmente se utilizan marcadores codominantes como los microsatélites (SSR) y los polimorfismos de nucleótido único (SNP) siendo eficientes y económicos con mayor resolución que permite distinguir con exactitud individuos homocigotos de heterocigotos (Talamantes-Sandoval *et al.*, 2019).

Para realizar una caracterización completa es necesario el estudio de parámetros organolépticos y bioquímicos, los cuales definen el valor en frutos y granos para el consumo humano, donde se evalúa la calidad postcosecha a través de parámetros como el color, peso, actividad antioxidante y composición nutricional (Terán-Erazo *et al.*, 2019).

1.5 Caracterizaciones en maíces

Para conocer la variabilidad de una especie vegetal como el maíz se han realizado diferentes caracterizaciones: morfológica, agronómica, fenotípica, genética, molecular, físico-química, bioquímica y nutrimental (Rangel-Lucio *et al.*, 2021; Linares-Holguín *et al.*, 2019; González-Martínez *et al.*, 2020; Barrera-Guzmán *et al.*, 2020; Hernández-Ramos *et al.*, 2017; González-Santos *et al.* 2023; Juárez-Segovia *et al.*, 2025; Chan-Chan *et al.*, 2021). En el cuadro 1 se presentan los distintos tipos de caracterizaciones realizadas en maíces, donde se incluye el tipo de caracterización, las razas o materiales genéticos evaluados, la región de procedencia y los autores correspondientes.

Cuadro 1. Caracterizaciones realizadas en maíces en México.

Tipo de caracterización	Razas	Estado	Citas
Morfológica	Nativos: Cónico, Chalqueño y Tuxpeño Sintético: Zaragoza intermedio y Zaragoza tardío.	Puebla	Contreras-Molina <i>et al.</i> , 2016
Morfológica	Nativos: Grano blanco, amarillo, rojo y azul.	Chiapas	Martínez-Sánchez <i>et al.</i> , 2017
Morfológica	Nativos: Bofo, Celaya, Coscomatepec, Elotes Occidentales, Harinoso de Ocho, Dulce de Jalisco, Mushito, Pepitilla, Serrano de Jalisco, Tablilla de Ocho, Tabloncillo y Zamorano Amarillo	Región del Bajío de México	Rangel-Lucio <i>et al.</i> , 2021
Morfológica	Nativos: Blanco, blanco cremoso, rojo y Amarillo.	Chiapas	Caballero-Salinas <i>et al.</i> , 2023
Morfológica	Nativos: Cónico, Elotes Occidentales y Tabloncillos, Celaya, Tuxpeño y Tuxpeño	Tamaulipas	Toribio-Solís <i>et al.</i> , 2026

	Norteño, Olotillo y Ratón. Nativos: Tuxpeño Norteño, Vandeño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste y Reventador	Sinaloa	Linares-Holguín <i>et al.</i> , 2019
Morfológica			
Morfológica	Nativos: Zapalote Chico	Istmo de Tehuantepec Oaxaca	Cabrera-Toledo <i>et al.</i> , 2020
	Nativos: Elotes Cónicos, Naltel de Altura, Celaya, Ancho, Cacahuacintle, Coscomatepec, Tuxpeño, Arrocillo Amarillo, Chalqueño, Arrocillo Blanco, Cónico, Bolita, Tablilla de Ocho, Pepitilla	Chiapas	López-Morales <i>et al.</i> , 2023
Morfológica	Nativos: Bolita y Zapalote Chico	Oaxaca	Diego-Flores <i>et al.</i> , 2023
Morfológica	Nativos: Olotillo, Tuxpeño y Tehua.	Región Zoque de Chiapas	De la Cruz-Hernández <i>et al.</i> , 2026
Agronómica	Nativas: Zapalote Chico	Istmo de Tehuantepec, Oaxaca,	Cabrera-Toledo <i>et al.</i> , 2019
	Nativos: Zapalote Grande, Comiteco, Tehua, Olotón, Motozinteco, Negrito, Negro de Chimaltenango.	Chiapas	Torres- Morales, <i>et al.</i> , 2022
Agronómica	Nativos: Celaya, Cónico Norteño, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño.	Saltillo, Coahuila	Hernández-Ruiz, 2024
Agronómica	Nativos: Maíz Criollo, Crema del municipio de Carrillo Puerto, y	Veracruz	Del Rosario-Arellano <i>et al.</i> , 2024

Molecular	Criollo de Amatlán de los Reyes. Nativos: Tepecintle, tuxpeño, Olotillo, Vandeño, cónico chalqueño y elotes cónico, Mejoradas: Vs-536 y Vs-424 Híbrido: H-MX3	Chiapas	Hernández-Ramos <i>et al.</i> , 2017
Molecular	Nativos: Jala	Tepic, Nayarit	Suárez-González <i>et al.</i> , 2025
Genética	Nativos: Arrocillo, Chapalote, Nal-Tel, Palomero Toluqueño, Cacahuacintle, Harinoso de Ocho, Olotón, Comiteco, Cónico, Jala, Olotillo, Pepitilla, Reventador, Tabloncillo, Tehua, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño, Zapalote Chico, Zapalote Grande. Híbrido: Palomero Toluqueño y maíz palomero North American Yellow Pearl Popcorn	Estado de México	Barrera-Guzmán <i>et al.</i> , 2020
Genética	Nativos: Chalqueño, Cónico y Cónico Norteño.	Estado de México y Puebla	Santacruz-Varela <i>et al.</i> , 2022
Bioquímica	Nativas: Zapalote Chico y Maíz Grande	Istmo De Tehuantepec, Oaxaca	López Romero <i>et al.</i> , 2010
Bioquímica	Nativos: Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita.	Chiapas	Salinas Moreno <i>et al.</i> , 2012
Bioquímica	Nativos: Sac Béh, Chichén Itzá Híbridos: Sac Béh, Chichén Itzá	Yucatán	Chan-Chan <i>et al.</i> , 2020

Bioquímica	Nativos: blanco (raza Pepitilla), rojo (raza Olotillo), morado (raza Pepitilla) y negro (raza Olotillo).	Guerrero	Maldonado-Astudillo <i>et al.</i> , 2021
Bioquímica	Nativos: criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro)	Veracruz	Martínez-Reyna, 2023
Bioquímica	Nativos: Celaya, Cónico Norteño, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño.	Coahuila	Hernández-Ruiz, 2024

La caracterización en maíz se refiere al análisis preciso de sus características físicas, genéticas, químicas y nutricionales, donde se incluyen atributos como la morfología de la planta y el grano, la composición bioquímica (carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales), así como la genética y la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Estos estudios permiten seleccionar y desarrollar variedades con mayor rendimiento y propiedades nutritivas, que sean resistentes a plagas y enfermedades y así contribuir en la seguridad alimentaria y la conservación *in situ* de las razas nativas.

Las caracterizaciones morfológicas han sido las más realizadas por su accesibilidad y bajo costo, mostrando que a nivel fenológico existe gran similitud; sin embargo, a nivel genético esto no ocurre. Como afirman, Barrera-Guzmán *et al.* (2016) el uso de herramientas como los marcadores RAPD permite determinar con precisión la estructura genómica y el parentesco real de las razas mexicanas. Para diferenciar las variedades de maíz, se utilizan marcadores que describen desde el nivel celular hasta el nivel molecular. Los citogenéticos estudian los cromosomas y las proteínas (Gonzales *et al.*, 2013; Kato-Yamakake, 2023), mientras que los bioquímicos analizan proteínas mediante electroforesis (López-Romero *et al.*, 2009; Agama-Acevedo *et al.*, 2013).

Los marcadores de ADN son los más precisos en la actualidad, funcionan como una huella genética que identifica a cada población con total claridad (Landavazo *et al.*, 2006; Revelo-Portilla *et al.*, 2014; Ríos *et al.*, 2009). Técnicas como los marcadores ISSR y SSR permiten diferenciar poblaciones locales de variedades comerciales y determinar la alta diversidad entre razas (Hernández-Ramos *et al.*, 2017; Barrera-Guzmán *et al.*, 2020).

1.6 Caracterización bioquímica

La caracterización bioquímica del maíz se enfoca en el análisis detallado de su composición química y sus interacciones biológicas, incluyendo la identificación de compuestos con potencial bioactivo. De acuerdo con García-Campos *et al.* (2020), este estudio es preciso para comprender no solo el valor alimenticio del grano, sino también sus propiedades funcionales, como el contenido de almidón y proteínas que varían de acuerdo con el color del pericarpio.

Los maíces nativos, además de formar parte del patrimonio biocultural de México, representan el sostén de miles de familias en zonas rurales, por lo que su protección y preservación es primordial. Las razas nativas poseen características únicas que las vuelven irremplazables en la elaboración de la gastronomía tradicional, la cual es considerada Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. En la cocina mexicana se requiere el uso de variedades locales por su calidad nutricional y perfil nutracéutico que estas aportan a las preparaciones culinarias (Chan-Chan *et al.*, 2021).

Debido a la importancia de la raza y su uso especial, se han realizado esfuerzos para la caracterización fisicoquímica y cromática de diversas razas nativas, como la raza Bolita en Oaxaca. Estos estudios han permitido vincular el color del grano con su potencial nutricional, generando información científica de gran valor (Juárez-Segovia *et al.*, 2025). Existen aún muchos retos en la investigación, estas acciones proporcionan el respaldo necesario para el impulso estratégico del cultivo de maíces nativos y su conservación *in situ*, demostrando que su composición bioquímica es,

en muchos casos, superior a la de los materiales comerciales (Linares-Holguín *et al.*, 2019).

1.6.1 Determinación de color

La determinación del color en granos de maíz es importante por ser un indicador del valor nutricional y el potencial nutracéutico (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017). En maíces pigmentados, la coloración es el resultado de la acumulación de antocianinas pigmentos hidrosolubles que poseen propiedades bioactivas beneficiosas para la salud humana (Ballesteros-Martínez *et al.*, 2019). De acuerdo con Arellano-Vázquez *et al.* (2021), existe una relación entre el tamaño del grano, sus coordenadas cromáticas y la concentración de antocianinas donde valores bajos en la luminosidad (L^*) y el ángulo de tono (h) suelen estar asociados con una mayor presencia de estos pigmentos en maíces azules y morados.

