

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Agronómico y Características de la Mazorca de
Poblaciones de Maíz Amarillo Nativas de Coahuila

Por:

ALEJANDRO VICTORINO LÁZARO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comportamiento Agronómico y Características de la Mazorca de
Poblaciones de Maíz Amarillo Nativas de Coahuila

Por:

ALEJANDRO VICTORINO LÁZARO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría


Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez

Asesor Principal


Dra. Norma Angélica Ruíz Torres

Coasesor


Dr. José Luis Velasco López

Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2023.

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Por el presente documento, yo ALEJANDRO VICTORINO LÁZARO con número de matrícula: 41186017, egresado de la carrera de INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN, informo que he elaborado el Trabajo de Investigación en formato de Tesis, denominado: "Comportamiento Agronómico y Características de la Mazorca de Poblaciones de Maíz Amarillo Nativas de Coahuila", para obtener el Grado Académico de Ingeniero Agrónomo en Producción; declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por la autora que lo suscribe y afirmo, que no existe plagio de ninguna naturaleza.

Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos o en Internet. De igual manera afirmo que soy responsable de todo su contenido y me responsabilizo como autor(a), de las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento.

Sé que este compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y las leyes que para el presente apliquen, Saltillo, Coahuila, México, junio de 2023

Autor Principal



Alejandro Victorino Lázaro

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la oportunidad de tener a mi familia y amigos durante mi estancia en la universidad y concluir una etapa más de mi vida.

A mi **Alma Terra Mater**, por darme la formación académica y brindarme excelentes personas, profesores y amigos, que hicieron grata mi estancia en la institución.

A mis padres: **Teódulo Victorino Ramos y María Del Carmen Lázaro Espinosa**, gracias por brindarme su confianza, consejos y apoyo incondicional durante esta etapa, quedo infinitamente agradecido con ustedes.

A mis hermanos, **José Ángel y María Abigail**; quienes me dieron apoyo moral durante mi proceso.

A mi asesor: **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez** por brindarme el proyecto de tesis, su paciencia y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

A los asesores: **Dra. Norma Angélica Ruíz Torres, Dr. José Luis Velasco López** y la **Lic. Úrsula Elva Casar Belmares**, por dedicar su tiempo a la revisión de la tesis.

Al **Ing. Silvestre Villa Elizondo** †, que sin duda alguna fue una gran persona como docente y como amigo, por sus palabras de motivación y experiencia.

A mi familia: abuelos, tíos, primos y amigos que en su momento estuvieron al pendiente de mi persona con su apoyo moral.

A mi otra familia de la universidad: **Luis Gabriel Lázaro: Selene Yazmín, Yulissa Arenas, Marisol Flores, Ángel Velasco, Jazmín Ramírez, Rubén Isaac, Ángel Darío y Daniel Lara**; por brindarme su apoyo incondicional y compañía, la cual disfruté de ellas.

A **Guadalupe Gutiérrez** por darme motivación y apoyo durante este proyecto de tesis.

Dedicatoria

Éste trabajo de tesis va dedicado a todas las personas antes mencionadas que confiaron en mí desde el inicio de mi formación superior, quienes me acompañaron en este trayecto y estuvieron al final de la meta.

Infinitamente agradecido con Dios por ponerme a grandes personas y conocerlas, sus consejos y ánimos para culminar este proyecto.

A ti lector, espero que te sea útil al revisarla.

RESUMEN

En México la producción de maíz es fundamental para la alimentación humana, principalmente de grano blanco; mientras que la producción de grano amarillo es para el sector pecuario.

En el estado de Coahuila principalmente en el sureste se siembran variedades nativas particularmente bajo la modalidad hídrica de temporal. Dentro de esta diversidad existen grupos raciales con frecuencia elevada de grano pigmentado; que, por su adaptación y producción, pueden ser la base de un programa de mejoramiento genético de variedades nativas para producción de grano para la elaboración de alimentos de mejor calidad.

Con el objetivo de seleccionar las poblaciones con mejores características, se evaluaron 73 poblaciones de frecuencia elevada de pigmento amarillo del estado de Coahuila, provenientes de una selección de HC las cuales fueron originadas de las accesiones de la colección del estado resguardadas en el Centro de Semillas Ortodoxas Región Norte, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El ensayo se llevó a cabo en el ciclo P-V del 2019 en dos ambientes contrastantes de las condiciones ambientales y agrícolas del estado de Coahuila: General Cepeda y Buenavista, Saltillo, Coahuila. La evaluación en campo se estableció en un diseño de bloques incompletos con arreglo α -látice (0,1).

Entre localidades se observó diferencia en el rendimiento donde la localidad de Buenavista obtuvo un mayor rendimiento 6.39 t ha^{-1} , destacando: Pool 34 y Pool 18 (Testigo); COAH238 y COAH069 (Tuxpeño Norteño); COAH016 (Ratón); COAH069, COAH177, 2012I182 (Tuxpeño); COAH040 (Olotillo) y COAH075 (Celaya). Mientras que en General Cepeda fue de 5.17 t ha^{-1} , destacando las poblaciones: COAH075 (Celaya), COAH078 y COAH177 (Tuxpeño), Pool 33, SanMarcos2 y Pool18 (Testigo) y COAH226 (Ratón).

Palabras clave: Maíz nativo, Carotenoides, Xantofilas, Nutraceuticos, Selección Familiar.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Objetivos:.....	3
I.2 Hipótesis:.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen y diversificación.....	4
2.2 Situación actual del maíz.....	5
2.3 El maíz en Coahuila.....	7
2.4 Uso y consumo del maíz en México	8
2.5 Uso actual en la producción de tortillas o harinas nixtamalizadas	9
2.6 Importancia de los maíces nativos.....	10
2.7 Composición fitoquímica y compuestos nutraceuticos	11
2.8 Carotenoides	12
2.9 Los carotenoides en maíz.....	13
2.10 Selección	14
2.11 Selección Familiar.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Material Genético.....	16
3.2 Ubicación del sitio experimental	17
3.3 Diseño experimental	17
3.4 Manejo agronómico del experimento.....	18
3.5 Variables evaluadas	18
3.6 Características de la mazorca	20
3.7 Análisis de la información	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Análisis de varianza.....	21
4.2 Comportamiento agronómico de los grupos raciales en las localidades de evaluación	23
4.3 Comportamiento agronómico de los grupos raciales en la localidad de Buenavista.....	24
4.4 Comportamiento agronómico de los grupos en la localidad General Cepeda.....	27
4.5 Poblaciones de maíz sobresalientes en las localidades evaluadas....	29
V. CONCLUSIONES	35
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genotipos evaluados con frecuencia elevada de pigmento amarillo del estado de Coahuila y testigos.	16
Cuadro 2. Coordenadas geográficas de las localidades de evaluación.	17
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en Buenavista, Saltillo y General Cepeda, Coahuila.	22
Cuadro 4. Valores medios de la expresión agronómica de los grupos raciales en Buenavista, Saltillo, Coah.	26
Cuadro 5. Valores medios de la expresión agronómica de los grupos en General Cepeda, Coah.	28
Cuadro 6. Poblaciones sobresalientes para rendimiento de grano evaluadas en Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	30
Cuadro 7. Poblaciones sobresalientes para rendimiento de grano evaluadas en General Cepeda, Coah.	33

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los cereales más importantes y mayormente producidos a nivel mundial es el maíz, con sus múltiples usos: alimenticios, industriales, de producción de biocarburantes, extracción de almidón y de aceite, le han conferido esta importancia (CONABIO, 2020). En México, el maíz es el cereal más cultivado, posee importancia social, económica y cultural, se utiliza para la alimentación humana, ganadera y es materia prima para diferentes procesos industriales (CONABIO, 2020).

La siembra de este cereal ocurre bajo dos condiciones hídricas: en riego, donde los estados que sobresalen por su producción son Sinaloa que establece el 20.55 % de la superficie nacional; y la modalidad de temporal representado por la mayor superficie son los estados: Chiapas (678,381.20 ha), Veracruz (586,657.61 ha) y Jalisco (543,360.70 ha).

La producción de grano está dividida principalmente en blanco y amarillo; el primero para el consumo humano y el amarillo utilizado principalmente para el sector pecuario y procesos industriales. En el año 2021, la producción de maíz grano blanco de los 32 estados de la república, fue de 24,235,821.46 toneladas, cosechadas en 6.7 millones ha; mientras que para maíz amarillo la producción en 23 estados fue de 3,147,058.83 ton, cosechadas en una superficie de 538,072.03 ha (SIAP, 2021).

En el estado de Coahuila, perteneciente a la región Noreste de México, representa el 7.7% de la superficie del territorio nacional, abarcando 151,594.8 km²; es un estado poco importante en la producción agrícola de maíz (Aguirre *et al.*, 2010); sin embargo, cuenta con materiales genéticos adaptados a las condiciones de producción. Entre la diversidad del maíz nativo, se han reportado 8 grupos raciales: Cónico Norteño, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Olotillo, Celaya, Elotes cónicos, Elotes Occidentales y Ratón (Rincón *et al.*, 2010). La mayor superficie de producción de este cereal lo encabeza el sureste de Coahuila con los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo, con participación del 90%.

En México se demandan principalmente dos tipos de maíz: blanco y amarillo, aunque cada vez más se populariza el consumo de maíz pigmentado (CIMMYT, 2019). De acuerdo con la Planeación Agrícola Nacional (2017-2030) el “consumo pecuario” demanda 76% de maíz amarillo, seguido de un 18% para la industria almidonera, 2% para consumo humano, 2% autoconsumo y 2% mermas (SIAP, 2016).

