

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Caracterización Agronómica De Poblaciones De Maíz Nativo Pigmentado Del  
Estado De Coahuila, México

Por:

**FRANCISCA JUÁREZ LORENZO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Caracterización Agronómica De Poblaciones De Maíz Nativo Pigmentado Del  
Estado De Coahuila, México

Por:

**FRANCISCA JUÁREZ LORENZO**

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

Dr. Froylán Rincón Sánchez  
Coasesor

Dra. Norma Angélica Ruíz Torres  
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021



## AGRADECIMIENTOS

A mis **Padres** por confiar en mí y por darme la oportunidad de poder estudiar, gracias a ustedes hoy estoy concluyendo un logro más y pido a Dios que me permita estar siempre con ustedes. Gracias mamá, gracias papá.

A mi hermano **Cruz** por el apoyo económico que me brindo durante mi formación como profesional, que a pesar de las diferencias siempre estuvo en los tiempos más difíciles durante mi carrera, gracias.

A la **Ing. Brenda Mariana León Ambrosio** por ser tan incondicional en el tiempo que nos conocemos, estoy tan agradecida porque has sido la persona que ha estado en las buenas y en las malas, gracias.

A mi asesor, **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez** gracias por la paciencia, consejos y conocimientos que me compartió durante la elaboración del proyecto de tesis.

A la **Dra. Norma Angélica Ruíz Torres** y al **Dr. Froylán Rincón Sánchez**, agradezco las enseñanzas que me compartieron y que siempre tengo presente.

A mis amigos **Dana, Jehu, Selene, Gregorio, Ernesto y Karla** gracias por su amistad, por los buenos y malos ratos que compartimos durante la carrera, por esas locuras que vivimos y solo recuerdos maravillosos quedan, gracias hermanos.

A doña **Elisa Alonso** por la confianza y amistad que me brindo durante todo este tiempo.

A mis **tíos y primos** que siempre me animaron a luchar por mis sueños

A mi tía **Karla** que me apoyo en las decisiones que tome para salir adelante, que siempre me aconsejo para luchar por mis sueños y que durante mi adolescencia tuve una gran amiga.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a las siguientes personas que han formado parte de mi vida y ocupan un espacio en mi corazón, porque siempre estuvieron a mi lado en cada paso que daba y en cada tropiezo, me dieron las fuerzas y los ánimos de seguir adelante. Gracias a Dios por permitirme conocer a personas maravillosas y que, gracias a sus consejos, hoy soy una persona de bien.

A mis **padres** que a pesar de las dificultades que pase durante este tiempo siempre estuvieron ahí.

A la **Ing. Brenda Mariana León Ambrosio** por ser esa persona especial que siempre ha estado a mi lado, en las buenas y en las malas, por esos días que eran difíciles y siempre logramos salir adelante, por tu comprensión y cariño que me has brindado.

A mis sobrinos **Leslie, José, María Guadalupe** y **Jesús** por sus risas, amor que me llenan de felicidad y alegría, ya que son la razón y el motivo de mis esfuerzos, siempre estaré para ustedes.

Al **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez** que me dio la oportunidad y la confianza para realizar el proyecto de tesis, consejos que nunca faltaron en cada platica y que valoro mucho.

A mi tío **Joel** por haber sido la primera persona de la familia en confiar en mí, el apoyo que me brindo mientras la vida se lo permitió, al iniciar mi carrera profesional. Te quiero mucho tío Carrillo, Dios te tenga en su gloria.