La técnica de medición del grano en el colorímetro influye significativamente en los resultados, donde la medición del grano en charola reporta valores de luminosidad y pureza de color más altos en comparación con el grano montado simulando la mazorca (Salinas-Moreno *et al.*, 2021). Debido a esto, es indispensable el uso de sistemas estandarizados como el CIELab para eliminar la subjetividad del ojo humano (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017; Arellano-Vázquez *et al.*, 2021). La determinación precisa del color es una estrategia clave para los programas de selección y mejoramiento de maíces nativos, como indican Arellano-Vázquez *et al.* (2021) y Ballesteros-Martínez *et al.* (2019), identificar los parámetros de color óptimos permite seleccionar razas con mayor capacidad antioxidante, lo que fortalece la cadena de valor de los productores locales.

1.6.2 Determinación de carbohidratos solubles

Los carbohidratos solubles en el grano de maíz, constituidos por monosacáridos y oligosacáridos, influyen en el balance energético y la calidad nutricional del cultivo. A diferencia del almidón, los azúcares solubles son indicadores del vigor fisiológico

y la eficiencia en el llenado del grano. La cuantificación de azúcares solubles permite conocer la diferencia en la composición bioquímica entre variedades, para identificar materiales con atributos nutricionales superiores que el análisis de almidón no alcanza a distinguir (Reyes-García *et al.*, 2021).

Los maíces de alta calidad proteica (QPM) se caracterizan por tener mayor cantidad de lisina y triptófano en comparación del maíz común, sin embargo, la proteína por sí sola no es suficiente para la nutrición. Para que el cuerpo humano o un animal aproveche esos aminoácidos necesita energía. Los carbohidratos solubles al ser azúcares de rápida disponibilidad aseguran que el grano tenga calorías para complementar la construcción de tejidos que hacen las proteínas. Es decir, los carbohidratos solubles son un complemento calórico de la proteína para que el valor nutricional sea completo y equilibrado (Chan-Chan *et al.*, 2021).

Investigaciones realizadas por Chan-Chan *et al.* (2021), afirman que el maíz amarillo presenta niveles elevados de azúcares, los cuales utilizan para balancear su densidad calórica y complementar el metabolismo de sus carotenoides. A diferencia de los maíces pigmentados que presentan niveles menores de azúcares, debido a que su metabolismo está más enfocado en la síntesis de antocianinas y compuestos fenólicos (Reyes-García *et al.*, 2021).

1.6.3 Proteínas

Las proteínas son biopolímeros constituidos por cadenas de aminoácidos que representan la segunda fracción más importante en el grano de maíz después del almidón. Su síntesis y acumulación dependen del metabolismo del nitrógeno, el cual es un insumo básico para la formación de enzimas y ácidos nucleicos durante el desarrollo del cultivo (Reyes-García *et al.*, 2021).

El contenido proteico varía significativamente entre las razas y años de cultivos. El maíz es el pilar de la dieta en muchas regiones aportando aproximadamente el 50% de la proteína consumida habitualmente, la determinación de proteínas es

indispensable para entender el valor alimenticio. En las comunidades rurales la ingesta de proteína de maíz es esencial para el desarrollo de los niños (Chan-Chan *et al.*, 2021). Debido a ello es importante identificar materiales con altos perfiles proteicos, para asegurar soberanía alimentaria y ofrecer alternativas nutricionales más eficientes frente a los granos comerciales (Broa-Rojas *et al.*, 2019; Chan-Chan *et al.*, 2020).

1.6.4 Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos naturales que pertenecen a la familia de los flavonoides, son responsables de las coloraciones azul, morado y rojo en el grano de maíz. Se localizan en el pericarpio o la capa de aleurona, y actúan como una defensa natural de la planta ante el estrés ambiental y la radiación ultravioleta (Reyes-García *et al.*, 2021).

Su determinación es importante porque actúan como indicadores de valor nutracéutico en el grano (Gutiérrez-Llanos *et al.*, 2023), diversas investigaciones demuestran que en maíces azules y morados los niveles de antocianinas son más altos en comparación con maíces rojos y cafés que presentan niveles más bajos, en el caso de los maíces amarillos y blancos los niveles de antocianinas son bajos o nulos en algunos casos. Identificar variedades con altos niveles de antocianinas permite dar un valor agregado a las cosechas de los productores locales, fomentando la conservación *in situ* de maíces nativos que, además de alimentar, ofrecen beneficios a la salud (Reyes-García *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2024; Chan-Chan *et al.*, 2021).

1.6.5 Flavonoides

Los flavonoides son metabolitos secundarios de naturaleza polifenólica que la planta de maíz sintetiza como mecanismo de defensa frente a factores bióticos y abióticos. Estos compuestos protegen la integridad química de proteínas y lípidos

en el endospermo (Reyes-García *et al.*, 2021). Actúan como antioxidantes capaces de neutralizar radicales libres y reducir el estrés oxidativo, previniendo enfermedades degenerativas, lo cual los hace importantes en la dieta de las comunidades rurales (Fonseca-Hernández *et al.*, 2024).

Dentro de los flavonoides, las antocianinas sobresalen por su alta capacidad antioxidante. Estas otorgan al maíz propiedades funcionales capaces de regular rutas metabólicas en tejidos biológicos, lo que permite mitigar el daño oxidativo y ejercer efectos antiinflamatorios y antidiabéticos (Damián-Medina *et al.*, 2022; Salinas-Moreno *et al.*, 2025).

El contenido de flavonoides varía de acuerdo con el tipo de maíz. Diversos estudios demuestran que los granos de color azul, rojo y morado presentan las mayores concentraciones de flavonoides totales gracias a su elevado contenido de pigmentos fenólicos (Reyes-García *et al.*, 2021). Los maíces amarillos muestran niveles intermedios, ya que su coloración es principalmente de los carotenoides (Fonseca-Hernández *et al.*, 2024); mientras que los blancos presentan los niveles más bajos, como consecuencia de la escasa pigmentación en el pericarpio y la capa de aleurona, que es donde se concentran estos compuestos (Reyes-García *et al.*, 2021).

Es importante considerar la cuantificación de flavonoides tanto en grano crudo como en productos procesados, ya que, durante la elaboración de tortillas, el proceso de nixtamalización, caracterizado por condiciones alcalinas, puede provocar la degradación de las antocianinas, lo que afecta la intensidad del color y reduce la bioaccesibilidad de sus propiedades antioxidantes (Gutiérrez-Llanos *et al.*, 2023).

1.6.6 Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante es la habilidad de ciertos compuestos presentes en el grano de maíz para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo en sistemas biológicos. Este proceso ocurre mediante la donación de electrones o

átomos de hidrógeno a especies reactivas de oxígeno, lo que permite estabilizarlas antes de que afecten estructuras celulares (Salinas-Moreno *et al.*, 2025).

Los fenoles totales se utilizan como un indicador del potencial antioxidante del maíz. A mayor contenido fenólico, mayor es la capacidad del grano para ejercer efectos protectores en sistemas biológicos (Ballesteros-Martínez *et al.*, 2019).

Para evaluar la capacidad antioxidante se han utilizado distintos métodos. El método ABTS mide la capacidad de los antioxidantes para neutralizar radicales libres en sistemas tanto hidrofílicos como lipofílicos, el método FRAP evalúa el poder reductor de los extractos al convertir hierro férrico en ferroso. Estos métodos permiten estimar de manera precisa la eficiencia antioxidante del grano (Salinas-Moreno *et al.*, 2025; De la Cruz-Hernández *et al.*, 2026).

Otros ensayos ampliamente utilizados incluyen el método DPPH, que mide la capacidad de los extractos para decolorar un radical estable, y el ORAC, que emplea radicales biológicamente relevantes para estimar el potencial antioxidante en condiciones más cercanas a sistemas vivos (Damián-Medina *et al.*, 2022). Estudios recientes han incorporado evaluaciones *in vitro* mediante líneas celulares, lo que permite analizar no solo la actividad antioxidante, sino también efectos biológicos como la inhibición del crecimiento celular y la reducción del estrés oxidativo intracelular (Salinas-Moreno *et al.*, 2025).

1.7 Caracterización bioquímica en alimentos

La caracterización bioquímica es una herramienta clave para evaluar la calidad nutricional y funcional de los recursos fitogenéticos. Estos estudios permiten cuantificar compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y antocianinas, así como determinar la capacidad antioxidante. El análisis de estos componentes es esencial para determinar el valor nutracéutico de los materiales genéticos, aportando datos cuantitativos que contribuyen a las estrategias de selección, conservación *in situ* y aprovechamiento sustentable de la agrobiodiversidad con

potencial alimentario e industrial (Villarreal-Fuentes *et al.*, 2019; Suastegui-Baylon *et al.*, 2024). Los compuestos fenólicos se caracterizan por neutralizar especies reactivas de oxígeno, disminuyendo el daño oxidativo celular en los sistemas biológicos. En este grupo sobresalen los flavonoides, metabolitos implicados en los mecanismos de protección de la planta y en la expresión de atributos organolépticos como el color, el sabor y la astringencia. Entre ellos, las antocianinas son las responsables de las tonalidades rojas, moradas y azules en frutos, flores y granos (Aparicio-Huerta *et al.*, 2016).

La síntesis y acumulación de estos compuestos fitoquímicos dependen de la interacción de factores genéticos, ambientales y fisiológicos. En frutos tropicales y subtropicales, se ha evidenciado el impacto directo de la fisiología postcosecha sobre la calidad funcional. Estudios realizados en frutos de jaboticaba (*Plinia cauliflora*) (Mart.) Kausel, demuestran que el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante varían durante el desarrollo del fruto, donde la acumulación de antocianinas se intensifica durante el periodo de maduración, mientras que otros ácidos fenólicos disminuyen en la madurez de consumo (Aparicio-Huerta *et al.*, 2016). Asimismo, este perfil es influenciado por el manejo agronómico, donde la disponibilidad y el balance de nutrientes en el suelo alteran los procesos fisiológicos del crecimiento y la ruta de los metabolitos secundarios (Torres-Oliver *et al.*, 2018).

Esta variabilidad fitoquímica y su beneficio en la salud humana se relacionan a otros modelos alimentarios de amplio consumo. En leguminosas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y el frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray), el estudio de perfiles nutricionales y compuestos bioactivos ha permitido identificar propiedades metabólicas terapéuticas aplicables al control de patologías crónicas como la obesidad y la diabetes (Heredia-Rodríguez, 2017; Ocampo-Anguiano, 2020). De igual manera, en frutos como el mango (*Mangifera indica* L.) y la naranja (*Citrus sinensis*) (L.) Osbeck, la evaluación cuantitativa de azúcares, vitaminas y pigmentos mediante técnicas espectrofotométricas y cromatográficas han servido para

diferenciar variedades con alto valor antioxidante y aprovechamiento industrial (Piedragil-Ocampo, 2018; Zacarías-García, 2023).