Que, a través del tiempo, las antiguas civilizaciones de México y América Central han utilizado el método tradicional de nixtamalización para procesar el maíz, principalmente de grano blanco y amarillo, sin embargo, en regiones centrales de México se utilizan variedades pigmentadas: rojo, azul, morados y negros, que son ricos en antocianinas, presente en el pericarpio y la capa de aleurona (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

Fernández *et al.* (2013) mencionan que la amplia diversidad culinaria se elabora con maíces nativos, los cuales contienen propiedades y características particulares para los diferentes procesos: contando con características importantes, que lo hacen un alimento de suma importancia para la dieta del hombre, debido a su contenido nutrimental, valor genético, contenido de compuestos fitoquímicos (nutracéuticos): además, las variedades nativas cuentan con un potencial alto de adaptabilidad a localidades y ambientes adversos.

Las variedades de maíz nativo contienen una amplia variabilidad genética de gran importancia donde se pueden conferir pigmentos con propiedades fitoquímicas únicas, principalmente de dos grandes familias asociadas al maíz: antocianinas, de naturaleza fenólica y los carotenoides (carotenos y xantofilas), principalmente de los carotenoides (luteína y zeaxantina), que se encuentran en el endospermo del grano y en pequeñas cantidades del germen, principalmente de granos vítreos (Saldívar *et al.*, 2013). Esta composición química está correlacionada por variables como: factores genéticos y ambientales, prácticas agronómicas que le confieren características en la estructura física y química del grano (FAO, 1993).

I.1 Objetivos:

General

Seleccionar con base al comportamiento agronómico, poblaciones de maíz amarillo nativas de Coahuila, con características destacadas para la producción de grano.

Específicos

Identificar poblaciones de maíz amarillo nativas de Coahuila sobresalientes para la producción de grano, en condiciones ambientales regionales

Seleccionar poblaciones con comportamiento agronómico sobresaliente para diferentes condiciones ambientales.

I.2 Hipótesis:

Las características agronómicas de las poblaciones de diferente origen racial y ecológico, permitirán seleccionar poblaciones con características deseables para continuar con el programa de mejoramiento genético de maíz amarillo, así como identificar las poblaciones estables a través de las localidades y también algunas con características de adaptación a una sola localidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen y diversificación

El origen del maíz es controversial, aún en la actualidad, pues existen diferentes hipótesis que sugieren que su domesticación fue a partir de una región específica con un limitado número de plantas (teoría unicéntrica) y otra indica que pudo haber ocurrido simultáneamente (teoría multicéntrica) en diferentes sitios (Kato *et al.*, 2009). Además, Ascherson en 1895 a finales del siglo XIX propuso la hipótesis de que el teocinte era el ancestro del maíz (Mangelsdorf y Reeves, 1939; Kato *et al.*, 2009).

Las evidencias botánicas de origen arqueológico muestran que el maíz pudo tener su origen en diferentes poblaciones de teocinte hace 8,000 años (teoría multicéntrica; Kato *et al.*, 2009); sin embargo, algunos otros proponen la teoría del evento único (unicéntrica), donde poblaciones de teocinte del río Balsas, ubicadas en el oriente de Michoacán, Edo. México, y norte de Guerrero, dieron origen al maíz.

En México hasta la actualidad se han reportado 59 razas de maíz consideradas nativas y otras 5 descritas de diferentes regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala -Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño) que también se han reportado en el país (Sánchez *et al.*, 2000; CONABIO, 2020). Las razas de maíz en México fueron reportadas inicialmente por Wellhausen *et al.* (1951), quien identificó 25 grupos raciales y diez grupos no definidos; posteriormente con la participación de otros investigadores, se definieron más grupos raciales de maíz: cinco por Hernández y Alanís (1970), diez de Ortega *et al.* (1973, 1979, 1985, 1991), cinco de Benz (1981, 1986) y las cuatro de Sánchez (1989) (Kato *et al.*, 2009).

Goodman y Bird (1977) definieron que existen cerca de 220 razas de maíz en América Latina, por lo que Ortega (2003) estimó que el número de razas de maíz en México puede ser mayor que lo establecido, conforme se vayan haciendo nuevas recolecciones de muestras principalmente en regiones rurales mal comunicadas del país (Kato *et al.*, 2009).

2.2 Situación actual del maíz

A nivel mundial la producción de cereales es fundamental para la alimentación, pues gracias a su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas y su versatilidad en la cocina, de ellos se obtiene la energía necesaria para desarrollar las actividades cotidianas, además de que aportan beneficios a la salud humana (CONABIO, 2022).

Uno de los cereales más importantes y mayormente producidos a nivel mundial es el maíz, pues sus múltiples usos: alimenticios, industriales, de producción de biocarburantes, extracción de almidón y de aceite, le han conferido esta importancia (CONABIO, 2020).

En México, el maíz es el cereal más cultivado, posee importancia social, económica y cultural, se utiliza para la alimentación humana, ganadera y es materia prima para diferentes procesos industriales (CONABIO, 2020). En el país, del total de la superficie agrícola (14.2 millones de ha), 7.3 millones se destinan para la producción de diferentes variedades de este cereal, lo que representa el 51.34 % de superficie nacional agrícola, lo cual demuestra la gran importancia dentro el país (SIAP, 2021).

La siembra de este cereal ocurre bajo dos condiciones hídricas: en riego, donde los estados que sobresalen por su producción son Sinaloa que establece el 20.55 % de la superficie nacional y de donde se obtiene una producción de 5.4 millones de toneladas, seguido de Guanajuato (1.48 millones de toneladas), Chihuahua (1.42 millones de toneladas) y Michoacán (823 mil toneladas) (SIAP, 2022).

Bajo la modalidad de temporal los estados con la mayor superficie son Chiapas (678,381.20 ha), Veracruz (586,657.61 ha) y Jalisco (543,360.70 ha). En esta condición el mayor valor promedio de rendimiento lo obtuvo Jalisco con 6.6 t ha^{-1} , en contraste con el menor que fue el estado de Coahuila (0.45 t ha^{-1}), donde el rendimiento es directamente afectado por la precipitación (332 mm anuales) (CONAGUA, 2021).

La producción de grano está dividida principalmente en blanco y amarillo; el primero para el consumo humano y el amarillo utilizado principalmente para el sector pecuario y procesos industriales. En el año 2021, la producción de maíz grano blanco de los 32 estados de la república, fue de 24,235,821.46 toneladas, cosechadas en 6.7 millones ha, concentrándose la producción en el estado de Sinaloa con participación del 22% a nivel nacional seguido de Jalisco, México, Guanajuato y Michoacán (SIAP, 2021).

El maíz amarillo se produce en 23 estados, a partir de los cuáles se obtiene una producción de 3,147,058.83 ton, cosechadas en una superficie de 538,072.03 ha. Según el SIAP (2021), durante el ciclo agrícola 2021, Chihuahua fue el principal productor, aportando el 70% de la producción bajo condiciones de riego; sin embargo, para la modalidad de temporal, el estado de Jalisco fue el principal productor de este grano, con una aportación del 64% (SIAP, 2021).

2.3 El maíz en Coahuila

Coahuila, un estado de la región Noreste de México, representa el 7.7% de la superficie del territorio nacional, abarcando 151,594.8 km², donde casi la mitad del éste presenta un clima seco y semiseco (49%), otra parte presenta un clima muy seco (46%) y el resto es de clima templado localizado en las partes altas de las sierras del sur: San Antonio y Tampiquillo (INEGI, 2020). Su temperatura media anual es de 18° a 22°C y su precipitación anual es < 300 mm (CONAGUA, 2021).

Coahuila no es un estado importante en la producción agrícola de maíz (Aguirre *et al.*, 2010); sin embargo, cuenta con materiales genéticos adaptados a las condiciones de producción. Entre la diversidad del maíz nativo, aunque reducida comparada con otros estados como Oaxaca (35 grupos raciales), se han reportado 8 grupos raciales: Cónico Norteño, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Olotillo, Celaya, Elotes cónicos, Elotes Occidentales y Ratón (Rincón *et al.*, 2010).

De acuerdo a las estadísticas de producción agrícola, en el estado de Coahuila predomina la modalidad de temporal (86%) y el resto bajo la condición de riego (14%), aunado a esto, sólo los distritos: Acuña, Sabinas, Frontera, Saltillo y Laguna-Coahuila se dedican al sector primario, que en conjunto se sembraron principalmente 44,727.06 ha de maíz; 19,306.86 ha para forraje y 25,420.2 ha para grano (blanco y amarillo); representando el 39.6% del total de su superficie de siembra SIAP (2022).

La mayor superficie de producción de este cereal lo encabeza el sureste de Coahuila con los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo, con participación del 90%. En conjunto siembran alrededor de 22,000 hectáreas bajo temporal, lo que representa el 97% de esta modalidad y consecuentemente se obtienen rendimientos menores a una tonelada (SIAP, 2021).

2.4 Uso y consumo del maíz en México

En México se demandan principalmente dos tipos de maíz: blanco y amarillo, aunque cada vez más se populariza el consumo de maíz pigmentado (CIMMYT, 2019). El maíz en el 2021 obtuvo una participación del 88.2% en producción de granos, lo cual reflejó que el consumo anual per cápita de este grano fuera de 346.4 kg (SIAP, 2022) ya que su consumo cubre el 30% y 40% de proteína y energía, respectivamente, de la dieta de los mexicanos (CIMMYT, 2019). De acuerdo con la Planeación Agrícola Nacional (2017-2030) el “consumo pecuario” demanda 76% de maíz amarillo, seguido de un 18% para la industria almidonera, 2% para consumo humano, 2% autoconsumo y 2% mermas (SIAP, 2016).