## RESUMEN

En el estado de Coahuila, la diversidad del maíz nativo se encuentra agrupada a través de ocho grupos raciales: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño y Elotes Occidentales. Entre esta diversidad existen variantes de maíces pigmentados o con frecuencia elevada de grano pigmentado; estas poblaciones, por su adaptación a las condiciones de producción regional pueden ser la base del mejoramiento genético de variedades para la producción de grano con contenidos bioactivos nutricionales adecuados para la elaboración de alimentos de calidad. Con el objetivo de seleccionar aquellas poblaciones de mayor potencial genético se realizó la caracterización agronómica de las poblaciones de maíz nativo pigmentado antociano (azul y rojo). La evaluación agronómica se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2019, bajo un diseño experimental de bloques incompletos con arreglo  $\alpha$ -látice (0,1) en dos ambientes contrastantes: General Cepeda, Coahuila y El Mezquite, Galeana, Nuevo León. En la valoración se emplearon 25 poblaciones de maíz nativo del estado de Coahuila y 5 poblaciones pigmentadas de diferente origen; las poblaciones pertenecen a tres diferentes grupos de adaptación: Intermedio (1001-1800 msnm), Transición (1801-2000 msnm) y Altura (>2000 msnm). Entre localidades, hubo mayor expresión de rendimiento (83 %) en El Mezquite comparado con la expresión en General Cepeda, debido a las condiciones ambientales contrastantes. Entre los grupos de adaptación, el grupo Intermedio respondió de manera consistente a través de los cambios ambientales mientras que los de Transición y Altura mostraron cambios en su respuesta a través de las localidades. Las poblaciones que mostraron estabilidad del rendimiento fueron: UAN203, UAN023 (Ratón) y UAN021 (Elotes Occidentales) de origen altitudinal Intermedio. En El Mezquite sobresalieron UAN188, UAN191 y UAN311 (Cónico Norteño), y UAN011 (Ratón) de Altura; UAN246 (Elotes Cónicos), UAN1019 (Elotes Occidentales) y UAN227 (Ratón) de origen Intermedio, y de Transición UAN017 (Cónico Norteño) y UAN019 (Ratón). En General Cepeda destacó UAN031 (Tuxpeño Norteño), UAN025 (Ratón) y UAN002 (Elotes Cónicos) de origen altitudinal Intermedio y de Transición respectivamente. Entre la diversidad

del maíz nativo de Coahuila con presencia de pigmentación antociana existe amplia variación genética, asociada con el origen racial y de adaptación de las poblaciones, entre la cual destacaron algunas colectas que por su rendimiento de grano y adaptación a las condiciones ambientales de evaluación se consideraron sobresalientes y estas pueden ser la fuente de diversidad para iniciar un programa de mejoramiento para rendimiento y calidad del grano.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Origen, domesticación y diversificación del maíz .....	5
2.2 Situación actual del maíz.....	6
2.3 Producción agrícola en el estado de Coahuila.....	7
2.4 El maíz pigmentado en México .....	8
2.5 Las razas del maíz nativo del estado de Coahuila .....	11
2.5.1 Cónico Norteño .....	11
2.5.2 Ratón .....	12
2.5.3 Tuxpeño Norteño .....	12
2.5.4 Elotes Cónicos.....	13
2.5.5 Elotes Occidentales .....	13
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 Material genético.....	15
3.2 Ubicación del sitio experimental .....	16
3.3 Diseño experimental .....	16
3.4 Manejo del experimento .....	17
3.5 Variables evaluadas.....	17
3.6 Características de la mazorca.....	18
3.7 Análisis de la información.....	19
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
4.1 Análisis de varianza .....	20

<b>4.2 Comportamiento agronómico en las localidades y grupos de adaptación</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Poblaciones de maíz nativo pigmentado sobresalientes</b> .....	<b>25</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>29</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>30</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Grupo racial y área de adaptación de 30 poblaciones de maíz nativo con frecuencia elevada de pigmento del estado de Coahuila y testigos, empleadas en la evaluación. ....	15
<b>Cuadro 2.</b> Coordenadas geográficas y climáticas de las localidades de evaluación, 2019. ....	16
<b>Cuadro 3.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de poblaciones nativas pigmentadas evaluadas bajo condiciones ambientales contrastantes en General Cepeda, Coahuila y El Mezquite Galena Nuevo León. ....	21
<b>Cuadro 4.</b> Valores medios de la expresión agronómica por grupo de adaptación en cada localidad de evaluación. ....	23
<b>Cuadro 5.</b> Valores medios de las características agronómicas de las poblaciones nativas pigmentadas en cada grupo racial evaluadas en El Mezquite, N. L. ....	26
<b>Cuadro 6.</b> Valores medios de las características agronómicas de las poblaciones nativas pigmentadas en cada grupo racial evaluadas en General Cepeda, Coah. ....	27

## I. INTRODUCCIÓN

En México, dada su ubicación geográfica y su diverso relieve, es posible encontrar una amplia variedad de ecosistemas, mismos que han sido nicho de una extensa diversidad de especies vegetales de utilidad para el hombre (CONABIO, 2020). El maíz, una de las especies más importantes en México, dado el número de razas, su amplia variación y distribución, encontró su origen y diversificación en esta región geográfica (Kato *et al.*, 2009).

Hoy en día, el maíz es una de las principales fuentes de alimentación para la humanidad. El grano, en México, a diferencia de los principales productores de este a nivel mundial, se emplea para consumo humano, y se produce en una amplia variedad de condiciones ambientales y agrícolas (SIAP, 2018).

El cultivo se establece bajo dos modalidades hídricas: riego (20 %) y temporal (80 %); la producción en condiciones de riego ocurre principalmente en los estados del Norte del país (SIAP, 2018). La producción bajo condiciones de temporal, según el SIAP (2018), ocurre en prácticamente cada estado del país.