Estudios realizados en semillas de alto valor proteico, como la chía (*Salvia hispanica* L.), demuestran que la caracterización no se limita a compuestos de bajo peso molecular. En esta especie, la extracción y secuenciación de proteínas de reserva han evidenciado que macromoléculas como las globulinas, al ser sometidas a hidrólisis enzimática, liberan péptidos con actividad biológica *in vitro* capaces de inhibir vías bioquímicas asociadas con la hipertensión arterial (Estrada-Marmolejo *et al.*, 2017). En conjunto, estos hallazgos confirman que las caracterizaciones bioquímicas proporcionan el sustento científico indispensable para la preservación de la diversidad biológica y el desarrollo de productos con valor agregado (López-Alcocer *et al.*, 2017).

Para evaluar con precisión estas propiedades biológicas en diferentes matrices alimentarias, se emplean metodologías analíticas estandarizadas como los ensayos DPPH, ABTS y FRAP. Estas técnicas permiten estimar cuantitativamente la capacidad de inhibición radicalaria a través de procesos de transferencia de electrones o donación de átomos de hidrógeno (Aparicio-Huerta *et al.*, 2016; Villarreal-Fuentes *et al.*, 2019).

Referencias bibliográficas

- Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., y Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 1-12.
- Alicia-Defacio, R. (2009). *Caracterización y evaluación de la variabilidad genética en poblaciones nativas de maíz (Zea mays L.) en la provincia de Buenos Aires en base a descriptores morfológicos y agronómicos* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Rosario] Repositorio Hipermedial UNR.
- Aparicio-Huerta, M., Alía-Tejacal, I., Pérez-Arias, G., Guillén-Sánchez, D., Juárez-López, P., y Palacios-Sosa, A. M. (2016). Propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante en frutos de jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) en diferentes etapas de maduración. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(3), 78–85.
- Arellano-Vázquez, J. L., Herrera-Zamora, A., Gutiérrez-Hernández, G. F., Ceja-Torres, L. F., & Flores-Gómez, E. (2021). Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruas. *Idesia (Chile)*, 39(3), 75-82.
- Ballesteros-Martínez, G., Zarazúa-Villaseñor, P., Salinas-Moreno, Y., & De la Cruz-Larios, L. (2019). Fijación del color en grano y características físicas, tecnológicas y nutraceuticas en maíz Elotes Occidentales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 585-596.
- Barrera-Guzmán, L. A., Legaria-Solano, J. P., y Ortega-Paczka, R. (2020). Diversidad genética en poblaciones de razas mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 121-125.
- Borja-Bravo, M., Sánchez-Toledano, B. I., Vélez-Izquierdo, A., Pérez-Ruiz, E., y Arellano-Arciniega, S. (2025). Características de los tipos de apicultores en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 16(1), 224-235.

- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L. y López-Herrera, A. de J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 357-366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357>
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-De los Santos, G., y Vaquera-Huerta, H. (2019). Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalotillo Chico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 269-279. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.269>
- Cantú-Martínez, P. C. (2023). La cultura sustentable del maíz en México. *Sustentabilidad Ecológica*, 117, 70-79.
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., y Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotechnia*, 23(2), 11-21.
- Chen, H., Li, Q. P., Zeng, Y.L., Deng, F., & Ren, W.J. (2019). Effect of different shading material on grain yield and quality of rice. *Scientific Reports*, 9, 1-9.
- Damián-Medina, K., Dragan M., Salinas-Moreno, Y., Corral-Jara, K. F., Figueroa-Yáñez, L., Marino-Marmolejo, E., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Anthocyanin-rich extract from black beans exerts anti-diabetic effects in rats through a multi-genomic mode of action in adipose tissue. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1-17.
- Diego-Flores, P., Padilla-Cortés, E., Martínez-Martínez, L., Carrillo-Rodríguez, J. C. y Chávez-Servia, J. L. (2023). Variación fenotípica entre poblaciones precoces de maíz nativo de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(2), 106-117.
- Escutia-Ponce, J. M., García-Rodríguez, J. G., Mendoza-Elos, M., Montes-Hernández, S., Ramírez-Pimentel, J. G., Rivera-Arredondo, M., Chablé-Moreno, F., y Gámez-Vázquez, A. J. (2025). Morfología y rendimiento de plantas de maíz obtenidas

mediante cultivo de embriones inmaduros y por semillas. *Revista fitotecnica mexicana*, 48(3), 233-240.

Estrada-Marmolejo, R. J., Orona-Tamayo, D., Valverde, M. E., y Paredes-López, O. (2017). Caracterización bioquímica y molecular de las proteínas de reserva en semillas de chía (*Salvia hispanica* L.). *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 159-163.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA]. (2024). Panorama agroalimentario: Maíz 2024. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.

García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. de la P., Cortés-Sánchez, A. de J., Villanueva-Carvajal, A. y Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7), 95-100.

García-Sañudo, J. A. (2015). *Fertilización orgánica y mineral en maíces de Sinaloa* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Sinaloa]. Repositorio Institucional UAS.

Gómez-Pérez, V. (2019). *Caracterización agromorfológica in situ de poblaciones de maíces nativos en Concordia, Sinaloa, México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa].

González, G. E., Fourastié, M. F., y Poggio, L. (2013). Relevancia del número y composición de secuencias de los nudos cromosómicos en la caracterización de maíz y teocintle. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(2), 127-135.

González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Contreras-Toledo, A. R., Joaquín-Cancino, S., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C. y Hernández-Bautista, A. (2020). Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 43(4), 361-370.

- González-Santos, R., Hernández-Sandoval, L., Hernández-Puente, K. N., y Ortega-Paczka, R. (2023). Distribución y caracterización ecogeográfica de maíces nativos de Querétaro, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 341-348.
- Grande-Tovar, C. D. y Orozco-Colonia, B. S. (2013). Producción y Procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.
- Heredia-Rodríguez, L. (2017). *Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari (Phaseolus acutifolius Gray) cultivado en Nuevo León, México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio académico digital.
- Hernandez-González, E. C. E. (2022). *Impacto de la ley federal para el fomento y protección del maíz nativo, en la producción del maíz blanco en México* (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo). Repositorio Institucional Chapingo.
- Hernández-Ramos, M. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Rosales-Esquinca, M. Á., Pinto-Ruiz, R., y Ortiz-Pérez, R. (2017). Caracterización molecular de maíces locales de la reserva de la Biosfera La Sepultura, México. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 69-83.
- Juárez-Segovia, K. G., Varapizuela-Sánchez, C. F., Matías-Pérez, D., Díaz-Barrita, A. J., Pérez-Santiago, A. D., García-Montalvo, I. A., & Sánchez-Medina, M. A. (2025). Nutrient composition and chromatic parameter of Bolita pigmented maize (*Zea mays* L.). *Agro Productividad*, 183-191.
- Kato-Yamakake, T. A. (2023). Caracterización y origen genético de tres razas de maíz a partir de datos de nudos cromosómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(3), 219-227.
- Landavazo-Gamboa, D. A., Calvillo-Alba, K. G., Espinosa-Huerta, E., Gonzáles-Morelos, L., Aragón-Cuevas, F., Torres-Pacheco, I., Guzmán-Maldonado, S. H., Montero-Taveda, V., y Mora-Avilés, M. A. (2006). Caracterización molecular y biológica de genes recombinantes en maíz criollo de Oaxaca. *Agricultura Técnica en México*, 32(3), 267-279.

- Linares-Holguín, O. O., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., López-Valenzuela, J. Á., Córdova-Téllez, L., Parra-Terraza, S., Leal-Sandoval, A., Maldonado-Mendoza, I. E., y Sánchez-Peña, P. (2019). Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays ssp. mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia*, 44(7), 421-428.
- López-Alcocer, J. J., Lépiz-Ildelfonso, R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macias, R., López-Alcocer, E., y Olalde-Portugal, V. (2017). Caracterización morfológica y bioquímica de cepas de *Rhizobium* colectadas en frijol común silvestre y domesticado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 73-81.
- López-Hernández, B. M., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Miranda-Colín, S., Barrios-Gómez, E. J., y Martínez-Rueda, C. G. (2018). Rendimiento de granos y sus componentes, y densidad de raíces en arroz bajo riego y seco. *Agrociencia*, 52(4), 563-580.
- López Romero, G., Santacruz Varela, A., Muñoz Orozco, A., Castillo González, F., Córdova Téllez, L., Vaquera Huerta, H. (2010). Perfil isoenzimático de maíces nativos del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. México. I. Caracterización de grupos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(1), 1–10.
- López-Romero, G., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Castillo-González, F., Córdova-Téllez, L., y Vaquera-Huerta, H. (2009). Perfil isoenzimático de maíces nativos del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. II. Variación dentro de grupos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 177-188.
- Martínez-Nuñez, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J. J., Silva-Rojas, H., Aguilar-Rincón, V. H., y Miranda-Colín, S. (2019). Rendimiento de grano y resistencia a tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) de híbridos fértiles y androestériles de maíz. *Agrociencia*, 53(1), 73-88.

- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N., y Cadena-Iñiguez, P. (2017). Caracterización morfológica de poblaciones de maíz nativo (*Zea mays* L.) en Chiapas, México. *Agro-Productividad*, 10(4), 54-61.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4), 471-479.
- Miller-Butler, M. A., Smith, B. J., Kreiser, B. R., & Blythe, E. K. (2019). Comparison of anthracnose resistance with the presence of two SCAR markers associated with the Rca2 gene in strawberry. *HortScience*, 54(5), 793-798.
- Ocampo-Anguiano, P. V. (2020). *Análisis de la composición y efecto del consumo de hoja de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en ratas Wistar con obesidad y/o diabetes mellitus* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio institucional UAQ. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2618>
- Ortiz-García, S. y Otero Arnaiz, A. (2007). México como el centro de origen del maíz y elementos sobre la distribución de parientes silvestres y variedades o razas de maíz en el norte de México. *Revista de Geografía Agrícola*, (38), 141-152.
- Piedragil-Ocampo, B. (2018). *Caracterización fisiológica, nutrimental y bioquímica de variedades amarillas de mango (Mangifera indica L.) de reciente introducción a México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Guerrero]. Repositorio institucional de ciencia abierta. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/446>
- Ramírez-Vega, E. (1988). *Caracterización de la colección de Teocintle mexicano, anual y perenne Zea spp. (Iltis y Doebley)* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara].
- Rangel-Lucio, J. A., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., García-Rodríguez, J. G., Cervantes-Ortíz, F., Vaquera-Huerta, H., y Cuenca-Salgado, J. A. (2021).