La producción nacional de maíz amarillo es deficitaria, principalmente para el sector pecuario a causa de los cambios en patrones de la dieta humana por el consumo de proteína animal, pues al obtener mayores ingresos, la preferencia de consumo de carne, leche y huevo aumenta. Reyes *et al.* (2022) en su análisis definieron que el consumo nacional aparente promedio de maíz amarillo fue de 14 millones de toneladas de 2010 a 2020, cubriendo aproximadamente el 25% del total de requerimiento nacional, lo que implica la importación de maíz de otros países; traducido a cifras, en el año 2021 se obtuvieron 3.14 mil de toneladas, por lo que se importaron 11.3 millones de toneladas de maíz amarillo (Reyes *et al.*, 2022), dejando claro que México importa maíz en grandes cantidades de Estados Unidos de América, quien es el proveedor principal de este grano (CIMMYT, 2019).

Para el caso del maíz blanco, que es destinado principalmente para consumo humano y para la elaboración de algunos platillos, el consumo nacional aparente promedio de 2010 a 2020 fue de 22 millones de toneladas, cubriendo casi su totalidad de la demanda (Reyes *et al.*, 2022). De acuerdo con las cifras, se puede notar que se importan 0.145 millones de toneladas para satisfacer la demanda de maíz blanco.

2.5 Uso actual en la producción de tortillas o harinas nixtamalizadas

A través del tiempo, las antiguas civilizaciones de México y América Central han utilizado el método tradicional de nixtamalización para procesar el maíz, el cual consiste en la cocción del grano (agua con hidróxido de calcio) en recipientes de barro sin alcanzar la ebullición del agua (Rosales, 2014) y elaborar una amplia variación de derivados tales como los atoles, botanas, tamales, tortillas, totopos, etc. (Fernández *et al.*, 2013).

Los maíces que destacan para este proceso son el blanco y amarillo, sin embargo, en regiones centrales de México se utilizan variedades pigmentadas: rojo, azul, morados y negros, que son ricos en antocianinas, presente en el pericarpio y la capa de aleurona (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

Durante el proceso de nixtamalización ocurre una serie de cambios en la estructura del grano, la composición química, propiedades funcionales y valor nutricional (CIMMYT, 2021); el almidón del maíz se pregelatiniza, la proteína se desnaturaliza y el pericarpio se hidroliza (Saldívar, 2013), proporcionando beneficios nutricionales tales como: a) disponibilidad de vitamina B3 (niacina), que reduce el riesgo de padecer pelagra; b) biodisponibilidad de calcio, que se absorbe en el proceso de cocción; c) reducción de micotoxinas (aflatoxinas y fumonisinas); d) disponibilidad de hierro reduciendo el riesgo de anemia (CIMMYT, 2021); sin embargo, también existen cambios negativos y pérdidas de algunos otros compuestos, como los contenidos fenólicos y la capacidad antioxidante (Saldívar *et al.*, 2013).

La nixtamalización no solo ha sido utilizada para la elaboración de tortillas que además de ser fuente indispensable en la alimentación de los mexicanos, proveen un alto contenido de carbohidratos, calcio (Saldívar *et al.*, 2013) y proporciona de 32 a 62 % de los requerimientos mínimos de hierro (Paredes-López *et al.*, 2009; Fernández *et al.*, 2013). El consumo de tortilla es considerado un elemento de seguridad alimentaria de familias de zonas rurales, debido a su consumo que es superior a 217.9 g por día, que en zonas urbanas es de 155.4 g por día (CONEVAL, 2018).

Los análisis muestran que el consumo se ve incrementado por la edad y está asociado con las personas de bajos ingresos (Rodríguez *et al.*, 2008; Espejel-García *et al.*, 2016).

2.6 Importancia de los maíces nativos

Sánchez *et al.* (2000) describe a México como uno de los países centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays L.*), donde se encontraron y clasificaron 59 razas de maíz, que a través de prácticas agrícolas realizada por los pueblos indígenas de México han generado del maíz una amplia diversidad de variedades, pues es sembrado en una gran variación de climas, ambientes, relieves y tipos de suelo (Turrent *et al.*, 2010; Turrent *et al.*, 2012) en donde las poblaciones locales han sido principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma nativo, pues lo seleccionan, producen, conservan, diversifican y domestican al maíz de acuerdo a las necesidades y preferencias de las familias (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009; Turrent *et al.*, 2010; Toledo-Manzur y Barrera-Bassols, 2008; Fernández *et al.*, 2013).

En la clasificación racial, Wellhausen *et al.* (1951) determinaron desde un inicio que cada raza tiene una distribución geográfica específica dentro del país y siguen siendo la fuente de subsistencia de zonas rurales de miles de familias mexicanas (Fernández *et al.*, 2013), donde seleccionan su semilla idónea para el ciclo próximo y donde elaboran sus propios alimentos.

Fernández *et al.* (2013) menciona que la amplia diversidad culinaria se elabora con maíces nativos, los cuales contienen propiedades y características particulares para los diferentes procesos (nixtamalización, reventado, molienda para harinas, fermentación, entre otras) y la calidad necesaria para la preparación de platillos específicos lo cual requiere de operaciones y técnicas sofisticadas.

El maíz cuenta con características importantes, que lo hacen un alimento de suma importancia para la dieta del hombre, debido a su contenido nutrimental, valor genético, contenido de compuestos fitoquímicos (nutracéuticos): xantofilas, tiamina, niacina, fitoesteroles, compuestos fenólicos y fibra

dietética (soluble e insoluble) que contienen actividad antioxidante, contrarrestando radicales libres que causan daño al ADN, reduciendo enfermedades crónico-degenerativas, cáncer y problemas cardiovasculares (Serna-Saldívar *et al.*, 2011; Saldívar *et al.*, 2013).

Además, las variedades nativas cuentan con un potencial alto de adaptabilidad a localidades y ambientes adversos (baja precipitación, altas temperaturas, tipos de suelos, etc.) y en las pequeñas localidades rurales se resalta la posibilidad de hacer un mejor manejo del riesgo agrícola, proporcionando mayores garantías en la producción de alimentos, lo que ha generado un constante interés dentro de los programas de mejoramiento genético, para seleccionar caracteres de interés y formar híbridos para las diferentes regiones (SADER, 2021).

2.7 Composición fitoquímica y compuestos nutraceuticos

Los compuestos fitoquímicos son químicos bioactivos derivados de metabolitos secundarios responsables de las propiedades atribuidas a las plantas, estos son sintetizados como mecanismo de protección o defensa (Alonso *et al.*, 2013) que han sido caracteres adaptativos sujetos a la selección natural (Wink, 2003).

El término nutraceutico fue propuesto por el Dr. Stephen DeFelice en 1989 acuñando las palabras “nutrición” y “farmacéutico”, que puede definirse como un alimento o parte de un alimento que proporciona beneficios a la salud, no siendo precisamente nutrientes, sino, compuestos que ayudan a prevenir y/o disminuir enfermedades o trastornos (Kalra, 2003).

Hay gran variedad de compuestos fitoquímicos (fenoles, antocianinas, esteroides, polifenoles, fitoestrógenos, tocoferoles, ácido fólico, ligninas, saponinas, carotenoides y xantofilas etc.) presentes en frutas y vegetales, similarmente con cereales (Parra, 2006).

2.8 Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos vegetales liposolubles que sintetizan los organismos fotosintéticos como plantas, algas y algunas bacterias (Quintana *et al.*, 2018). Hasta ahora se tienen clasificados alrededor de 600 a 700 carotenoides que varían de color desde amarillos, anaranjados y rojos. Meléndez-Martínez *et al.* (2004b) mencionan que se pueden clasificar en dos tipos, de acuerdo a los grupos funcionales presentes en su estructura básica y composición química, en éste caso, están conformados por ocho unidades de isopreno, que unidos forman los carotenoides (β -caroteno y α -caroteno) y estructuralmente tienen 40 átomos de carbono con un átomo de hidrógeno al final de su forma cíclica (hidrocarbonados) y las xantofilas (luteína, zeaxantina y β -criptoxantina) al final de los 40 átomos de carbono, hay un átomo de oxígeno (oxigenados).

Los carotenoides tienen importancia sobre los organismos fotosintéticos en respuesta de estrés biótico y abiótico debido a que captan la energía lumínica que es transferida a las clorofilas (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004a) además de incidir en la floración (polinización) y reproducción de plantas logrando perpetuar su especie (Kolašinac *et al.*, 2021). La biosíntesis de estos pigmentos se lleva a cabo en los amiloplastos (plastidios) que carecen de clorofila y se forman en los cloroplastos durante la fotosíntesis; son encargados de almacenar los productos de la fotosíntesis en forma de gránulos de almidón (Kirk y Tilney-Bassett, 1978; Wurtzel *et al.*, 2012) pero debido a su insaturación son sensibles al contacto con el oxígeno, metales, luz, temperatura, ácidos y peróxidos (Carranco, 2019).

La mayor concentración de carotenoides se encuentra en las plantas; la mitad en algas en forma de fucoxantina y la otra siguiendo el modelo general de los cloroplastos de plantas superiores yendo de mayor a menor cantidad: luteína, β -caroteno, violaxantina, neoxantina zeaxantina, β -criptoxantina y anteraxantina (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004a).