En la producción de maíz bajo condiciones de riego, la adopción de semilla mejorada, ha mostrado mejoras en el rendimiento; sin embargo, para condiciones de temporal, las poblaciones nativas han sido el único recurso disponible y viable para los pequeños productores y campesinos, principalmente en áreas donde este es errático y la humedad es restrictiva para la producción.

Los productores quienes han seleccionado sus poblaciones de acuerdo a sus necesidades y destino de la producción, han demostrado que estos maíces presentan menor riesgo agrícola, dada la adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad ante la variabilidad climática, uso de menor cantidad de insumos para la producción y aptitud para la elaboración de las preparaciones culinarias tradicionales (Fernández *et al.*, 2013). En cuanto a recursos fitogenéticos, es bajo estas condiciones y bajo el resguardo de los pequeños

productores y campesinos donde se encuentra la amplia diversidad del maíz en México.

Ante la “modernización” y los intereses económicos de la industria alimentaria, la sociedad ha adoptado una dieta rica en alimentos procesados. Esta modificación alimenticia, además de provocar efectos negativos en la salud, debido al consumo frecuente de grasas saturadas, azúcares y sal, ha promovido el desuso de los maíces nativos (CEDRSSA, 2019; Gálvez-Mariscal y Bourges-Rodríguez, 2012); no obstante, estos poseen una gran diversidad genética y potencial para producir alimentos nutrimentalmente valiosos y funcionales (Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

Entre las poblaciones de maíz nativo, existen aquellas con variación en el color del grano: amarillo, naranja, rojo, rosa, azul, morado, negro y café, y sus variantes dentro de los mismos; según Ortega (1985), los maíces pigmentados están presentes en 41 razas, ya sea por el color en el grano o bien por la presencia de antocianinas en hojas, tallo y mazorca. Entre las poblaciones pigmentadas también existe variación en sus pigmentos, los cuales les confieren propiedades fitoquímicas únicas (Serna-Saldívar *et al.*, 2013). Entre los pigmentos asociados a maíz, existen principalmente dos grandes grupos: las antocianinas y los carotenoides. Los maíces con carotenoides se establecen ampliamente alrededor del mundo, como fuente principal de alimento animal.

Los maíces azul, morado, rojo y negro poseen actividad antioxidante derivada de la síntesis de antocianinas (Ruiz *et al.*, 2008; Mora-Rochin *et al.*, 2010; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012); por lo tanto, además de ser colorantes inocuos para el consumo humano, son de amplio interés para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (Salinas-Moreno *et al.*, 2012).

Actualmente, dada la necesidad de mejorar la calidad de la salud humana, las propiedades bioactivas nutrimentales de los maíces pigmentados (carotenoides y antocianinas) han despertado el interés científico.

El estado de Coahuila, en el contexto nacional, no es considerado un estado productor agrícola importante; sin embargo, según el SIAP (2020), los maíces para grano se establecieron 30,400 ha, de las cuales el 85 % se establecieron bajo condiciones de temporal (25,800 ha), y de esta superficie el 95 % se concentra en cinco municipios del sureste del estado: Saltillo, General Cepeda, Arteaga, Parras y Ramos Arizpe. La producción de maíz se lleva a cabo con poblaciones nativas, mismas que han sido adaptadas a las restrictivas condiciones de producción prevalecientes; sin embargo, una de las amenazas para este sistema de producción y por lo tanto para los recursos fitogenéticos, además del factor climático, es la avanzada edad de los productores (57 años) y la escasa participación de los jóvenes en el sistema de producción. (Rincón *et al.*, 2010),

En el estado de Coahuila, de acuerdo con Rincón *et al.* (2010), la diversidad de las poblaciones nativas se encontró agrupada a través de siete grupos raciales: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño; adicionalmente en colectas posteriores se encontró representada la raza Elotes Occidentales (Wellhausen *et al.*, 1951).

De acuerdo con el catálogo de los maíces nativos de Coahuila (Rincón *et al.*, 2010) en las colectas resguardadas en el Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas, Región Norte, del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, existen accesiones con variantes de maíces pigmentados o con frecuencia elevada de grano pigmentado; estas poblaciones, por su adaptación a las condiciones de producción regional pueden ser la base del mejoramiento genético de variedades para la producción de grano con contenidos bioactivos nutricionales adecuados para la elaboración de alimentos de calidad.

## **1.1 Objetivo General**

Caracterizar el comportamiento agronómico de poblaciones de maíz nativo de Coahuila, con frecuencia elevada de grano pigmentado por antocianinas.