Adaptación y selección de maíces nativos en la región del bajo de México por su caracterización morfológica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 241-250.

Revelo-Portilla, E. A., Cardozo-Conde, C. I., y Caetano, C. M. (2015). Estudio molecular preliminar de accesiones de maíz (*Zea mays* L.) criollo e indígena colombiano, utilizando una región de ADN cloroplástico. *Acta Agronómica*, 64(1), 72-82.

Ríos, E., Mejía-Ruiz, H., y Álvarez-Castañeda, S. T. (2009). Marcadores moleculares: una revolución en la zoología. *Ciencia*, 5-13.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023, 29 de septiembre). Razas de maíz, riqueza del campo mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo-mexicano>

Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., y Ledesma-Miramontes, A. (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1297-1304.

Suastegui-Baylon, L., Maldonado-Astudillo, Y. I., Román-Montes de Oca, E., Pérez-Arias, G., Jiménez Hernández, J., Juárez López, P., Avonce-Vergara, N., López-Martínez, V., Alia-tejacal, I. (2024). Estudio etnobotánico de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en la región centro del Estado de Guerrero. *Botanical Sciences*, 102(4), 1184-1200.

Talamantes-Sandoval, C. A., Cortés-Cruz, M., Balois-Morales, R., López-Guzmán, G.G., & Palomino-Hermosillo, Y. A. (2019). Análisis molecular de la diversidad genética en guanábana (*Annona muricata* L.) mediante marcadores SRAP. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 209-214.

Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química

y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L). *Agrociencia*, 53, 1013-1027.

Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., y López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 687-699.

Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., Sainz-Aispuro, M. de J., Hernández-Pérez, A. (2018). Crecimiento y extracción nutrimental de nochebuena en respuesta a la relación nitrato:calcio y etapa fenológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 683-690.

Valenzuela-Antelo, J. L., Bénitez-Riquelme, I., Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Lobato-Ortiz, R., Bueno-Aguilar, G., & Vargas-Hernández, M. (2018). Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 41(2), 159-166

Vielle-Calzada, J. P., Vallebuena, M., Padilla-Calzada, J., Álvarez-Mejía, C., Martínez, J., García- Cook, A. y Montiel, R. (2014). Paleogenómica en la cueva de San Marcos y su contribución al entendimiento del origen del maíz. *Arqueología*, (49), 13-20.

Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Pérez-Pérez, X. D., Espinosa-Zaragoza, S., Marroquín-Agreda, F. J., Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización fisicoquímica de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en el Soconusco, Chiapas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(17), 219-229.

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández X., E. y Mangelsdorf, P. C. (1951). Razas de maíz en México: Su origen, características y distribución (Folleto Técnico n.º 5). Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería.

Xu, H., Ming, B., Wang, K., Xue, J., Hou, P., Li, S., & Xie, R. (2023). Efectos del fotoperiodo y factores relacionados con la temperatura en el número de hojas y la distribución posicional de las hojas de maíz en el campo. *Frontiers in Plant Science*.

Zacarías-García, J. (2023). *Caracterización fisiológica, bioquímica y molecular de nuevas variedades de naranja de pulpa roja* [Tesis doctoral, Universitat de València].
RODERIC: Repositorio Institucional de la Universitat de València.

CAPITULO III

III. Caracterización física, bioquímica, nutraceutica y actividad antioxidante de maíces nativos de la costa de México

Resumen

Objetivo: Caracterizar maíces nativos cultivados en la comunidad de Santiago Tetepec, Oaxaca, mediante aspectos físicos y químicos del grano.

Diseño/metodología/aproximación: En 2024, se establecieron maíces nativos en Santiago Tetepec, Oaxaca, bajo un diseño experimental completamente al azar. Se cultivaron los materiales conejo, blanco, olotillo delgado, magallanes, amarillo, café, rojo y azul, se tuvieron 6 repeticiones por variedad y la variedad se consideró el tratamiento. A la cosecha se determinó el color del grano (L^* , C y h) del grano, contenido de proteínas, carbohidratos solubles, compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y la capacidad antioxidante mediante los métodos ABTS y FRAP. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados: Los maíces con pigmentación presentaron mayor contenido de flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante. Los contenidos de azúcares y proteínas presentaron una menor variación entre los materiales evaluados. En contenido de azúcares y proteínas son similares. El genotipo azul presentó los valores más altos de capacidad antioxidante, fenoles y antocianinas.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La evaluación se realizó con muestras provenientes de una sola localidad, por lo que no se consideró el efecto de diferentes ambientes de producción sobre la composición bioquímica del grano.

Hallazgos/conclusiones: Las variedades de maíz nativo estudiados presentaron variabilidad en características asociadas con la pigmentación y el contenido de compuestos bioactivos. Los resultados obtenidos evidencian la importancia de los maíces nativos como reservorios de diversidad bioquímica y recursos genéticos de interés para futuros programas de conservación e investigación.

Palabras clave: antocianinas, flavonoides, proteínas, *Zea mays* L.

Abstract

Objective: To biochemically characterize native maize varieties cultivated in the community of Santiago Tetepec, Oaxaca.

Design/methodology/approach: The experimental design was completely randomized with eight treatments and six replications, where the treatments were conejo, white, olotillo delgado, magallanes, yellow, brown, red, and blue. The evaluated variables consisted of grain chromatic parameters, protein content, soluble carbohydrates, phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, and antioxidant capacity using the ABTS and FRAP methods. Data were analyzed using analysis of variance and Tukey's mean comparison test ($p \leq 0.05$).

Results: Pigmented maize varieties exhibited higher levels of flavonoids and anthocyanins, as well as greater antioxidant capacity. Sugar and protein contents showed less variation among the evaluated materials; the levels of sugars and proteins were similar. The blue genotype displayed the highest values for antioxidant capacity, phenols, and anthocyanins.

Study limitations/implications: The evaluation was conducted using samples from a single locality; therefore, the effect of different production environments on the biochemical composition of the grain was not considered.

Findings/conclusions: The studied native maize varieties presented variability in characteristics associated with pigmentation and bioactive compound content. The blue genotype stood out due to its high antioxidant capacity and phenolic compound content. The obtained results evidence the importance of native maize as a reservoir of biochemical diversity and genetic resources of interest for future conservation and research programs.

Keywords: anthocyanins, flavonoids, proteins, *Zea mays* L.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie que se consume a nivel mundial y en México representa un recurso fitogenético con diversidad biológica y cultural, aporta bienes y servicios (Ranum *et al.*, 2014; Romero-Natale *et al.*, 2024). A nivel productivo, México alcanzó un volumen de 27.5 millones de toneladas en 2023, manteniendo un crecimiento que refleja lo valioso de este grano. Dentro de este panorama el estado de Oaxaca destaca como el tercer productor nacional, aportando el 8.6% del total del país (SIAP, 2023). Más allá de su volumen productivo, lo que realmente distingue a la entidad es que el 90% de su superficie se siembra con maíces nativos, predominando razas como Bolita, Zapalote Chico y Olotón (Ramírez Jaspeado *et al.*, 2013; Diego-Flores *et al.*, 2023).

Debido a que los maíces nativos son una herencia genética adaptada por siglos a climas específicos, su caracterización ha sido un tema central en la investigación agrícola. Para documentar esta diversidad y entender su valor nutricional y conservación *in situ*, se han realizado numerosos trabajos de investigación enfocados en caracterizaciones morfológicas, físico-química, agronómicas, fenotípicas, moleculares y nutraceuticas (Ramírez Jaspeado *et al.*, 2013; Chan-Chan *et al.*, 2021; García-Campos *et al.*, 2020; López-Morales *et al.*, 2020; Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021; Rangel-Lucio *et al.*, 2021; Torres-Morales *et al.*, 2022; Diego-Flores *et al.*, 2023; Suárez-González *et al.*, 2025).

Los maíces nativos son diferentes en color de grano debido a su contenido de pigmentos. La pigmentación del grano, que varía desde el blanco y amarillo hasta tonalidades azules, rojas y moradas (Salinas-Moreno *et al.*, 2012; García, 2013; Ku-Pech *et al.*, 2020; Toxtle-Flores *et al.*, 2023).

Los compuestos nutraceuticos encontrados son fenólicos, antocianinas, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, fibra, ácido fítico inositol, ácidos grasos polinsaturados, fosfolípidos, vitaminas y policosanoles o ceras. Los compuestos previenen el estrés oxidativo, cáncer, alto colesterol, arterioesclerosis, envejecimiento, enfermedades cardiovasculares y mejoran la función gastrointestinal (Serna-Saldívar *et al.*, 2013; Guzmán-Gerónimo *et al.*, 2017;

Rodríguez-Pérez *et al.*, 2023; Anaya-Esparza *et al.*, 2024; Hernández-Ruiz *et al.*, 2025; Tepixtle-Colohua *et al.*, 2025). El proceso de nixtamalización del maíz con diferentes perfiles nutraceuticos afecta la cantidad y disponibilidad de estos compuestos, sin embargo, los productos finales (masa y tortilla) logran conservar una capacidad antioxidante y antimutagénica, manteniendo propiedades biológicas de gran interés para la salud (Serna-Saldívar *et al.*, 2013; Herrera-Sotero *et al.*, 2017).

Dentro de este contexto, la caracterización bioquímica de los maíces nativos resulta primordial, permitiendo identificar y cuantificar los componentes que definen tanto la calidad nutricional como las propiedades del grano. De acuerdo con Salinas-Moreno *et al.* (2013), este análisis permite comprender la variabilidad en la concentración de almidones, proteínas y lípidos, elementos que definen la base nutricional de las comunidades donde el maíz es el alimento principal. Al respecto, Herrera-Sotero *et al.* (2017) argumentan que la caracterización de compuestos fenólicos y antocianinas es esencial para determinar las propiedades biológicas del maíz, como su capacidad antioxidante y antiproliferativa. Estos estudios demuestran que el valor nutraceutico del grano no es uniforme, sino que está vinculado a la herencia genética de cada raza y a las condiciones ambientales de cultivo (Salinas-Moreno *et al.*, 2021).