El color de los carotenoides, junto con propiedades nutraceuticas, ha llamado la atención para las industria alimenticia, cosmética, farmacéutica y nutraceutica, donde se han hecho investigaciones reconociendo los beneficios a la salud por tener actividad antioxidante (Kolašinac *et al.* 2021).

Es por ello que los carotenoides son considerados compuestos nutraceuticos asociados a los alimentos, debido a la presencia de dobles enlaces alternados en la cadena de isoprenos que les permite absorber excesos de energía, por lo cual poseen propiedades antioxidantes; sin embargo, no todos los carotenoides son precursores de la provitamina A y retinol; solo los α y β -carotenos que son precursores, reducen y/o previenen la ceguera total, cáncer y enfermedades cardiovasculares; por otra parte, las xantofilas: luteína, zeaxantina y criptoxantina, previenen la degradación macular del ojo humano, principalmente en adultos mayores (Saldívar *et al.*, 2013).

2.9 Los carotenoides en maíz

El maíz amarillo es rico en carotenos y xantofilas (Serna-Saldívar *et al.*, 1990; Serna-Saldívar, 2009 y Serna-Saldívar, 2013); el grano está formado principalmente de cuatro estructuras; endospermo, germen o embrión, pericarpio o salvado y pedicelo (FAO, 1993), donde la mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo del grano y en pequeñas cantidades del germen, principalmente de granos vítreos, los cuales presentan: luteína y zeaxantina, que son xantofilas asociadas a la prevención de la degeneración de la mácula del ojo, que en personas de edad avanzada produce ceguera (Seddon *et al.*, 1994; Salinas *et al.*, 2008).

Existen múltiples estudios y datos de su composición química y valor nutritivo del maíz para comprender y evaluar las modificaciones genéticas de la cantidad de variedades existentes (FAO, 1993). Esta composición química está correlacionada por variables como: factores genéticos y ambientales, prácticas agronómicas que le confieren características en la estructura física y química del grano (FAO, 1993). Las variedades de maíz nativo contienen una amplia variabilidad genética de gran importancia donde se pueden conferir pigmentos con propiedades fitoquímicas únicas, principalmente de

dos grandes familias asociadas al maíz: antocianinas, de naturaleza fenólica y los carotenoides (carotenos y xantofilas) (Saldívar *et al.*, 2013).

2.10 Selección

En el contexto del mejoramiento, la selección es un proceso donde eligen y transmiten características de generación en generación y los genes no deseados son aparentemente eliminados de una población (Castillo *et al.*, 1991; Caicedo, 2001; Díaz, 2010). Básicamente existen dos tipos de selección: artificial y natural; la primera puede decirse que se contrapone de la segunda. Basada en una presión de selección alta, es decir, se eligen caracteres específicos y se hace la reproducción diferencial de genotipos (que sobresalen del promedio de la población) permitiendo la producción de descendencia con caracteres de interés de los progenitores haciendo que aumente la frecuencia de éstos en cada ciclo (Cubero, 1999).

En cambio, la selección natural es un mecanismo básico de evolución junto con la mutación, la migración y la deriva genética, que por mínima que sea, el individuo se adaptará a las circunstancias que lo rodean, dejando un número mayor de descendientes, es decir, que por efecto del ambiente se activan o desarrollan caracteres (carácter adaptativo) haciéndose más frecuente en la población.

2.11 Selección Familiar

La selección familiar puede realizarse en cualquiera de sus variantes: medios hermanos paternos o maternos (MH), hermanos completos (HC) y de auto hermanos (líneas S1 o S2) (Avendaño, 2009). En lo que contrasta a la selección de HC, Márquez (1985) indica que el método es una unidad de evaluación obtenido de un cruzamiento fraternal planta a planta (PaP) o bien se pueden realizar entre pares de plantas no comprometidas con ninguna otra, por lo que del total de plantas (n), habrá $\frac{1}{2}n$ de cruzas.

Técnica de campo de la selección familiar de HC:

1er. Año. Obtención de familias. Sembrar una muestra masiva de semilla de la Variedad Original.

Realizar 200 cruza PaP utilizando 400 plantas (dos por cruza).

De ser posible hacer la cruza directa y recíproca para contar con suficiente semilla.

2do. Año. Prueba y selección de familias. Establecer experimentos con las 200 familias (plantas de la misma familia por surco) en 3 o 4 localidades con dos repeticiones.

Seleccionar las 20 mejores familias ($p=10\%$) con base en su promedio en las localidades.

3er. Año. Recombinación genética. Hacer un compuesto balanceado de 400 semillas (20 familias x 20 semillas/familia) con semilla remanente de las 20 familias seleccionadas.

Sembrar el CB y volver a realizar 200 cruza PaP para volver a generar otras tantas familias de HC para dar pauta al siguiente ciclo.

Este, básicamente es el método de mejoramiento donde se tiene una ventaja simultánea: formación de estructuras familiares y recombinación, donde teóricamente se tiene un mejor control parental y la respuesta a la selección es de mayor magnitud (Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1988; Ramírez-Díaz et al., 2000); así como la posibilidad de derivar líneas S_1 de las familias evaluadas con propósitos de hibridación (Hoegemeyer y Hallauer, 1976; Ramírez-Díaz et al., 2000). Se pueden traslapar la recombinación con la formación de hermanos completos ahorrando una generación por ciclo, sin embargo, existe una desventaja, que al formar las familias se requiere de polinizaciones controladas, lo que lo hace un proceso costoso.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material Genético

Se evaluaron 73 familias de HC de diferentes poblaciones nativas de maíz amarillo nativo del estado de Coahuila, originadas de las accesiones de la colección del estado resguardadas en el Centro de Semillas Ortodoxas Región Norte, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Los testigos fueron 7 e incluyeron una población del grupo racial Bolita obtenida del estado de Oaxaca considerada como una fuente de pigmentación amarilla y precocidad, cuatro complejos genéticos (POOL 17, 18, 33 y 34) obtenidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), dos poblaciones de amplia base genética para zonas de transición y un híbrido comercial.

Cuadro 1. Genotipos evaluados con frecuencia elevada de pigmento amarillo del estado de Coahuila y testigos.

Grupo racial	Familias de HC
Celaya	7
Cónico Norteño	6
Olotillo	1
Ratón	21
Tuxpeño	26
Tuxpeño Norteño	10
Bolita [†]	2
CIMMYT (POOL 17, 18, 33 y 34) [†]	4
RX715 (Híbrido comercial) [†]	1
2 poblaciones de amplia base genética [†]	2
Total	80

†= testigos

3.2 Ubicación del sitio experimental

El ensayo en campo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano (PV) 2019, en dos localidades representativas de las condiciones ambientales y agrícolas de la región en el Sureste de Coahuila: General Cepeda, Coah. y Campo Experimental “El Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada en Buenavista, Saltillo, Coah. En ambas localidades las evaluaciones se llevaron a cabo bajo condiciones de riego.

Cuadro 2. Coordenadas geográficas de las localidades de evaluación.

Coordenadas geográficas	General Cepeda, Coahuila	“El Bajío”
Latitud Norte	25° 26' 00”	25° 21”
Longitud Oeste	101° 27' 00’	101° 01”
Altitud (msnm)	1457	1750

INEGI (2020)

3.3 Diseño experimental

La evaluación en campo se estableció en un diseño de bloques incompletos con arreglo α -látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones por localidad. El diseño fue elaborado con el software CropStat (IRRI, 2007). La unidad experimental se conformó con un surco de 4 m de largo, donde se depositaron 30 semillas, espaciadas cada una a 20 cm para posteriormente realizar el aclareo y dejar 21 plantas por parcela, la distancia entre surcos fue de 85 cm en ambas localidades.

3.4 Manejo agronómico del experimento

Siembra: La siembra de General Cepeda se realizó en dos fechas y cada repetición se estableció en diferente fecha. Las fechas de siembra fueron los días 16 y 26 de junio del 2019, en suelo seco con riego posterior, y para el “Bajío” en la UAAAN fue 17 de abril, una sola fecha.

Fertilización: Las fuentes de fertilizantes fueron Triple 17 (17-17-17) y Urea (46-00-00), utilizando la dosis de fertilización en ambas localidades de 120N-60P-60K; aplicando el 50% de nitrógeno y el 100% de fósforo y potasio al momento de la siembra; el otro 50% de nitrógeno se aplicó previo al aporque.

Riego: En ambas localidades las evaluaciones se establecieron bajo condiciones de riego; la frecuencia de riegos se definió de acuerdo con las necesidades del cultivo y de las condiciones meteorológicas prevaletientes de cada localidad.

Labores culturales: Se realizó el aclareo, escarda y aporque. La aplicación de insecticidas y herbicidas se realizaron de acuerdo con el desarrollo y necesidades del cultivo en cada localidad de estudio.

3.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas para realizar la evaluación agronómica fueron las siguientes:

Altura de planta (ALPTA) (cm): se obtuvo de una planta promedio con competencia completa en cada repetición, considerando la longitud de la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera.

Días de floración masculina (DFM): se obtuvieron a partir del conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta el 50+1 % de las plantas de la parcela que se encontraban en antesis.

Asincronía floral (ASF): se estimó como la diferencia entre días a floración masculina y días de floración femenina.

Porcentaje de desgrane (DESG): se estimó entre la relación que existe entre el peso del grano y el peso de la mazorca en gramos.