## **1.2 Hipótesis**

Dadas las diferencias entre las poblaciones pigmentadas de maíz nativo, asociadas con el origen racial y de adaptación, la expresión de las características agronómicas será diferenciada entre las mismas, y a través de la respuesta ambiental.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen, domesticación y diversificación del maíz

El maíz es la forma cultivada del género *Zea*, y a México se le considera como centro de origen, domesticación y diversificación de la especie; la diversidad de la misma puede apreciarse tanto en las diferentes formas y tamaños de las mazorcas como en la variedad de texturas y colores de sus granos (CONABIO, 2020). En México se tienen documentadas 59 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000), resultado de una práctica ancestral de mejoramiento y el proceso de adaptación específica a los distintos microambientes del país.

El origen del maíz fue controvertido desde sus inicios a finales del siglo XIX, cuando Archerson (1985), propuso que la planta de teocintle era el ancestro del maíz. En la actualidad, la teoría multicéntrica del origen del maíz parece explicar adecuadamente el origen de la amplia variación racial y su distribución geográfica existente en México. Esta teoría considera una relación directa entre la riqueza racial de un territorio y su aportación de los germoplasmas primigenios.

La teoría fue propuesta por Kato *et al.* (2009), quien con base en la constitución de los nudos cromosómicos de los maíces y teocintles de América consideró que el maíz fue originado y domesticado en varias regiones entre México y Guatemala (Mesoamérica), es decir, que el maíz tuvo un inicio multicéntrico, determinando cinco centros de diversificación que fueron definidos junto con los de domesticación: 1) Mesa Central de México, que dio origen al Complejo Mesa Central; 2) región de altura media de Morelos, México, Guerrero y sus alrededores, que originó el Complejo Pepitilla; 3) la región Centro-Norte de Oaxaca, que origino el Complejo Tuxpeño; 4) el territorio entre Oaxaca y Chiapas de donde resulta el Complejo Zapalote y 5) la región alta de Guatemala, del cual surgió el Complejo Altos de Guatemala (Kato, 1984, 2005).

## 2.2 Situación actual del maíz

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México dada la superficie, producción y valor económico generado (SIAP, 2020); es una de las principales fuentes de alimento, principalmente en forma de tortillas y se estima un consumo promedio anual *per cápita* de 335.8 kg; provee 38.8 % de las proteínas y 45.2 % de las calorías diarias necesarias, especialmente en la población rural (Fernández *et al.*, 2013).

Según el SIAP (2020), en el año 2020, se establecieron de maíz 7.4 millones de hectáreas que representaron el 41.4 % de la superficie nacional agrícola establecida, seguida de frijol (9.3 %) y sorgo para grano (8.2 %); esto demostró la importancia de la especie sobre el resto de los cultivos.

La superficie establecida con maíz ocurre bajo dos condiciones hídricas; en 2020, según el SIAP (2020), 20.1 % se estableció bajo condiciones de riego y el resto en condiciones de temporal; Chiapas, Veracruz y Jalisco son los estados con superficies superiores a las 500 mil ha establecidas bajo la modalidad de secano, de entre los cuales Jalisco muestra el mayor rendimiento ( $6.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Sonora fue el estado con menor superficie establecida bajo esta modalidad hídrica (1639 ha), aunque el 75 % fue siniestrado; Durango, Coahuila y Aguascalientes fueron los estados con mejor rendimiento ( $<0.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) a nivel nacional, deficiencia que se asoció con la escasa precipitación anual ( $< 500 \text{ mm}$ ).

De la superficie establecida bajo temporal, el 65 % se cultiva con maíces nativos (Guadarrama *et al.*, 2014), los cuales tienen una amplia adaptación a condiciones agroclimáticas específicas y, por lo tanto, son la única opción disponible para el productor para las condiciones de producción adversas.

De acuerdo con las cifras del SIAP (2020), México ocupa el octavo lugar como productor mundial con una producción de 27.2 millones de toneladas; esta producción, se concentra en grano blanco (86 %) y amarillo (13.5 %), aunque cada vez más se promueven los maíces para especialidades (Keleman y Hellin, 2013),

principalmente nativos; la producción satisface las necesidades de maíz blanco y solo el 24 % del consumo de maíz amarillo, el cual se usa principalmente en la alimentación animal (77.2 %) y elaboración de productos industriales (16.3 %) (SIAP, 2020).

La producción de maíces para especialidades incluye los de color azul, negro, rojo, morado, etc., el pozolero, el palomero, entre otros. Por sus características culinarias como el color, sabor y textura son muy apreciados por los consumidores para la elaboración de varios platillos típicos (Hellin *et al.*, 2013). Por la superficie sembrada y producción obtenida, destaca el Estado de México (11,086 ha) y Chiapas (8,019 ha) (SIAP, 2018); no obstante, los maíces pigmentados son frecuentes en cada localidad donde se establece maíz nativo.