En la región de la costa de Oaxaca, se han realizado caracterizaciones morfológicas de maíces del istmo de Tehuantepec (Cabrera-Toledo *et al.*, 2019), de la costa chica de Guerrero (Navarro-Garza *et al.*, 2012), se evaluó la calidad de mazorca, y calidad y anatomía de la semilla de maíces pigmentados (rojo y amarillo) (Ramírez-Reynoso *et al.*, 2020) y en el distrito de Jamiltepec, se ha documentado el uso y manejo de maíces nativos rojos, azules, morados, blancos y amarillos (Pérez-Nicolás *et al.*, 2024; 2025). Realizar una caracterización bioquímica de los maíces nativos de regiones costeras es el primer paso para generar la evidencia científica que permita posicionar a estas variedades de diferente color como alimentos funcionales. Estos granos ofrecen beneficios a la salud que superan a los híbridos comerciales, lo que no solo impulsa su conservación, sino que justifica un precio más justo para los productores locales. El objetivo de esta investigación fue caracterizar física,

bioquímica, nutraceutica y actividad antioxidante de variedades de maíces nativos cultivados en la comunidad de Santiago Tetepec, Oaxaca, para documentar su potencial nutricional y nutraceutico para los consumidores de estos materiales.

Materiales y métodos

Área de estudio

Material vegetal

Los materiales evaluados correspondieron a ocho genotipos de maíz nativo (conejo, blanco, olotillo delgado, magallanes, amarillo, café, rojo y azul) establecidos en 2024, bajo un diseño completamente al azar, con 6 repeticiones por variedad y la variedad se consideró el tratamiento; en una parcela experimental ubicada en el municipio de Santiago Tetepec que se ubica entre las coordenadas geográficas 16°14' 30.48" a 16°28'33.96" latitud norte y 97°47' 14.64" a 97°35'36.24" longitud oeste, a 270 msnm. El municipio tiene una población de 4,909 habitantes y un clima cálido subhúmedo con temperaturas de 22 a 28 °C. La precipitación pluvial anual oscila entre 1,000 y 2,500 mm, con suelos de tipo cambisol (60.71%) y regosol (22.63%) predominantes (INEGI, 2020).

La colecta se realizó en enero de 2025; se obtuvieron seis muestras por genotipo, los granos fueron separados manualmente de las mazorcas, se procesaron directamente en estado seco y se trasladaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, para su evaluación. La molienda se llevó a cabo en una licuadora doméstica equipada con un recipiente de volumen reducido. Se pesaron 20 g de muestra homogeneizada para conformar las 48 unidades experimentales.

Determinación de color

Los componentes de color: luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*) y ángulo de matiz (h^*) se determinaron en los granos mediante un espectrofotómetro X-Rite® SP64, utilizando el sistema CIE LCh* (Salinas-Moreno *et al.*, 2021). El equipo se calibró previamente con los patrones blanco y negro. Se realizaron tres lecturas por muestra y los resultados se expresaron como el promedio de las mediciones obtenidas.

Determinación de carbohidratos solubles

Los carbohidratos solubles se determinaron mediante el método de Antrona descrito por Whitham *et al.* (1973). Se homogenizaron 0.5 g de harina en 20 mL de etanol al 80 % durante una hora. Posteriormente, se tomó 1 mL del sobrenadante y se evaporó a baja temperatura. Al residuo se adicionaron 3 mL del reactivo Antrona-ácido sulfúrico y la mezcla se mantuvo en baño de hielo. Las muestras se calentaron en baño María durante 5 min y la absorbancia se registró a 600 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Thermo Scientific Genesys 10S.

Determinación de proteína

El contenido de proteína se cuantificó mediante el método de Bradford (1976). Se homogenizaron 0.3 g de muestra en 5 mL de buffer Tris-HCl 100 mM (pH 7.1) y posteriormente se centrifugaron a 12,000 rpm durante 30 min a 4 °C. Del sobrenadante se tomaron 100 µL, los cuales se mezclaron con 5 mL del reactivo de Bradford. Después de 2 min de reacción, la absorbancia se determinó a 595 nm en un espectrofotómetro.

Determinación de flavonoides totales

Los flavonoides totales se cuantificaron de acuerdo con la metodología propuesta por Arvouet-Grand *et al.* (1994). Se homogenizó 1 g de harina en 10 mL de metanol absoluto y posteriormente el extracto se filtró y centrifugó a 11,000 rpm durante 20 min. Se mezclaron 2 mL del extracto con 2 mL de tricloruro de aluminio al 2 % y la reacción se mantuvo en oscuridad durante 10 min. La absorbancia se registró a 415 nm utilizando metanol absoluto como blanco.

Determinación de antocianinas totales

Las antocianinas totales se determinaron mediante el método de pH diferencial descrito por Lee *et al.* (2005). Se prepararon buffers de cloruro de potasio (pH 1.0) y acetato de sodio (pH 4.5). Se homogenizó 1 g de harina en 10 mL de cada solución y posteriormente los extractos se filtraron y centrifugaron a 11,500 rpm durante 10 min. Las absorbancias se registraron a 520 y 700 nm para ambos valores de pH, utilizando agua destilada como blanco.

Determinación de compuestos fenólicos

Se cuantificaron mediante el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton *et al.* (1999). Se homogenizaron 0.5 g de muestra en 15 mL de agua desionizada y posteriormente el extracto se filtró y centrifugó a 11,000 rpm durante 20 min. Se mezclaron 0.5 mL del extracto con 2.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido. Después de un periodo de reposo menor a 8 min, se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio al 7.5 %. La mezcla se mantuvo en oscuridad durante 2 h y la absorbancia se registró a 760 nm.

Actividad antioxidante por FRAP

La capacidad antioxidante por FRAP se determinó de acuerdo con Benzie y Strain (1996). El reactivo FRAP se preparó con TPTZ, cloruro férrico hexahidratado y solución de acetato de sodio. Se homogenizó 1 g de muestra en 15 mL de agua desionizada, se filtró y centrifugó a 11,500 rpm durante 20 min. Posteriormente, se mezclaron 100 µL del extracto con 1.9 mL del reactivo FRAP y se incubaron a 37 °C durante 30 min. La absorbancia se registró a 593 nm.

Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante se determinó mediante el método descrito por Re *et al.* (1999). El radical ABTS se preparó mezclando ABTS y persulfato de potasio, dejando reposar la solución en oscuridad durante 16 h. Posteriormente, la solución se ajustó con etanol al 20 %. Para la reacción se mezclaron 100 µL del extracto con 3 mL de la solución de ABTS y se dejaron reaccionar durante 15 min en oscuridad. La absorbancia se registró a 734 nm.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS).

Resultados y discusión

Color del grano

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre los genotipos para los tres parámetros de color evaluados (Cuadro 2), evidenciando una amplia diversidad cromática entre los maíces nativos estudiados. El comportamiento de los materiales permitió distinguir, de manera general, un grupo de granos claros conformado por Conejo, Blanco, Olotillo Delgado y Magallanes; materiales de tonalidades intermedias como Amarillo y Café; y los genotipos pigmentados Rojo y Azul, que presentaron los valores más bajos de luminosidad.

En la luminosidad (L^*), Conejo presentó el valor más elevado (70.31), seguido de Magallanes (69.95), Blanco (66.97) y Olotillo Delgado (66.93). Estos cuatro materiales compartieron el mismo grupo estadístico, lo que confirma su comportamiento semejante en cuanto a claridad del grano. El maíz Amarillo presentó un valor intermedio de 63.95, mientras que Café mostró una luminosidad menor (57.80). En cambio, Rojo (26.74) y Azul (23.76) conformaron el grupo con los valores más bajos, permitiendo así observar con claridad el contraste entre los materiales de grano claro y los pigmentados.

Dentro del grupo de granos claros, Conejo destacó por presentar la mayor luminosidad de todos los materiales evaluados. Magallanes mostró un comportamiento muy cercano a Conejo en esta característica, además, presentó el mayor contenido numérico de azúcares y proteína. Blanco y Olotillo Delgado también se ubicaron entre los materiales de mayor luminosidad, aunque presentaron diferencias en las variables bioquímicas evaluadas. Por lo tanto, aun cuando estos cuatro materiales pueden considerarse semejantes desde el punto de vista cromático, su composición no fue completamente uniforme.

El genotipo Amarillo mostró un comportamiento particular. Aunque su luminosidad fue menor que la observada en los cuatro materiales más claros, presentó la mayor cromaticidad ($C^* = 48.78$), superando estadísticamente al resto de los genotipos.

Este resultado indica que Amarillo no fue el material más claro, pero sí presentó la mayor intensidad cromática.

Café presentó valores intermedios tanto de luminosidad (57.80) como de cromaticidad (29.10) y un ángulo de matiz de 64.46°. Este comportamiento lo ubica entre los materiales claros y los pigmentados, sin presentar los valores extremos observados en Conejo o Azul.

Los materiales Rojo y Azul presentaron el comportamiento más diferenciado en términos de color. Ambos registraron los valores más bajos de luminosidad y de ángulo de matiz, con L^* de 26.74 y 23.76, respectivamente, y h^* de 29.31 y 22.61. Estos resultados los diferenciaron de las tonalidades claras observadas en Conejo, Blanco, Olotillo Delgado y Magallanes.

La diferencia entre los materiales pigmentados y los de grano claro coincide con lo señalado por Salinas-Moreno *et al.* (2021), quienes indican que los maíces pigmentados presentan menor luminosidad debido a la acumulación de compuestos fenólicos y pigmentos en las capas externas del grano. Por su parte, Maldonado-Astudillo *et al.* (2021) señalan que los parámetros de color pueden constituir indicadores indirectos de diferencias en la composición fitoquímica de los materiales nativos.

Los resultados de color permiten identificar tres comportamientos principales: los materiales de grano claro, caracterizados por valores elevados de L^* ; los materiales de tonalidad intermedia, representados principalmente por Amarillo y Café; y los pigmentados Rojo y Azul, caracterizados por una baja luminosidad. Esta diversidad cromática no solamente representa una diferencia visual entre los materiales, sino que coincide con diferencias importantes en algunos de los componentes bioquímicos evaluados.

El color también representa un atributo de importancia dentro del aprovechamiento tradicional de los maíces nativos. Ku-Pech *et al.* (2020) señalan que las comunidades indígenas y rurales mantienen criterios de clasificación y selección de los materiales en los que las características del grano tienen un papel importante.

Por ello, la diversidad de colores observada en los materiales de Santiago Tetepec, Oaxaca, resalta la importancia de conservar estos maíces nativos y las características particulares que los distinguen.