Rendimiento de grano (RTO, en t ha⁻¹ y ajustado a 14 % de humedad): se estimó considerando el porcentaje de desgrane y el peso seco (PS) con un factor de conversión (FC) considerando el siguiente procedimiento:

Para estimar el peso seco (PS) se multiplicó el peso de campo del grano por el contenido de humedad en la unidad experimental:

$$PS = PC \times [1 - (HUM/100)]$$

Posteriormente, el PS fue multiplicado por un factor de conversión (FC) para estimar el rendimiento de grano en t ha⁻¹, al 14% de humedad de la siguiente forma:

$$FC = [100 / 86] \times (10,000 / APU) / 1,000$$

Donde:

Área de la parcela útil (APU), fue determinada mediante un número de plantas por unidad experimental: la distancia entre plantas por distancia entre surcos (21 x 0.20 x 0.85 m); 100 / 86 fue el coeficiente para obtener el rendimiento al 14% de contenido de humedad del grano; 1,000, es un valor constante usado para calcular el rendimiento por ha; y 10,000 es la superficie de una hectárea en m².

3.6 Características de la mazorca

A partir de las mazorcas cosechadas en campo, se tomó una muestra de dos mazorcas representativas de la población con las cuales se realizó la caracterización de la mazorca, mediante las siguientes variables:

Diámetro de mazorca (DMZ): Se midió el diámetro de la parte central de la mazorca en cm.

Longitud de la mazorca (LMZ): Se midió la longitud de la base al ápice en la mazorca en cm.

3.7 Análisis de la información

Con los resultados obtenidos en cada experimento, se realizó un análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental de bloques incompletos en arreglo alfa látice, donde se probaron los efectos de las localidades, genotipos y la interacción correspondiente; mismos que fueron considerados efectos fijos y el resto de los efectos, como aleatorios. En un análisis complementario para los efectos fijos se realizó la prueba de comparación de medias a través de la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

El modelo lineal utilizado para el análisis de la información agronómica se describe en seguida:

$$Y_{ijklm} = \mu + l_i + r_{j(i)} + b_{k(ij)} + g_l + e_{m(l)} + lg_{il} + le_{im(l)} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = variable respuesta; μ = efecto de la media general; l_i = efecto de la i -ésima localidad; r_i = efecto de la j -ésima repetición dentro de la localidad; $b_{k(ij)}$ = efecto del k -ésimo bloque dentro de la j -ésima repetición en la i -ésima localidad; g_l = efecto del l -ésimo grupo; $e_{m(l)}$ = efecto de la m -ésima población dentro del l -ésimo grupo; lg_{il} = efecto de la interacción de la i -ésima localidad por el l -ésimo grupo; $le_{im(l)}$ = efecto de la m -ésima población dentro del l -ésimo grupo por la i -ésima localidad; ε_{ijklm} = error experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza

Acorde al análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre las localidades para la mayoría de las variables, aunque solo significativas ($P \leq 0.05$) para RTO y ALPTA. La variación entre las localidades fue el resultado de la fluctuación de los factores ambientales como la temperatura, humedad, precipitación y la presencia de factores bióticos como las plagas; también el manejo del cultivo genera variación entre grupos y poblaciones.

Entre los grupos raciales (razas), se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la mayoría de las variables agronómicas, excepto para ASF; esto indicó que existe diversidad entre los grupos raciales, lo cual ha permitido separarlos, caracterizarlos, así como determinar sus condiciones de adaptación y adecuadas para la producción.

Para el caso de las poblaciones dentro de cada grupo también mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la mayoría, excepto para ASF. Nájera *et al.* (2010) describió lo anterior como la existencia de diversidad genética dentro de cada grupo racial adaptadas a áreas ecológicas específicas, así como variación de las poblaciones dentro de grupos.

La interacción de localidades x grupos raciales resultó altamente significativa ($P \leq 0.01$) para DFM y DESG, y solo significativa ($P \leq 0.05$) para RTO y ASF, lo que indicó que los grupos responden diferencialmente a los ambientes de evaluación en las características mencionadas. Con respecto a la interacción de las poblaciones dentro de los grupos x localidad, hubo significancia estadística ($P \leq 0.05$) solo para RTO y DESG, esto expresó la respuesta diferenciada de las poblaciones de los grupos raciales a los ambientes de evaluación.

Con el objetivo de identificar las mejores poblaciones, las cuales han estado bajo procesos de selección, la variación que se identificó mediante el ANAVA indicó la posibilidad de seleccionar aquellas poblaciones, dentro de los grupos raciales que presenten mejor capacidad de adaptación a los ambientes de evaluación de forma general, y específica para cada localidad.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en Buenavista, Saltillo y General Cepeda, Coahuila.

		RTO	DFM	ASF	ALPTA	LMZ	DMZ	DESG
FV	GL	t ha⁻¹	d	d	cm	cm	cm	g
Loc	1	24.11 *	4478.39 **	225.98 **	3931.21 *	42.07 **	6.70 **	0.026 **
Rep/Loc	2	0.36	13.06 *	9.78	1074.9 *	2.33	0.32 *	0.002
Bloq/Loc*Rep	14	1.80	9.10 *	4.48	961.06 **	2.14 *	0.07	0.001
Raza	7	10.72 **	485.37 **	3.56	3169.07 **	9.22 **	0.55 **	0.039 **
Pob/Raza	65	4.92 **	45.89 **	3.75	831.36 **	3.17 **	0.14 **	0.007 **
Loc*Raza	7	5.87 *	18.95 **	11.88 *	205.90	0.91	0.06	0.048 **
Pob/Loc*Raza	65	3.3 *	4.53	4.58	323.27	1.51	0.05	0.006 **
Error		1.72	3.65	4.31	264.1	1.14	0.046	0.001
CV %		22.31	2.69	3324.52	8.90	7.59	5.12	4.14

*, **, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; RTO= Rendimiento de grano; DFM= Días de Floración masculina; ASF= Asincronía Floral; ALPTA= Altura de Planta; LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; DESG= porcentaje de desgrane; HIL= Número de hileras; GHIL= Granos por hilera; y CV= Coeficiente de Variación.

4.2 Comportamiento agronómico de los grupos raciales en las localidades de evaluación

En la comparación de medias entre localidades (Cuadro 4 y 5) pudo observarse el contraste en la expresión agronómica; en la localidad Buenavista se obtuvo un mayor rendimiento (6.39 t ha^{-1}) en comparación con General Cepeda (5.17 t ha^{-1}); en la floración, en General Cepeda el promedio fue de 63.76 días y en Buenavista fue de 74.65 días, es decir, una diferencia de 10 días. Esto indicó que una localidad con condiciones adversas provoca que los ciclos sean más cortos (precoces) y repercutiendo directamente en el rendimiento de grano.

El porcentaje de desgrane (DESG) fue afectado por la localidad, Buenavista presentó un 5% superior a General Cepeda; esto reflejó que el grano de la mazorca bajo condiciones de estrés fue de menor tamaño. La ASF mostró que significancia entre localidades, sin embargo, 1.21 días se consideró dentro del intervalo aceptable, aunque lo deseable es que las floraciones masculina y femenina estén sincronizadas. La ALPTA mostró una diferencia entre localidades de 14.63 cm con base a la media; la diferencia en la altura de la planta se asoció a la precocidad provocada por el ambiente de la localidad, y que repercute en la producción de biomasa y finalmente en el rendimiento de grano.

De igual manera, para la características longitud de mazorca y diámetro, las medias indicaron ser superiores en la localidad de Buenavista, aunque en longitud y diámetro. Los resultados entre localidades mostraron que la localidad de General Cepeda limitó las características agronómicas de las poblaciones, afectando los diferentes componentes de la planta y de la mazorca, lo cual se reflejó directamente en el rendimiento de grano.

4.3 Comportamiento agronómico de los grupos raciales en la localidad de Buenavista

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 4), la prueba de medias no mostró diferencias en la variable rendimiento entre los grupos raciales en Buenavista, Saltillo, esto se asoció a que el manejo agrícola de los genotipos se llevó a cabo de manera adecuada para la producción, razón por la cual los grupos expresaron su mejor potencial y esto limitó la discriminación entre grupos.

En el caso de la floración se observaron ciclos precoces como Bolita (56.5 días) e intermedios para Olotillo (70.5 días), Tuxpeño (78.63), Tuxpeño Norteño (75.2) y Ratón (76.91 días), que, salvo Bolita, el resto mostró un ciclo intermedio (70-80 dds). Los días a floración se asociaron con los orígenes genéticos y ecológicos, donde cada grupo racial tiene un nicho ecológico particular y ha sido seleccionado con propósitos específicos de los productores.

En el porcentaje de desgrane la variación fue de 80 a 85 %, donde no hubo diferencias estadísticas dentro del valor máximo, sin embargo, de los grupos que pudieron diferenciarse fue Olotillo, con el mayor porcentaje de desgrane, que mostró una de sus características distintivas, un olote de diámetro reducido. En el caso de la asincronía floral esta fue desde -1 hasta 2.21 días, y aunque no hubo diferencias entre los grupos raciales solo en Celaya estuvo por encima de lo deseable.

Para el caso de altura de planta (ALPTA), la variación fue de 159 cm a 223 cm, siendo Bolita y Celaya los valores extremos, correspondientemente. En cada caso, la altura se consideró adecuada para las condiciones regionales y acorde al ciclo del cultivo.

De acuerdo con Nájera *et al.* (2010), los grupos Ratón, Tuxpeño Norteño, tienen adaptación altitudinal de baja (0-1000) a intermedia (1001-1800), con base en esto se concluye que los grupos se expresaron en base a su origen y pudieran ser adaptados a diferentes ambientes donde cada población representa una variabilidad genética que serviría para determinar su valor y aprovechamiento.