Las cifras del SIAP sugieren la producción anual de 50 mil t de grano de las variedades de especialidad; no obstante, el mercado comúnmente es local, solo aceptado por pequeñas empresas, principalmente del sector informal, para la elaboración de tortillas o “antojitos” elaborados con maíz (Keleman y Hellin, 2013); sin embargo, los mercados especializados existentes son un fuerte incentivo para que los productores sigan estableciendo sus maíces especiales.

### **2.3 Producción agrícola en el estado de Coahuila**

El estado de Coahuila de Zaragoza está ubicado dentro de la región Norte de México; su extensión territorial representa 7.7 % del área total del país, donde la mitad de este territorio (49 %) presenta un clima seco, el 46 % muy seco y el restante 5 %, muestra un clima templado subhúmedo en las áreas serranas de la entidad; la temperatura media anual varía entre 18 y 20 °C; las lluvias son escasas y se presentan durante el verano, acumulando apenas 316 mm en 2019 (INEGI, 2020).

Coahuila no es considerado un estado productor agropecuario importante, debido a la escasa producción asociada a su clima predominantemente adverso y a la baja aptitud agrícola de sus suelos (SIAP, 2018).

De la superficie estatal agrícola, el 16% de la producción corresponde a cultivos básicos como el maíz, frijol y trigo. En el caso de maíz, de acuerdo con el SIAP (2020), en el ciclo agrícola 2020, en el estado de Coahuila se establecieron 46,816 ha; de las cuales 25,110 ha se establecieron para grano y 21,706 ha para forraje. Del maíz para grano más del 86 % (21,536 ha) se establece en condiciones de temporal y el resto bajo riego; el 81 % del forraje se estableció bajo condiciones de riego y principalmente en la región Laguna.

La producción de maíz para grano ocurre principalmente en el Sureste del estado bajo condiciones de temporal y se establece principalmente con maíces nativos; los municipios con mayor superficie sembrada de la región bajo temporal fueron Saltillo (12,260 ha), General Cepeda (4,150 ha), Arteaga (4,044 ha), Parras (3,000 ha) y Ramos Arizpe (2,041 ha). De acuerdo con Aguirre *et al.* (2009), la siembra de maíz constituía una de las principales actividades productivas y contribuía con el 22 % del ingreso total familiar, donde la producción se destina al autoconsumo humano y a la alimentación del ganado.

## **2.4 El maíz pigmentado en México**

El maíz forma parte del patrimonio biológico y cultural de México. Las variantes de grano de color, los llamados maíces pigmentados, continúan sembrándose en México con poblaciones nativas en las diferentes regiones agroecológicas del país. Los colores predominantes en las poblaciones son el blanco y amarillo, mientras que el azul, rojo y los pintos no son tan frecuentes. Este comportamiento está relacionado con la mayor demanda del grano blanco en el mercado, mientras que los demás colores comúnmente se destinan al autoconsumo (Brush y Perales, 2007).

En la planta de maíz, las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, que abarcan desde tallo, vainas, hojas e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en las brácteas, el raquis, y desde luego en el grano. Las antocianinas del grano de maíz se concentran en el pericarpio, capa de aleurona, o en ambas estructuras. De acuerdo a esta localización se pueden determinar los diferentes

usos del grano; cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para la extracción de pigmentos. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados (Salinas-Moreno *et al.*, 2003).

Los granos con pigmento en el pericarpio no son adecuados para la nixtamalización porque con las condiciones de pH alcalino y temperatura elevada que caracterizan este proceso, las antocianinas son degradadas (Brouillard, 1982), y adquieren un color café pardo, que se hereda a la masa y productos elaborados con ella (Salinas *et al.*, 1999; Salinas-Moreno *et al.*, 2003).

En México existe una gran diversidad de variedades de maíz azul, las cuales corresponden a varias razas. También existe variabilidad en tamaño, densidad y dureza del grano, así como en su composición química. Estas variables, están definidas por el factor genético, pero también dependen de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo, así como la interacción entre estos factores.

En diferentes regiones de México se cultivan poblaciones nativas de maíz azul; en Valles Altos de la Mesa Central, predomina el maíz azul de la raza Chalqueño, para riego, y Cónico para temporal, mientras que en el noroeste es la raza Tabloncillo.