Cuadro 2. Características bioquímicas de maíces nativos cultivados en regiones costeras de México.

	p valor	Conejo	Blanco	Olotillo delgado	Magallanes	Amarillo	Café	Rojo	Azul
Color L	<0.0001	70.31 ^c	66.97 ^c	66.93 ^c	69.95 ^c	63.95 ^{bc}	57.80 ^b	26.74 ^a	23.76 ^a
Color C	<0.0001	23.06 ^b	23.48 ^{bc}	22.12 ^b	23.53 ^{bc}	48.78 ^d	29.10 ^c	26.45 ^{bc}	5.86 ^a
Color H	<0.0001	88.69 ^d	87.50 ^d	85.61 ^{cd}	88.19 ^d	76.20 ^c	64.46 ^b	29.31 ^a	22.61 ^a
Capacidad antioxidante (ABTS) (mg AAE/100g)	<0.0001	25.42 ^a	25.11 ^a	25.24 ^a	25.75 ^a	30.22 ^a	26.25 ^a	31.08 ^a	46.00 ^b
Capacidad antioxidante (FRAP) (mg AAE/100g)	<0.0001	69.48 ^a	88.66 ^{ab}	83.23 ^{ab}	87.66 ^{ab}	121.48 ^{ab}	135.66 ^b	136.91 ^b	250.23 ^c
Capacidad antioxidante (Fenoles) (mg GAE/g)	<0.0001	96.43 ^a	108.29 ^a	98.78 ^a	105.16 ^a	105.60 ^a	93.15 ^a	107.56 ^a	134.96 ^b
Azúcares (g/100g)	0.0129	1.65 ^a	1.80 ^a	1.95 ^a	2.06 ^a	2.03 ^a	1.62 ^a	1.84 ^a	1.85 ^a
Flavonoides (mg QE/100g)	<0.0001	0.50 ^a	0.55 ^a	0.59 ^a	0.67 ^a	1.86 ^b	1.07 ^a	2.24 ^b	2.24 ^b
Proteínas (%)	0.0295	5.55 ^a	7.64 ^a	7.31 ^a	11.12 ^a	10.02 ^a	9.92 ^a	9.57 ^a	8.87 ^a
Antocianinas (mg/100g)	<0.0001	29.33 ^a	27.72 ^a	25.01 ^a	29.06 ^a	27.53 ^a	28.24 ^a	29.49 ^a	48.95 ^b

Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos

Las variables relacionadas con la capacidad antioxidante presentaron diferencias altamente significativas entre los genotipos ($p < 0.0001$), aunque el comportamiento no fue uniforme entre los materiales. El genotipo Azul destacó como el material con mayor respuesta antioxidante, mientras que Rojo y Café presentaron valores intermedios en FRAP y el resto de los materiales mostró respuestas menores.

En el ensayo ABTS, Azul alcanzó el valor más elevado (46.00 mg AAE/100 g) y fue el único genotipo que se separó estadísticamente del resto, conformando un mismo grupo. Dentro del segundo grupo, Rojo presentó el valor más alto después de Azul (31.08 mg AAE/100 g), seguido de Amarillo (30.22), Café (26.25), Magallanes (25.75), Conejo (25.42), Olotillo Delgado (25.24) y Blanco (25.11). Aunque se observaron diferencias entre los materiales, la prueba de comparación de medias de Tukey los ubicó en el mismo grupo estadístico.

En el ensayo FRAP se observó una mayor diferenciación entre los genotipos. Azul presentó nuevamente el valor más elevado (250.23 mg AAE/100 g), seguido por Rojo (136.91) y Café (135.66). Estos dos últimos materiales formaron un grupo estadístico intermedio, mientras que Conejo presentó el valor más bajo (69.48). Blanco, Olotillo Delgado y Magallanes mostraron valores intermedios de 88.66, 83.23 y 87.66 mg AAE/100 g, mientras que Amarillo alcanzó 121.48 mg AAE/100 g.

Los resultados obtenidos muestran que la pigmentación no explica por sí sola el comportamiento antioxidante. Aunque Azul y Rojo fueron los materiales más oscuros y presentaron respuestas elevadas, Café, que presentó una tonalidad intermedia, también mostró un valor alto en FRAP. Por lo tanto, la capacidad antioxidante parece estar relacionada con la composición bioquímica particular de cada material, además de las características de color del grano.

El contenido de fenoles solubles totales mostró en el genotipo Azul la concentración más alta con 134.96 mg GAE/100 g separándolo estadísticamente del resto de los materiales. Los demás genotipos presentaron valores entre 93.15 y 108.29 mg GAE/100 g y pertenecieron al mismo grupo estadístico. Dentro de este grupo, Blanco registró el valor más alto (108.29 mg GAE/100 g), seguido de Rojo (107.56), Amarillo (105.60), Magallanes (105.16), Olotillo Delgado (98.78), Conejo (96.43) y Café (93.15 mg GAE/100 g).

El genotipo Azul presentó el mayor contenido de fenoles y los valores más altos de capacidad antioxidante en los ensayos ABTS y FRAP. La mayor concentración de fenoles está relacionada con la capacidad antioxidante observada en este material.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Salinas-Moreno *et al.* (2013) y García-Campos *et al.* (2021), quienes señalaron que algunos maíces pigmentados presentan una mayor capacidad para neutralizar radicales libres, asociada con la presencia de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios.

Los materiales de grano claro mostraron valores de fenoles cercanos entre sí, aunque hubo algunas diferencias. Conejo presentó una de las concentraciones más bajas, mientras que Blanco registró el valor más alto dentro de este grupo. Esto indica que los materiales de grano claro no necesariamente presentan la misma concentración de compuestos fenólicos, aun cuando comparten características similares de color.

Las diferencias observadas entre los genotipos están relacionadas con la variabilidad genética que caracteriza a los maíces nativos. Navarro-Garza *et al.* (2012) señalan que esta variabilidad está asociada con la polinización libre y con los criterios que los productores utilizan para seleccionar y conservar la semilla. En los materiales evaluados, las diferencias encontradas entre Azul, Rojo, Amarillo, Café y los de grano claro muestran que existe variación en la composición fenólica de los maíces cultivados y conservados por los productores de la región.

Azúcares solubles

El contenido de azúcares solubles presentó diferencias en el análisis de varianza ($p = 0.0129$), con valores que oscilaron entre 1.62 y 2.06 g/100 g. Sin embargo, la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ubicó a todos los genotipos en el mismo grupo estadístico, por lo que las diferencias entre las medias no fueron suficientes para establecer diferencias significativas entre los materiales.

Magallanes presentó el valor más elevado (2.06 g/100 g), seguido de Amarillo (2.03), Olotillo Delgado (1.95), Azul (1.85), Rojo (1.84), Blanco (1.80), Conejo (1.65) y Café (1.62). A pesar de esta variación, todos los genotipos pertenecieron al mismo grupo estadístico, por lo que no es posible establecer diferencias entre materiales mediante la prueba de Tukey.

El contenido de azúcares solubles mostró un comportamiento diferente al observado en los compuestos relacionados con la pigmentación. Magallanes presentó el valor numérico más alto (2.06 g/100 g), mientras que Café registró el más bajo (1.62 g/100 g). Por su parte, Azul presentó un valor intermedio (1.85 g/100 g), a pesar de haber mostrado las mayores concentraciones de fenoles, antocianinas y capacidad antioxidante. Estos resultados indican que las variaciones en el contenido de azúcares solubles no siguieron una tendencia definida de acuerdo con la coloración del grano.

Chan-Chan *et al.* (2021) señalan que los azúcares de reserva pueden presentar menor variabilidad que otros grupos de metabolitos en poblaciones de maíz nativo. Esta tendencia coincide con los resultados obtenidos, ya que, aunque se observaron diferencias entre los materiales, la prueba de Tukey los ubicó en un mismo grupo estadístico. Por lo tanto, bajo las condiciones evaluadas, el contenido de azúcares solubles mostró un comportamiento relativamente estable entre los genotipos, en comparación con los compuestos relacionados con la pigmentación.

Flavonoides

El contenido de flavonoides presentó diferencias significativas entre los genotipos ($p < 0.0001$). Los valores más altos se registraron en Rojo y Azul, ambos con 2.24 mg QE/100 g, seguidos por Amarillo con 1.86 mg QE/100 g. Estos tres materiales conformaron el grupo con las mayores concentraciones de flavonoides.

En los demás genotipos se observaron valores menores. Café presentó una concentración de 1.07 mg QE/100 g, mientras que Magallanes, Olotillo Delgado, Blanco y Conejo registraron 0.67, 0.59, 0.55 y 0.50 mg QE/100 g. De acuerdo a los resultados Conejo presentó el valor más bajo de toda la población evaluada, mientras que Rojo y Azul alcanzaron una concentración aproximadamente cuatro veces mayor.

Los resultados de flavonoides mostraron una tendencia relacionada con la coloración del grano. Rojo y Azul registraron los mayores contenidos de flavonoides (2.24 mg QE/100 g) y, a su vez, presentaron los valores más bajos de luminosidad.

Amarillo también mostró una concentración elevada de flavonoides (1.86 mg QE/100 g); sin embargo, presentó características de color diferentes, al registrar la mayor cromaticidad (48.78). Por su parte, los materiales de grano claro, como Conejo, Blanco, Olotillo Delgado y Magallanes, presentaron las menores concentraciones de flavonoides.

Salinas-Moreno *et al.* (2013) y García-Campos *et al.* (2021) han señalado que los maíces pigmentados pueden presentar mayores concentraciones de metabolitos secundarios asociados con la actividad antioxidante. Los resultados obtenidos siguen esta tendencia, particularmente en los genotipos Rojo y Azul, que registraron las mayores concentraciones de flavonoides. Amarillo también presentó un contenido elevado de estos compuestos, lo que indica que su acumulación no se limita a los materiales de color azul o rojo.

Al comparar las diferentes variables bioquímicas, Azul mostró valores altos de flavonoides, fenoles, antocianinas y capacidad antioxidante. Rojo también registró una concentración elevada de flavonoides y una alta capacidad antioxidante, aunque sus contenidos de fenoles y antocianinas fueron menores que los observados en Azul. Estos resultados muestran que, aunque existe una tendencia de mayor acumulación de compuestos bioactivos en algunos materiales pigmentados, el comportamiento varía entre genotipos.

Antocianinas

El contenido de antocianinas presentó diferencias significativas entre los materiales evaluados ($p < 0.0001$).

En la Figura 3 se muestra que el genotipo Azul destacó con 48.95 mg/100 g, mientras que los demás genotipos presentaron valores entre 25.01 y 29.49 mg/100 g perteneciendo a un mismo grupo estadístico.

Dentro de este segundo grupo, Rojo presentó el valor más alto después de Azul (29.49 mg/100 g), seguido de Conejo (29.33), Magallanes (29.06), Café (28.24), Blanco (27.72), Amarillo (27.53) y Olotillo Delgado (25.01). Por lo tanto, aunque Rojo posee una coloración intensa, su contenido de antocianinas fue muy inferior

al observado en Azul. Este resultado demuestra que la intensidad visual de la pigmentación no corresponde de manera proporcional con la concentración de antocianinas determinada analíticamente.