Para la característica longitud de mazorca, la variación fue de 15.51 a 13.38 correspondiente a Tuxpeño Norteño y Bolita; aunque la mayoría presentó ser estadísticamente iguales, a excepción del grupo Olotillo, es decir, fue la mazorca de menor diámetro, aunque por su origen racial posee un olote delgado, por lo cual presenta un porcentaje de desgrane regularmente alto; el grupo Tuxpeño Norteño presentó las mazorcas más largas; y Tuxpeño Norteño, Celaya y Bolita, las mazorcas de mayor diámetro; Entre las dimensiones de la mazorca, considerando longitud y diámetro, el grupo racial que destacado fue Tuxpeño Norteño.

Cuadro 4. Valores medios de la expresión agronómica de los grupos raciales en Buenavista, Saltillo, Coah.

GRUPO RACIAL	RTO		DFM		DESG		ASF		ALPTA		LMZ		DMZ	
	t ha ⁻¹		d		%		d		cm		cm		cm	
Bolita	5.58	a	56.50	f	85	a	1.00	a	159.00	c	13.38	b	4.55	a
Celaya	5.94	a	84.71	a	84	a	2.21	a	223.64	a	13.84	ab	4.51	a
Olotillo	7.65	a	70.50	e	85	a	-1.00	a	178.00	bc	14.70	ab	4.05	b
Ratón	5.56	a	76.91	cd	84	ab	-0.06	a	176.32	bc	14.40	ab	4.26	ab
Test	6.78	a	73.78	de	84	ab	1.05	a	192.25	bc	15.65	a	4.52	ab
Tuxpeño Norteño	6.26	a	75.20	cd	84	ab	1.40	a	197.55	ab	15.51	a	4.62	a
Tuxpeño	6.28	a	78.63	bc	83	ab	2.04	a	193.58	abc	14.64	ab	4.39	ab
Media	6.39		74.65		0.84		1.21		189.48		14.68		4.43	
DMS	2.816		4.401		0.043		5.345		35.349		1.924		0.441	

RTO= Rendimiento; DFM= Días de Floración masculina; DESG= porcentaje de desgrane; ASF= Asincronía Floral; ALPTA; Altura de Planta; LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; HIL= Hileras de mazorca; GHIL= Granos por hilera; DMS= Diferencia Significativa Mínima. Test = Testigos.

4.4 Comportamiento agronómico de los grupos en la localidad General Cepeda

En General Cepeda (Cuadro 5) a diferencia de Buenavista, se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos raciales para el rendimiento de grano, los grupos Celaya, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Ratón y los Testigos fueron estadísticamente superiores. Los grupos destacados por el mayor rendimiento demostraron ser aquellos que mejor se adaptan a la localidad de evaluación y esto se relacionó con su origen ecológico; en sentido inverso, el grupo racial Bolita fue aquel que menor rendimiento mostró y por lo tanto menor adaptación, aunque se considera una buena fuente de precocidad.

La floración masculina mostró una variación de 72 a 51 días, donde Celaya y Bolita fueron los valores extremos; sin embargo, como ya se mencionó anteriormente predominó un ciclo precoz con respecto a la localidad de Buenavista.

En el porcentaje de desgrane no hubo diferencias significativas, por lo que fue estadísticamente igual para la mayoría de los grupos, sin embargo, el grupo Bolita mostró el menor porcentaje de desgrane. En cuanto la asincronía floral el valor mínimo fue de -1.62 del grupo Tuxpeño. La sincronía floral es indispensable en el desarrollo de la planta, para la fecundación, desarrollo de la mazorca y formación del grano (Noriega *et al.*, 2011), aunque en este caso se consideró dentro de los límites deseables.

Para la altura de planta la variación fue de 155.25 cm a 210.86 cm, Bolita presentó la menor altura y Celaya la mayor. La altura de la planta fue menor en General Cepeda que en Buenavista, además de la diferencia en los días a floración; la altura de planta fue reducida por la precocidad y ambas características fueron definidas por el efecto ambiental, estos resultados mostraron las condicionantes del ambiente para la producción de maíz, además, para la longitud de la mazorca no mostró diferencias estadísticas entre los grupos y para el diámetro de la mazorca, solo Olotillo mostró valores estadísticos inferiores, es decir, la longitud fue estadísticamente igual mientras que Olotillo mostró el menor diámetro.

Cuadro 5. Valores medios de la expresión agronómica de los grupos en General Cepeda, Coah.

GRUPO RACIAL	RTO		DFM		DESG		ASF		ALPTA		LMZ		DMZ		
	t	ha ⁻¹	d		%		d		cm		cm		cm		
Bolita	2.30		d	51.00	f	42	b	0.00	a	155.25	cd	12.63	a	4.30	a
Celaya	7.24	a		72.00	a	86	a	-1.14	a b	210.86	a	13.21	a	4.05	a
Olotillo	3.35		cd	60.50	e	87	a	-0.50	a b	159.50	bcd	12.90	a	3.40	b
Ratón	5.72	abc		65.08	cd	85	a	-1.11	a b	173.07	bcd	13.70	a	3.97	a
Test	6.48	a		62.83	de	85	a	-1.18	a b	186.08	b	14.21	a	4.12	a
Tuxpeño Norteño	6.19	ab		63.55	d	83	a	-1.20	a b	181.65	bc	13.96	a	4.04	a
Tuxpeño	5.82	ab		66.63	bc	84	a	-1.62	b c	183.56	b	13.75	a	3.97	a
Media	5.17			63.76		79		-1.22		174.75		13.54		4.00	
DMS	2.123			2.655		0.82		1.611		25.640		2.143		0.375	

RTO= Rendimiento; DFM= Días de Floración masculina; DESG= porcentaje de desgrane; ASF= Asincronía Floral; ALPTA; Altura de Planta; LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; HIL= Hilera de mazorca; GHIL= Granos por hilera; DMS= Diferencia Significativa Mínima. Test = Testigos.

4.5 Poblaciones de maíz sobresalientes en las localidades evaluadas

En los Cuadros 6 y 7 se muestran las 20 poblaciones con el mayor rendimiento de grano en cada localidad.

En Buenavista, se encontró un valor máximo de 10.2 t ha⁻¹ y un mínimo de 2.1 t ha⁻¹, habiendo diferencia de 8.1 t ha⁻¹, donde destacaron dos poblaciones con más de 8 t ha⁻¹, Pool34 (Testigo) y COAH238 del grupo Tuxpeño Norteño; en seguida 15 poblaciones con rendimiento superior a 7 t ha⁻¹, destacando las poblaciones: COAH016 y COAH077 (Ratón); COAH215, COAH177 y COAH182 (Tuxpeño); COAH069 (Tuxpeño Norteño); Pool 18 y SanMarcos1 (Testigo); COAH075 (Celaya); COAH040 (Olotillo). Finalmente, las poblaciones con rendimiento < 7 t ha⁻¹, fueron de los grupos COAH089 (Tuxpeño), COAH075 (Celaya) y COAH238 (Ratón).

De acuerdo con Nájera *et al.* (2010), la respuesta de las poblaciones, dentro de los grupos por localidad, puede ser útil para identificar las poblaciones con mejor adaptación específica en los ambientes evaluados y poder elegir características deseables que pudieran implementarse en un programa de mejoramiento, para las condiciones del sureste de Coahuila.

En cuanto a DFM, las poblaciones superiores a la media y con un ciclo intermedio (80-90 días) fueron las poblaciones: COAH238 (Tuxpeño Norteño), COAH016 (Ratón), COAH068, COAH215, COAH177 y COAH089 (Tuxpeño) y COAH075 (Celaya); sin embargo, de las mismas poblaciones, algunas mostraron ASF (días después), las cuales fueron: COAH238 (Tuxpeño Norteño), COAH215 y COAH177 (Tuxpeño) y COAH075 (Celaya).

En el DESG solo ocho mostraron superioridad, considerándose las poblaciones: COAH016, COAH077 (Ratón); COAH177 y COAH215 (Tuxpeño); COAH069 (Tuxpeño Norteño); SanMarcos1 y COAH075 (Testigo) y COAH040 (Olotillo).

Para ALPTA, existió variación, el valor inferior fue de 121 cm y el mayor de 247.5 cm, representando una media de 186.98 cm. Básicamente sólo ocho poblaciones obtuvieron valores superiores a la media: COAH238, COAH069 (Tuxpeño norteño); COAH016 (Ratón); COAH068, COAH177 y COAH182 (Tuxpeño); COAH075 (Celaya) y SanMarcos1 (Testigo).