Un aspecto muy importante a considerar en el incremento de la productividad de los maíces de grano azul es que, si el consumo de estos no crece de manera paralela o más que la oferta, el precio será igual o quizá menor que el blanco. La industria que procesa este grano para la elaboración de harinas nixtamalizadas está interesada en los híbridos de maíz azul por las ventajas que se tienen al procesar un grano con características consistentes, pero no por el beneficio que pudiera representar al productor al tener mayores rendimientos, ya que los industriales están más interesados en tener el maíz azul al mismo precio que el blanco o amarillo.

En cuanto a los rendimientos por hectárea que se pueden obtener en cultivos de maíz azul, hay discrepancias; existen datos para zonas sin riego donde se obtienen rendimientos que van de 1.02 a 3.36 t ha<sup>-1</sup> (Johnson y Jha, 1993); sin embargo, se ha probado que el rendimiento de grano de variedades de maíz azul raza Chalqueño varía de 2.9 a 5.4 t ha<sup>-1</sup> (Antonio *et al.*, 2004). Arellano *et al.* (2003), reportaron rendimientos de maíces azules que varían de 5.6 a 6.6 t ha<sup>-1</sup> donde la floración femenina varía entre 103 y 109 días, que las ubica como variedades de tipo intermedio a tardío. También reportaron que algunas variedades de maíz azul de la raza Cónico Norteño, Gordo y Bolita, presentaron rendimientos menores (2.7 t ha<sup>-1</sup>).

El potencial productivo de las razas de maíz azul ha sido poco evaluado; sin embargo, es importante mencionar los altos rendimientos que se pueden alcanzar, sólo cuando las condiciones de cultivo sean las mejores. Rendimiento de hasta 10.5 t ha<sup>-1</sup> se ha detectado en maíces azules de raza Chalqueño (Arellano *et al.*, 2003).

En los Valles Altos de la Mesa Central de México se han localizado maíces azules con floración masculina y femenina precoz (Espinosa-Trujillo *et al.*, 2006). Los días a floración masculina y femenina de las poblaciones nativas azules de la Mesa Central de México varía de 104 a 110 días (Arellano *et al.*, 2003; Herrera-Cabrera *et al.*, 2004). Las variedades azules derivadas de la raza Chalqueño tienen una floración más precoz, entre 80 y 90 días (Antonio *et al.*, 2004).

Las características agronómicas que varían dentro de los maíces azules son: días a floración masculina y femenina, número de hileras por mazorca, largo y ancho del grano (Espinosa-Trujillo *et al.*, 2006). De acuerdo con Antonio *et al.* (2004) existe una notoria variación genética en el intervalo entre floración masculina y femenina que va de 4.4 días a 8 días. Arellano *et al.* (2003) determinaron que las variedades de maíz azul son sensibles a condiciones de sequía y temperatura distintas a su lugar de origen.

## **2.5 Las razas del maíz nativo del estado de Coahuila**

La diversidad y distribución de los maíces nativos de Coahuila (Rincón *et al.*, 2010), el estudio más actualizado y completo para el estado sobre maíz nativo, mostró que la especie se encuentra representada por ocho grupos raciales: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Elotes Occidentales; siendo los más importantes, por su presencia en diferentes áreas ecológicas: Cónico Norteño, Ratón y Tuxpeño Norteño, aunque el resto de los grupos raciales constituyen un componente genético importante para la producción de cada región ecológica.

La diversidad del maíz nativo de Coahuila procede de 70 localidades, asociadas a 23 municipios del estado; las poblaciones representativas se encontraron en una variación altitudinal desde 248 a los 2557 msnm, resguardadas por 75 agricultores. Las poblaciones dado el origen ecológico se agruparon mediante la altitud de procedencia: Baja (0-1000), Intermedia (1001-1800), Transición (1801-2000) y de Altura (más de 2000) (Rincón *et al.*, 2010).

Las razas en las cuales se encontraron poblaciones con frecuencia alta de grano pigmentado fueron las siguientes:

### **2.5.1 Cónico Norteño**

La raza se considera una variante de la raza Cónico adaptada a la zona templada semiárida del norte del país; se distribuye ecológicamente en áreas con altitudes de más de 2,000 msnm (Sánchez, 2011). El grupo Cónico es uno de los más característicos y endémicos de México (Anderson, 1946; Sánchez *et al.*, 2000) y representa la base de la producción en zonas agrícolas del centro del país, donde el grano se destina a una diversidad de usos alimenticios. Sus características de adaptación lo han convertido en el único material disponible para las condiciones de limitada precipitación y temperaturas extremas de la región mencionada (Avendaño *et al.*, 2005; Ortega, 1977; CONABIO, 2010). Algunas variantes de esta raza (Zacatecas 58, Zacatecas 218) han sido utilizadas para el desarrollo de

variedades resistentes a sequía, y en general para el mejoramiento de materiales para la región templada semiárida.