La relación entre el contenido de antocianinas y las características de color resaltó en Azul. Este material registró el menor valor de luminosidad ($L = 23.76$) y, al mismo tiempo, la mayor concentración de antocianinas. De acuerdo con Salinas-Moreno *et al.* (2013), las antocianinas son compuestos importantes en la coloración de los maíces azules, morados y rojos, además, presentan actividad antioxidante de interés para la alimentación humana.

Aunque Rojo y Azul pertenecen al grupo de materiales pigmentados, sus características bioquímicas no fueron iguales. Rojo registró el mismo valor de flavonoides que Azul (2.24 mg QE/100 g) y presentó una respuesta elevada en FRAP; sin embargo, sus contenidos de fenoles y antocianinas fueron menores. Azul, por su parte registro los valores más altos de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante mediante ABTS y FRAP. Estos resultados indican que la pigmentación del grano está acompañada por diferencias en la composición bioquímica, pero la magnitud de estas diferencias varía entre los genotipos.

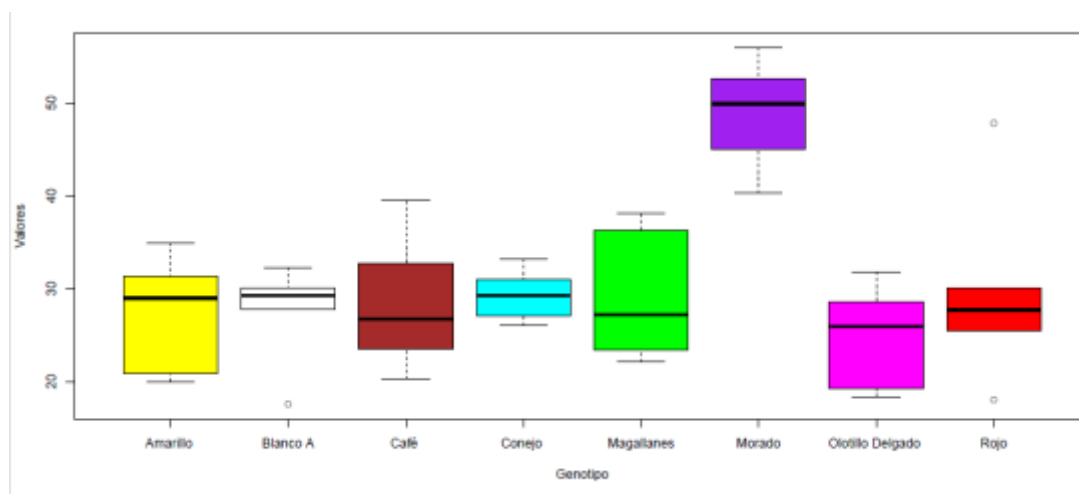


Figura 3. Contenido de antocianinas en genotipos de maíces nativos de Santiago Tetepec, Oaxaca.

Proteínas

El contenido de proteína mostró diferencias en el análisis de varianza ($p = 0.0295$), con valores que oscilaron entre 5.55 y 11.12 %. Magallanes registró el valor más alto (11.12 %), seguido de Amarillo (10.02 %), Café (9.92 %), Rojo (9.57 %), Azul (8.87 %), Blanco (7.64 %), Olotillo Delgado (7.31 %) y Conejo (5.55 %).

Aunque se observaron diferencias entre los materiales, la prueba de comparación de medias de Tukey los ubicó en una misma categoría estadística. Por lo tanto, no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos. Esto indica que la diferencia entre el valor más alto registrado en Magallanes y el más bajo observado en Conejo no fue suficiente para establecer una separación estadística entre los materiales.

Magallanes presentó, además, el mayor contenido de proteína y de azúcares solubles, junto con uno de los valores más altos de luminosidad. Conejo, por su parte, registró el menor contenido de proteína y de flavonoides, aunque presentó una elevada luminosidad. Estas diferencias permiten identificar ciertas tendencias entre los materiales, pero deben interpretarse únicamente desde el punto de vista numérico, debido a que la prueba de Tukey no mostró diferencias significativas.

El comportamiento de la proteína fue diferente al observado en los compuestos asociados con la pigmentación, como fenoles, flavonoides y antocianinas. Salinas-Moreno *et al.* (2013) y Maldonado-Astudillo *et al.* (2021) señalan que la composición de los maíces nativos puede variar de acuerdo con factores genéticos y ambientales, además de las características propias de cada material. En los genotipos evaluados, los resultados no mostraron una tendencia clara entre el color del grano y el contenido de proteína.

Conclusiones

Los genotipos de maíz nativo evaluados presentaron diferencias altamente significativas en las características de color, flavonoides, antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante, lo que evidencia una amplia diversidad entre los materiales estudiados. Los granos claros, representados por Conejo, Blanco, Olotillo Delgado

y Magallanes, presentaron los valores más altos de luminosidad, mientras que Rojo y Azul mostraron las tonalidades más oscuras y los valores más bajos de luminosidad.

El genotipo Azul presentó el comportamiento bioquímico más sobresaliente, al registrar la mayor capacidad antioxidante mediante ABTS y FRAP, así como las mayores concentraciones de fenoles y antocianinas. Además, compartió con Rojo el mayor contenido de flavonoides. La coincidencia de estas características con la baja luminosidad del grano sugiere una asociación entre la pigmentación intensa y una mayor concentración de determinados compuestos bioactivos en los materiales evaluados.

El genotipo Rojo también presentó características de interés, por su elevado contenido de flavonoides y por sus valores de capacidad antioxidante, especialmente mediante FRAP. No obstante, su concentración de antocianinas fue considerablemente menor que la registrada en Azul, lo que demuestra que los materiales pigmentados no presentan necesariamente el mismo perfil fitoquímico.

El maíz Amarillo destacó por presentar la mayor cromaticidad ($C^* = 48.78$) y un contenido elevado de flavonoides, mientras que Magallanes presentó los valores más altos de azúcares solubles y proteína. Conejo destacó por su elevada luminosidad, pero presentó los valores más bajos de flavonoides y proteína. Blanco, Olotillo Delgado y Café mostraron comportamientos intermedios en diferentes variables, evidenciando que cada material posee una combinación particular de características.

Los contenidos de azúcares solubles y proteína mostraron variación entre los genotipos, pero la prueba de Tukey no estableció diferencias significativas entre materiales. Por ello, estas variables no mostraron un patrón de diferenciación asociado de manera clara con la pigmentación del grano bajo las condiciones del presente estudio.

En conjunto, los maíces nativos de Santiago Tetepec, Oaxaca, representan una fuente importante de diversidad fenotípica y bioquímica. Los resultados resaltan

especialmente el valor del genotipo Azul por su concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, sin restar importancia a los demás materiales, que presentaron características particulares de interés. La conservación de esta diversidad resulta relevante para mantener los recursos genéticos locales y para futuras investigaciones orientadas al aprovechamiento alimentario y funcional de los maíces nativos.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UEAM por el financiamiento para llevar a cabo esta investigación. A el Dr. Iran Alia Tejacal y la M.C. Alyn Mariana Palacios Sosa por su guía y apoyo en el trabajo de laboratorio.

Referencias bibliográficas

- Anaya-Esparza, L. M., Gómez-Rodríguez, V. M., Ramírez-Vega, H., Hernández-Estrada, S., Hernández-Villaseñor, L. A., & Villagrán de la Mora, B. Z. (2024). Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 23–39
- Aragón, C. E., Taba, S., Hernández, J. M., Figueroa, L. de D., Serrano, V. y Castro, F. H. (2006). *Catálogo de maíces criollos de Oaxaca*. Instituto Nacional de Investigación Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A. and Legret, P. (1994). Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462-468.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E., & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1052.

- Benzie, I. F. & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-de los Santos, G., & Vaquera-Huerta, H. (2019). Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote Chico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3).
- Cadena-Cadena, F., Arias-Moscoso, J. L., García-Ramírez, A., Ochoa-Meza, A. R., & Cuevas-Acuña, D. A. (2024). Actividad biológica de maíz (*Zea mays*) de color mejorado cultivado en el sur de Sonora. *Agronomía Mesoamericana*, 35(55615). <https://doi.org/10.15517/am.2024.55615>
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., y Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21.
- Choque Colque, V. (2026). Factores edafoclimáticos y fitoquímicos del maíz morado (*Zea mays* L.): Revisión de su potencial productivo en Santa Cruz, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 13(1), 100-116. DOI: <https://doi.org/10.53287/vrfy2674xo35e>
- Corona-Terán, J., López-Orona, C. A., Romero-Gómez, S. J. Y Martínez-Campos, A. R. (2017). Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de México. *ITEA. Información Técnica Económica Agraria*, 113(1), 5-19. <https://doi.org/10.12706/itea.2017.001>

- del Castillo, R. F. y Rivera-García, R. (2022). Biophysical and biocultural upheavals in Mesoamerica, a conservation perspective: Mountains, maize-milpa, and globalization. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5(763009) 1-28. doi: 10.3389/ffgc.2022.763009
- Diego-Flores, P., Padilla-Cortés, E., Martínez-Martínez, L., Carrillo-Rodríguez, J. C., y Chávez-Servia, J. L. (2023). Variación fenotípica entre poblaciones precoces de maíz nativo de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(2), 106–117.
- Flores- Aguilar, E. Y Flores-Rivera E. del P. (2018). Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa* sp). *Información Tecnológica*, 29(2), 175-184.
- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. P., Cortés-Sánchez, A. J. y Villanueva-Carvajal, A. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(9), 41–48.
- García-López, D., Jacinto-Hernández, G., Pérez-Nicolás, M., & De la Rosa-Galindo, A. (2025). Morphological characterization of native maize varieties (*Zea mays* L.). *Agro Productividad*, 18(6), 221–229. <https://doi.org/10.32854/ph0y8c80>
- García P., M. A. (2013). *Diversidad, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de valles altos de México* [Tesis doctoral, Colegio de postgraduados]. Montecillo, Estado de México.
- González C., N., Espino S., H., Estrada C., J. C., Chávez M., J. A., y Tejero, J. L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669-680.
- Gutiérrez-Alarcón, I., Márquez-Fernández, O., Alvarado-Castillo, G., Trejo-Aguilar, D., y Sangabriel-Conde, W. (2026). Contenido de polifenoles en granos de maíces nativos inoculados con hongos micorrízicos arbusculares. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 13(1)

- Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón-Zavaleta, M. A., Oliart-Ros, R. M., Meza-Alvarado, J. E., Herrera-Meza, S., & Chávez-Servín, J. L. (2017). Blue maize (*Zea mays* L.) extract ameliorates insulin resistance and hepatic steatosis in rats with a high fat/high fructose diet. *Journal of Medicinal Food*, 20(2), 110-115.
- Hernández-Ruiz, R., Sánchez-Ramírez, F. J., Rincón-Sánchez, F. y Ruiz-Torres, N. A. (2025). Selección de familias de maíz nativo para color de grano amarillo: características agronómicas y carotenoides. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 48 (2), 103-113. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2025.2.103>
- Herrera-Sotero, P. E., Cruz-Hernández, A., Trujillo-Carreño, J. L., Rodríguez-Dorantes, M., Cortés-Arroyo, A. R., & Sierra-Palacios, E. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *African Journal of Biotechnology*, 16(25), 1458-1464.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- Kato-Yamakake, T. A., Mapes-Sánchez, C., Mera-Obando, L. M., Serratos-Hernández, J. A., y Bye-Boettler, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. CONABIO / UNAM. México.
- Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Simá-Gómez, J. L., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., & Latournerie-Moreno, L. (2020). Los maíces nativos de la Península de Yucatán: la maravilla en sus colores. *Desde el Herbario CICY*, 12, 74-79.
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269-1278.
- López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Marrufo-Díaz, M. L., Hernández-Salinas, G., & Ibáñez-Martínez, A. (2020). Characterization of the grain and tortilla of maize races native to the State of Puebla, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 295–306.