Cuadro 6. Poblaciones sobresalientes para rendimiento de grano evaluadas en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Raza	Población	RTO	DFM	DESG	ASF	ALPTA	LMZ	DMZ
		t ha ⁻¹	días	%	días	cm	cm	cm
Test	Pool34	10.2 **	76.5	82	0.0	175.0	14.6	4.6 **
TuxNort	COAH238	8.6 **	82.0 **	80	3.5 **	196.5 **	14.2	4.9 **
Ratón	COAH016	8.0 **	77.5 **	88 **	1.0	208.5 **	14.9 **	4.2
TuxNort	COAH069	7.9 **	76.0	85 **	0.5	197.5 **	15.2 **	4.5 **
Tuxpeño	COAH215	7.9 **	80.0 **	79	3.0 **	182.5	14.5	4.7 **
Test	Pool 18	7.8 **	68.0	81	1.5	180.0	14.9 **	4.4
Tuxpeño	COAH177	7.8 **	76.0	85 **	1.5	180.0	14.3	4.2
Tuxpeño	COAH177	7.8 **	77.5 **	83	2.0 **	206.5 **	15.7 **	4.5 **
Olotillo	COAH040	7.7 **	70.5	85 **	-1.0	178.0	14.7	4.1
Celaya	COAH075	7.7 **	80.0 **	83	3.0 **	216.5 **	12.6	4.7 **
Tuxpeño	COAH182	7.7 **	76.5	83	1.5	188.0	15.1 **	4.4
Test	SanMarcos1	7.4 **	75.5	84 **	0.5	217.5 **	15.3 **	4.6 **
Tuxpeño	COAH182	7.2 **	76.5	79	1.0	205.5 **	15.8 **	4.1
Ratón	COAH077	7.1 **	74.5	85 **	0.5	188.0	13.1	4.2
Tuxpeño	COAH215	7.1 **	78.0 **	86 **	1.5	171.5	13.8	4.3
Tuxpeño	COAH215	7.1 **	77.0	80	1.0	181.0	13.8	4.2
Tuxpeño	COAH068	7.1 **	81.0 **	80	3.0 **	195.5 **	15.3 **	4.5 **
Tuxpeño	COAH089	6.8 **	81.5 **	83	1.0	184.0	15.0 **	4.1
Celaya	COAH075	6.8 **	89.5 **	84 **	3.0 **	179.0	13.1	4.5 **
Ratón	COAH238	6.8 **	74.5	78	1.5	133.0	14.7	4.5 **
	Media	6.1	76.8	83	1.5	187.0	14.6	4.4
	Mayor	10.2	92.0	90	4.0	247.5	18.0	5.0
	Menor	2.1	55.5	75	-3.0	121.0	10.9	3.9

RTO= Rendimiento; DFM= Días de Floración masculina; DESG= porcentaje de desgrane; ASF= Asincronía Floral; ALPTA; Altura de Planta; LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; HIL= Hileras de mazorca; GHIL= Granos por hilera. Test =Testigos.

Para las características de LMZ, hubo poblaciones sobresalientes como: COAH016 (Ratón); COAH068, COAH177, COAH182 (Tuxpeño); COAH069 (Tuxpeño Norteño); Pool 18 y SanMarcos1 (Testigo). Así como para DMZ, dónde sobresalen las poblaciones de los grupos: COAH238 (Ratón); COAH068, COAH177, COAH215 (Tuxpeño); COAH069 y COAH238 (Tuxpeño Norteño); SanMarcos1 y Pool 34 (Testigo) y COAH075 (Celaya), con valores superiores a la media.

Finalmente, con base en los resultados las poblaciones sobresalientes con mejores características fueron las poblaciones: Pool 34 y Pool 18 (Testigo); COAH238 y COAH069 (Tuxpeño Norteño); COAH016 (Ratón); COAH069, COAH177, 20121182 (Tuxpeño); COAH040 (Olotillo) y COAH075 (Celaya). Lo que indica que dichas poblaciones mostraron una respuesta de adaptación a dicho ambiente y podrían ser utilizadas en un programa de mejoramiento para calidad de grano.

Para la localidad General Cepeda, hubo un valor superior de 10.2 t ha⁻¹ para la población COAH075 (Celaya) y un inferior de 1.3 t ha⁻¹ COAH223 (Ratón) para el rendimiento; de las 20 poblaciones, ocho destacaron en rendimiento > 8 t ha⁻¹: COAH075 (Celaya), COAH078 y COAH177 (Tuxpeño), Pool 33, SanMarcos2 y Pool 18 (Testigo) y COAH226 (Ratón), sin embargo, el resto osciló entre los 7-8 t ha⁻¹, lo que indica que mostraron tendencia a ser más estables en contraste con la localidad de Buenavista.

Para el DESG, se obtuvieron ocho poblaciones superiores al 85% de desgrane, siendo: COAH075 (Celaya), COAH078, COAH083, COAH177 y COAH213 (Tuxpeño), SanMarcos2 (Testigo) y Ratón (COAH016 y COAH077).

Los DFM mostraron precocidad en las poblaciones evaluadas (< 80 días); COAH075 (Celaya); COAH078, COAH083 y COAH213 (Tuxpeño); Pool 33 (Testigo); COAH226 y COAH016 (Ratón); COAH238 (Tuxpeño norteño). Como lo menciona Barrales *et al.*, (1984; citado por Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010), los maíces precoces generalmente alcanzan a evadir los periodos de deficiencias de agua, lo que los hace una buena fuente de características para mejoramiento.

En cuanto ASF hubo floración días antes, con un máximo de 0.5 (días) y un mínimo de -3.5 (días), sobre las poblaciones: COAH075 (Celaya); COAH177 y COAH215 (Tuxpeño); Pool 33, SanMarcos2 y Pool18 (Testigo); COAH016 (Ratón) y COAH178 (Tuxpeño Norteño). Correlacionando ambas características, Vargas *et al.* (2014) describen que los días de floración son influenciados por el ambiente en función de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura, debido al origen ecológico y su diversidad, por lo que materiales de origen tropical o templado reducen su floración en lugares cálidos y a menor temperatura aumentan los días de floración.

La ALPTA es importante tanto para las actividades de manejo, como de polinización, es decir, para facilitar la dispersión del polen hacia el jilote de la hembra, se recomienda que sean plantas altas (Vargas *et al.*, 2014); particularmente las poblaciones ideales que cuentan con dicha característica con valor superior a 200 cm son: COAH075 (Celaya); COAH078 y COAH213 (Tuxpeño); SanMarcos2 (Testigo).

Para LMZ, las poblaciones que mostraron ser sobresalientes estadísticamente superaron los 14 cm de longitud; COAH075 (Celaya); COAH078, 20121177, COAH083 y COAH215 (Tuxpeño); Pool 33, SanMarcos2 y Pool 34 (Testigo); COAH226 y COAH016 (Ratón) y COAH238 (Tuxpeño Norteño).

Cuadro 7. Poblaciones sobresalientes para rendimiento de grano evaluadas en General Cepeda, Coah.

Raza	Población	RTO t ha ⁻¹	DESG g	DFM días	ASF días	ALPTA cm	LMZ cm	DMZ cm
Celaya	COAH075	10.2	** 88	** 69.0	** -1.5	** 222.0	** 13.4	4.1 **
Tuxpeño	COAH078	9.1	** 87	** 69.5	** -1.0	208.0 **	15.2 **	3.8
Tuxpeño	COAH177	8.9	** 89	** 64.5	-1.5 **	181.5	14.9 **	4.3 **
Test	Pool 33	8.8	** 83	71.5 **	-1.5 **	176.5	15.3 **	4.3 **
Ratón	COAH226	8.7	** 83	66.5 **	-1.0	185.5 **	14.1 **	4.2 **
Test	SanMarcos2	8.6	** 86	** 65.0	-1.5 **	207.0 **	14.4 **	4.1 **
Test	Pool18	8.0	** 84	61.5	-1.5 **	166.0	12.7	4.0
Celaya	COAH075	8.0	** 88	** 70.0	** 0.0	230.5 **	14.4 **	3.9
Ratón	COAH016	7.75	** 86	** 66.5	** -1.0	189.0 **	14.3 **	4.1 **
Ratón	COAH016	7.6	** 88	** 64.5	-1.0	196.5 **	15.1 **	4.0
Ratón	COAH016	7.5	** 87	** 65.0	-1.5 **	180.0	14.4 **	4.1 **
TuxNort	COAH238	7.5	** 82	67.5 **	-1.0	183.5 **	14.1 **	4.3 **
Tuxpeño	COAH213	7.4	** 82	66.5 **	0.0	187.5 **	12.5	4.3 **
Celaya	COAH075	7.3	** 85	** 73.5	** -0.5	220.5 **	13.6	4.0
TuxNort	COAH178	7.3	** 84	63.5	-1.5 **	171.5	13.3	3.8
Test	Pool34	7.3	** 83	65.0	-1.0	169.5	14.1 **	4.2 **
Ratón	COAH077	7.1	** 85	** 64.5	-1.0	172.0	13.7	4.0
Tuxpeño	COAH083	7.1	** 86	** 67.5	** -1.0	168.5	14.4 **	3.6
Tuxpeño	COAH213	7.0	** 89	** 68.0	** -1.0	218.5 **	13.1	4.1 **
Tuxpeño	COAH215	7.0	** 82	64.5	-2.0 **	177.0	14.2 **	4.0
Media		5.7	83	65.3	-1.3	177.9	13.6	4.0
Máximo		10.2	90	78.0	0.5	230.5	15.3	4.6
Mínimo		1.3	0	50	-3.5	132	9.6	3.4

RTO= Rendimiento; DFM= Días de Floración masculina; DESG= porcentaje de desgrane; ASF= Asincronía Floral; ALPTA; Altura de Planta; LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; HIL= Hileras de mazorca; GHIL= Granos por hilera.

Finalmente, para la característica DMZ, algunas poblaciones comparten misma superioridad estadística, con un valor > 4 cm, donde destacan: COAH075 (Celaya); COAH177 y COAH213 (Tuxpeño); Pool 33, SanMarcos2 y Pool 34 (Testigo); COAH226 y COAH016 (Ratón) y COAH238 (Tuxpeño Norteño).

Con base en los resultados, las poblaciones sobresalientes evaluadas en la localidad de General Cepeda son: COAH075 (Celaya), COAH078, COAH177 (Tuxpeño), Pool 33, SanMarcos2, Pool 18 (Testigo), y COAH226 (Ratón), las cuales se pueden considerar competentes para adaptación y producción de grano para la zona del sureste de Coahuila, donde principalmente se siembran variedades nativas.