La presencia de la raza se reporta desde el Norte de Guanajuato hasta el Sur de Chihuahua, abarcando áreas agrícolas de Zacatecas, Durango y Aguascalientes y extendiéndose a zonas del Norte de San Luis Potosí, Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León (CONABIO, 2011; Ortega, 1977; Rincón *et al.*, 2010, CONABIO, 2010; Wellhausen *et al.*, 1951).

### **2.5.2 Ratón**

La raza se considera de maduración temprana con adaptación a clima subtropical y en zonas semidesérticas con áreas de temporal y riego; se cultiva en un amplio rango altitudinal. Predomina el color blanco, aunque existe variación de coloraciones (CONABIO, 2010; CONABIO, 2011; Ortega, 1985a). Las variantes de la raza se consideran de amplio potencial para el mejoramiento genético de la tolerancia a altas temperaturas, para la formación de ideotipos de porte bajo, precoces y para siembras en alta densidad (Gámez *et al.*, 1996; Ortega, 1985a; CONABIO, 2010).

Las poblaciones de la raza se distribuyen en la región semiárida de la Altiplanicie Mexicana y se cultiva en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí y recientemente reportada en áreas de Veracruz, Guerrero y Morelos (CONABIO, 2011; Sánchez, 2011).

La capacidad de adaptación ante condiciones de baja precipitación y su precocidad han convertido a esta raza en una importante fuente de genes para desarrollo de materiales y para su cultivo en zonas susceptibles a las variaciones climáticas (Muñoz, 2003; Ortega, 1985; CONABIO, 2010).

### **2.5.3 Tuxpeño Norteño**

La raza presenta similitudes con el Tuxpeño, aunque de ciclo menor, con distribución predominante en el Norte-Centro del país (Ortega 1985a). Adaptada a

regiones subtropicales bajo condiciones de secano y en condiciones de riego, en los estados de Durango, San Luis Potosí, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Ortega, 1985a; CONABIO, 2011).

Con frecuencia presenta poblaciones con muy buenas características agronómicas y alta capacidad de producción, particularmente en el centro de Tamaulipas, de donde se dispersaron a otras áreas a través de los primeros maíces mejorados para esas regiones; recientemente está siendo desplazado en gran parte por híbridos comerciales (Ortega, 1985a; CONABIO, 2010).

#### **2.5.4 Elotes Cónicos**

Se cultiva principalmente en la Mesa Central: Estado de México, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y partes altas y frías de Veracruz y en la Mixteca de Oaxaca, a alturas de 1,700 a 3,000 msnm (Aragón *et al.*, 2006; Hernández 2010; Wellhausen *et al.*, 1951).

Por sus características de color y textura de grano es muy apreciada para elotes ya que son más dulces y blandos que otros maíces de la raza Cónico con los cuales coincide en su distribución. Tiene alto potencial por su alta producción de pigmentos. En la región centro del país está aumentando el uso de estos maíces de color para ofrecer tortillas o antojitos como signos de calidad (CONABIO. 2010; Wellhausen *et al.*, 1951). Los colores pintos son una manifestación del efecto de xenia por la presencia de maíces vecinos de diferente color (Kato *et al.*, 2009).

#### **2.5.5 Elotes Occidentales**

Este grupo incluye razas cultivadas en elevaciones bajas e intermedias, desde los Valles Centrales de Oaxaca, Centro de México, pero se concentran en el occidente y se extienden hacia las planicies y cañadas del Noroeste de México.

Se distribuye principalmente en el occidente del país, en Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guanajuato, y se han obtenido colectas en el Centro-Norte del país, en Zacatecas y San Luis Potosí, y en el Centro y Sur, en los estados de Morelos,

Puebla, Guerrero y Oaxaca (CONABIO, 2011; Ron *et al.*, 2006; Wellhausen *et al.*, 1951), entre los 1,000 a 1,600 msnm (Ron *et al.*, 2006), y se ha reportado alrededor de los 2,000 msnm (CONABIO, 2011).

Por sus mazorcas y granos grandes y harinosos y de sabor dulce, es destinada para usos especiales (Ron *et al.*, 2006). La mayoría de las variantes son de ciclo corto, sembrada tanto en verano como en invierno para surtir de elote y grano para pozole a las ciudades cercanas (CONABIO, 2010).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

El material genético evaluado consistió en 25 poblaciones pigmentadas de maíz nativo adaptadas a las condiciones del estado de Coahuila, y cinco poblaciones pigmentadas de diferente origen; las poblaciones nativas pertenecen a la colección del estado resguardadas en el Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Región Norte, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las cuales fueron clasificadas en cinco grupos raciales y dos testigos. En el Cuadro 1, se describe el origen ecológico y racial de las poblaciones.