- Maldonado-Astudillo, Y. I., Gutiérrez-González, A. A., Flores Rogel, Y. L., Arámbula-Villa, G., Flores-Casamayor, V., Jiménez-Hernández, J., Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., y Salazar, R. (2021). Propiedades morfológicas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Nova scientia*, 13(27), 1-26. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2825>
- Martínez-Reyna, P. (2023). *Caracterización física, química, nutracéutica y propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (Zea mays L.) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ.
- Navarro-Garza, H., Hernández-Flores, M., Castillo-González, F., & Pérez-Olvera, M. A. (2012). Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistemas de cultivo en la Costa Chica de Guerrero, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(2), 149-165.
- Pérez-Nicolás, M., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Beltrán-Rodríguez, L., & Abad-Fitz, I. (2024). Sistemas agrosilvícolas de comunidades mixtecas y afroamericanas en la costa de Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 102(2), 416–437. <https://doi.org/10.17129/botsci.3401>
- Ramírez-Jaspeado, A., García-de los Santos, G., Carballo-Carballo, A., Castillo-González, F., Serratos, J. A., y Cadena-Iñiguez, J. (2013). Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 895–907.
- Ramírez-Reynoso, O., Escobar Álvarez, J. L., Maldonado Peralta, M., Rojas García, A. R., Hernández Castro, E. Y Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Calidad de mazorca y grano en maíces criollos de la Costa Chica, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (24) 239-246.
- Rangel-Lucio, J. A., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., García-Rodríguez, J. G., Cervantes-Ortiz, F., Vaquera-Huerta, H., y Cuenca-Salgado, J. A. (2021). Adaptación y selección de maíces nativos en la región del bajío de México por su caracterización morfológica. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(2), 241-250.

- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice, C. E. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rodríguez Pérez G., García Ramírez, A., Reynaga Franco, F. J., Mendivil Mendoza, J. E., Salazar Huerta, F. J. & Hidalgo Ramos, D. M. (2023). Composición fisicoquímica en granos de maíz morado mejorado (*Zea Mays* L.) en el sur de Sonora, como alternativa funcional a la salud humana. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4 (1), 4327-4340. DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.567>
- Romero-Natale A, Acevedo-Sandoval O, Sanchez-Porras A. (2024) Ecosystem Services in the Milpa System: A Systematic Review. *One Ecosystem* 9 (e131969). <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e131969>
- Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villareal, J., Altunar-López, B., y Sosa-Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/azul de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31.
- Salinas-Moreno, Y., Cruz-Chávez, F. J., Díaz-Ortiz, S. A., y Castillo-González, F. (2012). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 33-41.
- Salinas-Moreno, Y., y Hernández-Santiago, L. (2025). Características del grano y tortilla de maíces nativos de la región Trinitaria, Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 48(4), 455-461.
- Salinas-Moreno, Y., Pérez-Alonso, J. J., Vázquez-Carrillo, G., Aragón-Cuevas, F. y Velázquez-Cardelas, G. A. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en

- maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia*, 46(7), 693-706.
- Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., y Ledesma-Miramontes, A. (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1297-1303.
- Sánchez, J. J., Stuber, C. W., & Goodman, M. M. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59.
- Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Mora-Rochin, S. Y García-Lara, S. (2013). Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 36(Supl. 3-A), 295-304.
- Serratos, H., J., A., (2009). Serratos-Hernández, J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Greenpeace México. <https://esant.mx/bach/perfil/hm/docs/hm-en1.8.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Infografía Agroalimentaria 2023, Oaxaca*. México.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Solís-Balderas, I. (2025). Efecto del nixtamalizado y horneado sobre la capacidad antioxidante del maíz rojo (*Zea mays*) en la elaboración de una bebida prehispánica: tascalate. *Revista de Gastronomía y Cocina*, 4(1), 1-11.
- Suárez-González, G., López-Guzmán, G., León-Fernández, A., y Bautista-Rosales, P. (2025). Diversidad genética de maíz (*Zea mays* L.) raza Jala mediante marcadores moleculares ISSR. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 13(73), 25–39.
- Tepixtle-Colohua, V. V., Reyes-Trejo, B., & Saucedo, A. L. (2025). Compuestos químicos funcionales en el maíz morado (*Zea mays*): una revisión bibliográfica. *Acta Botanica Mexicana*, 132 (e243), 1-24.

- Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., y López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 687–699.
- Toxtle-Flores, P., Gil-Muñoz, A., López, P. A. Y Silva-Gómez, S. E. (2023). Maize landrace diversity persists in rural areas in transition to urban areas. *Revista Bio Ciencias*, 10 (e1452). <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1452>

CAPÍTULO IV

IV. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, especialmente en parámetros como color, capacidad antioxidante, contenido de flavonoides y antocianinas, lo que confirma que el tipo de grano influye en sus propiedades funcionales y nutricionales. Las variedades Azul y Rojo destacaron por presentar mayores concentraciones de compuestos antioxidantes, tales como fenoles, flavonoides y antocianinas, características asociadas con su pigmentación oscura.

Las variables como el contenido de azúcares y proteínas no mostraron diferencias relevantes entre variedades, lo que indica una composición relativamente estable en estos componentes. Los maíces pigmentados presentaron un mayor potencial funcional y nutricional, representando una alternativa para el desarrollo de alimentos con beneficios para la salud. Por ello, se recomienda promover la conservación, producción y aprovechamiento de las variedades pigmentadas, especialmente Azul, Rojo y Magallanes, debido a su elevado contenido de compuestos antioxidantes y proteicos.

Con base en la diversidad bioquímica observada, los resultados sugieren que los maíces nativos estudiados podrían contribuir a la prevención del desgaste celular asociado al estrés oxidativo. Esto podría favorecer su valorización en mercados orgánicos y especializados, permitiendo a los productores locales comercializar sus cosechas a un precio más justo y contribuir al fortalecimiento económico de sus comunidades. Asimismo, se recomienda continuar investigando el comportamiento de estas variedades bajo diferentes condiciones de cultivo, con el fin de fortalecer su aprovechamiento agrícola y comercial.

De igual manera, es importante realizar estudios de los productos derivados como masa y tortilla, ya que durante el proceso de nixtamalización intervienen factores como el uso de cal y calor que podrían modificar la concentración y estabilidad de los compuestos antioxidantes. Por ello resulta importante determinar cuánto de esta capacidad antioxidante permanece después del proceso de cocción del grano, con

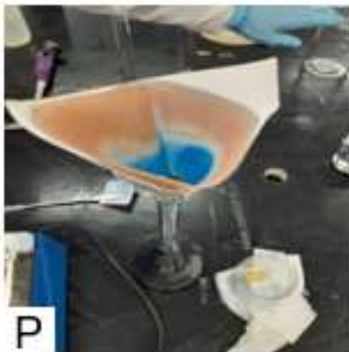
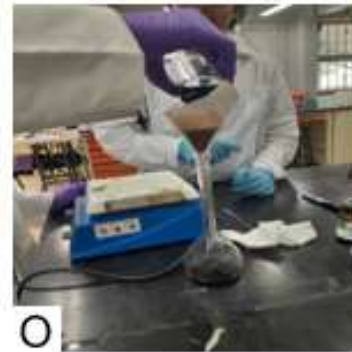
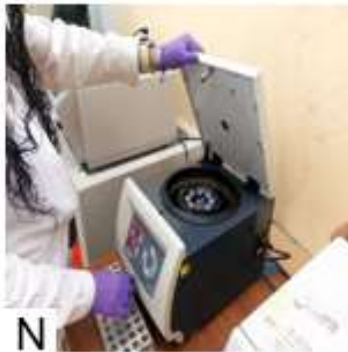
el objetivo de generar recomendaciones de preparación más precisas para las familias consumidoras.

Finalmente, se sugiere realizar estudios de bioaccesibilidad *in vitro* para determinar qué porcentaje de antocianinas y otros compuestos bioactivos puede ser absorbido por el cuerpo humano después del proceso digestivo. Esta información permitiría comprender mejor el verdadero potencial funcional de los maíces nativos y respaldar científicamente sus beneficios para la salud.

Anexos



A.1. Trabajo de laboratorio. A) maíces nativos evaluados, B) preparación de muestras para medición de color, C) medición de color de los materiales evaluados, D) pesado de carbonato de sodio en balanza analítica, E) homogenización de soluciones en vortex, F) colocación de puntas a las micropipetas a utilizar, G) Agitación de soluciones en vortex, H) adición de agua destilada a las muestras, I) homogenizador Ultra-Turrax, utilizado para la homogeneización de las muestras.



A.2. Desarrollo experimental: J) Preparación de las muestras para el baño María, K) evaporación de las muestras sobre la placa calefactora, L) adición de ácido sulfúrico manteniendo los tubos en baño de hielo, M) realización del baño maría, N) colocación de las muestras en la centrifuga, O) filtración de la solución del reactivo Bradford, P) residuos del reactivo Bradford, Q) colocación de las muestras en la centrifuga refrigerante, R) limpieza y secado de los instrumentos y materiales utilizados.