Comparando las poblaciones dentro de las localidades, se obtuvo mejor respuesta en la localidad de Buenavista, pudiendo atribuirse a factores ambientales (precipitación, altitud y temperatura) y de manejo, sin embargo, en la localidad General Cepeda, la diferencia en rendimiento fue de 0.4 t ha^{-1} , contrastando que los ambientes presentan diferencias ambientales.

V. CONCLUSIONES

La diversidad genética de las poblaciones evaluadas, al igual que los ambientes a los que se sometieron a prueba, influyeron en la expresión de las características, por lo que se puede afirmar que existe variabilidad dentro de los grupos raciales, lo que puede ser aprovechado para producción de grano amarillo para el sureste de Coahuila.

En cuanto a las poblaciones sobresalientes en ambas localidades, para la localidad de Buenavista destacaron: Pool 34 (Testigo) y COAH238 (Tuxpeño Norteño); mientras que para General Cepeda fueron: COAH075 (Celaya), COAH078, COAH177 (Tuxpeño), Pool 33, SanMarcos2, Pool18 (Testigo) y COAH226 (Ratón). Las cuales pueden ser fuente de variación para un programa de mejoramiento genético del rendimiento y de calidad de grano.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso T., M.G., Ibarra M., C.M., y Martínez D., S.M. (2013). Estudio fitoquímico de plantas medicinales propias del estado de Querétaro. Memorias del verano de la ciencia. Consulta: marzo 8, 2023. Disponible en línea. <https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2008/10VeranoRegionCentro/34UAZAlonsoTorresIbarraMartinez.pdf>
- Aguirre M. V. J., Rincón S. F., Ramírez R., Colón O. G., & Razo M. G. (2011). Modelo para la conservación de maíces criollos en el Sureste de Coahuila, México. Ed. UAAAN-COLPOS-SINAREFI.
- Avendaño S. M. C. (2009). Selección Familiar en una Población C0 de Maíz Amarillo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah.
- Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres, E., López, P. A., & López-Romero, G. (2010). Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 287-296.
- Barreto H. J., Edmeades, G. O., Chapman, S. C., & Crossa, J. (1997). The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: generation and analysis. *In: Proc Symp. On Developing Drought-and Low N-Tolerant Maize*. O. Edmeades G., M Bänzinger, R. Mickelson H., C.B. Peña-Valdivia (eds). El Batán, México, March 25-29. CIMMYT. México, D.F. pp:544-551.
- Carranco J. M. E., Calvo C.M., & Pérez-Gil, R. F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 61(3), 233-241.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2019. Maíz para México-Plan Estratégico 2030. Consulta: enero 21, 2023. Disponible en línea. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/20219/60937.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2021. ¿Qué es la nixtamalización? Consulta: febrero 28, 2023. Disponible en línea. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-nixtamalizacion/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2020. Razas de maíz en México. Consulta: junio 17, 2022. Disponible en línea.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2022. Qué nos aportan los maíces. Consulta: febrero 24, 2023. Disponible en línea. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_maices

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2021. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Consulta: febrero 13, 2023. Disponible en línea. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Consulta del valor de las líneas de bienestar (CONEVAL). 2018. Evolución de la canasta alimentaria. Consulta: marzo 7, 2023. Disponible en línea. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>

Cubero Salmerón, J. I. Introducción a la Mejora genética Vegetal. 3ª Edición. Barcelona-España. Ediciones Mundi-prensa 2013.

De La Parra, S.C. (2006). Efecto de la nixtamalización de cinco tipos de maíces coloreados sobre el perfil fitoquímico, capacidad antioxidante y absorción de Carotenoides en Células Caco 2. Tesis maestría. Tecnológico de Monterrey. México 62p.

Díaz M. A. E. (2010). Primer ciclo de selección de 162 familias de medios hermanos de maíz negro y 120 de maíz Chulpi (*Zea mays L.*) de la sierra Ecuatoriana, en Tunshi, Parroquia Licto, provincia de Chimborazo. Tesis de licenciatura. Riobamba, Ecuador. 81p.

Espejel-García, M. V., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., Pérez-Elizalde, S., & García-Mata, R. (2016). Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. Agricultura, sociedad y desarrollo, 13(3), 371-384.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1993. El maíz en la nutrición humana. Consulta: febrero 14, 2023. Disponible en línea. <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>

Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional, una revisión indispensable. Rev. Fitotec. Mex. 36:275-283.

- INEGI. (2020). Topografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en línea. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- IRRI. (2007). CropStat for Windows 7.2.2007.3 1998-2007. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.
- Kalra E. K. (2003). Nutraceutical-definition and introduction. *AAPS PharmSci*, 5(3), 27–28. DOI:10.1208/ps050325
- Kato T.A., Mapes S. C., Mera O. L.M., Serratos H., J.A, Bye B., R.A. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pp.
- Khamkoh W., Ketthaisong, D., Lomthaisong, K., Lertrat, K., & Suriharn, B. (2019). Recurrent selection method for improvement of lutein and zeaxanthin in orange waxy corn populations. *Australian Journal of Crop Science*, 13(4), 566-573.
- Kolašinac S. M., Stevanović, Z., P. D., Kilibarda, S. N., & Kostić, A. Ž. (2021). Carotenoids: New applications of “old” pigments. *Phyton*, 90(4), 1041.
- Meléndez M. A. J., Vicario, I. M., & Heredia F. J. (2004a). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 149-155.
- Meléndez M. A. J., Vicario I. M., & Heredia F. J. (2004b). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Nájera C. L. A., Rincón S. F., Ruíz T. N. A., y Castillo G. F. (2010). Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4):31-36
- Naqvi S., Zhu C., Farre G., Ramessar K., Bassie L., Breitenbach J. & Christou P. (2009). Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(19), 7762-7767.
- Noriega G. L. A., Preciado O. R. E., Andrio E. E., Terrón I. A. D., & Covarrubias P. J. (2011). Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 489-500.

- Paredes-López, O., Guevara-Lara F., Bello-Pérez L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92-93:60-70.
- Quintana L. A., Hurtado O. M. A, Hernández C. y Palacios M. E. (2018). Carotenoides ¿Qué son y para qué se usan? *Rev. Ciencia*. 69; (4), 50-55
- Ramírez-Díaz, J. L., Ron-Parra, J., de Jesús Sánchez-González J., & Chuela-Bonaparte, M. (2000). Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-CE. *Agrociencia*, 34(1), 33-40.
- Reyes S. E., Bautista M.F., García S. J A. (2022). Análisis del Mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta Universitaria*. 32, 3265.
- Rodríguez-Amaya D. B. (1990). Provitamin A Determination Problems and Possible Solutions. *Food and Nutrition Bulletin*. 12(3):1-6.
- Rodríguez G. M. E., Serna S. O., y Sánchez S. F. (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla: aspectos nutrimentales y toxicológicos. México, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. 313 p.
- Rodríguez V. M., Soengas P., Landa A., Ordás, A. & Revilla, P. (2013). Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphyca*, 193(3), 339-345.
- Rodríguez P. G., Zavala G. F., Gutiérrez D. A., Treviño R. J. E., Ojeda Z. M. C., & Mendoza E. M. (2016). Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. *Phyton* (Buenos Aires), 85(2), 194-202.
- Rosales N. A. (2014). Efecto del proceso de Nixtamalización sobre el contenido de carotenoides en diferentes híbridos de maíz. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México 114 p.
- Sánchez, F. R., González, F. C., & Torres, R. N. A. (Eds.). (2010). Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI, Chapingo, México. 116p.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo (SADER). (2021). La riqueza de México es el maíz. Gobierno de México. Consulta: febrero 16, 2023. Disponible en línea <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-riqueza-de-mexico-es-el-maiz>
- Salinas M. Y., Saavedra A. S., Soria R. J., Espinosa T. E. (2008). Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México*. 34(3), 357-364.

- Serna-Saldívar, S. O., Gómez M. H., Rooney L. W. (1990). Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. *Advances in Cereal Sci. & Technology*. Y Pomeranz (ed). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Vol. X. pp: 245-265.
- Serna-Saldívar, S. O. (2009). Research developments in the science, technology and nutritional value of maize-based nixtamalized foods. In: *The ICC Book of Ethnic Cereal-Based Foods Across the Continents*. J. Taylor, R Cracknell (eds). Published by the University of Pretoria, Pretoria, South Africa. pp:133-163.
- Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe J. A., Mora-Rochin S., y García-Lara S. (2013). *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36, 295-304.
- Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). 2022. Balanza disponibilidad-consumo. Maíz amarillo. Consulta enero 20, 2023. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729354/Balanza_disponibilidad_consumo_mayo22.pdf línea.
- Vargas J. V., Zepeda B. R., Ávila P. M. A., Espinosa C. A., Arellano V. J. L., Gámez V. A. J. (2014). Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana* 25: 323-335 pp.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts y E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. (1951). Razas de maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico N° 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaria de Agricultura y Ganadería. México. 237 p.
- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64 (1), 3–19. DOI:10.1016/s0031-9422(03)00300-5.
- Wurtzel E. T., Cuttriss A., & Vallabhaneni R. (2012). Maize provitamin A carotenoids, current resources, and future metabolic engineering challenges. *Frontiers in Plant Science*, 3, 29.
- Young, A. J., & Lowe, G. M. (2001). Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385(1), 20–27. doi:10.1006/abbi.2000.2149