**Cuadro 1.** Grupo racial y área de adaptación de 30 poblaciones de maíz nativo con frecuencia elevada de pigmento del estado de Coahuila y testigos.

Clasificación racial	Grupos de adaptación			Total
	Intermedio (1001-1800)	Transición (1801-2000)	Altura (>2001)	
Cónico Norteño	1	3	7	11
Elotes Cónicos	3	1	1	5
Elotes Occidentales	2			2
Ratón	4	1	1	6
Tuxpeño Norteño	1			1
Cónico †			3	3
Peruano †			2	2
Total	11	5	14	30

†= Testigo y Peruano= Se considera como población exótica.

### 3.2 Ubicación del sitio experimental

La evaluación agronómica de las 30 poblaciones se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano (PV) 2019, en dos localidades contrastantes representativas de las condiciones ambientales y agrícolas de la región en el sureste del estado de Coahuila: El Mezquite, municipio de Galeana, Nuevo León, ubicada a 10 km de los límites de Saltillo, Coah., y General Cepeda, Coah. La evaluación se condujo bajo condiciones de riego. La ubicación geográfica y climática de cada localidad se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Coordenadas geográficas y climáticas de las localidades de evaluación, 2019.

Coordenadas geográficas	General Cepeda,	El Mezquite, Galena,
	Coahuila	Nuevo León
Latitud Norte	25° 26' 00''	25° 05' 22''
Longitud Oeste	101° 27' 00''	100° 42' 31''
Altitud (msnm)	1457	1910
Temperatura media anual	19.5 °C	19 °C
Precipitación	316 mm	393 mm

INEGI (2020)

### 3.3 Diseño experimental

Para la caracterización agronómica se establecieron dos experimentos, uno en cada localidad. La evaluación en campo se estableció empleando un diseño experimental de bloques incompletos con arreglo  $\alpha$ -látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones por localidad. El diseño fue generado con el software CropStat (IRRI, 2007). La unidad experimental estuvo constituida por un surco de cuatro metros de largo, donde se sembraron 30 semillas espaciadas a una distancia de 20 cm entre plantas, para posteriormente aclarear y dejar 21 plantas por parcela, la distancia entre surcos fue de 0.85 m en ambas localidades.

### **3.4 Manejo del experimento**

**3.4.1 Siembra:** La siembra en cada localidad se estableció en fechas diferentes; en El Mezquite fue los días 21 de mayo y 1 de junio; en General Cepeda fue los días 16 y 26 junio del 2019. En la localidad de El Mezquite se sembró en húmedo con riego previo, en contraste con la localidad de General Cepeda, donde la siembra se realizó en seco, con riego posterior.

**3.4.1 Fertilización:** La dosis de fertilización en ambas localidades fue 120-60-60; se aplicó el 50 % de Nitrógeno y el 100 % de Fosforo y Potasio al momento de la siembra; el complemento del Nitrógeno se aplicó previo al aporque; las fuentes fertilizantes fueron triple 17 (17-17-17) y urea (46-00-00).

**3.4.2 Riego:** En ambas localidades la evaluación se estableció bajo condiciones de riego, la frecuencia de este se definió de acuerdo con las necesidades del cultivo y de las condiciones meteorológicas prevalecientes de cada localidad.

La aplicación de insecticidas y herbicidas, así como el aclareo, la escarda y el aporque fueron realizadas de acuerdo al desarrollo y necesidades del cultivo en cada localidad de estudio.

### **3.5 Variables evaluadas**

Las variables evaluadas para realizar la caracterización agronómica fueron las que a continuación se describen:

#### **3.5.1 Rendimiento de grano** (RTO, en $t\ ha^{-1}$ y ajustado a 14 % de humedad)

Se estimó considerando el porcentaje de desgrane y el producto del peso seco (PS) y el 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<sup>-1</sup>, al 14 % de humedad, de la siguiente manera:

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

**Dónde:**

Área de parcela útil (APU), fue determinada mediante el número de plantas por unidad experimental por la distancia entre plantas por la distancia entre surcos (21 x 0.20 x 0.85 m); 100/86, coeficiente para obtener el rendimiento al 14 % de contenido de humedad del grano; 1,000, es un valor, constante usado para calcular el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>; 10,000, es la superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

**3.5.2 Floración masculina (FM):** Se obtuvieron a partir del conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta el que 50 + 1 % de las plantas de la parcela cuando se encontraban en antesis.

### **3.6 Características de la mazorca.**

Se obtuvieron del valor medio de dos mazorcas representativas de cada unidad experimental.

**3.6.1 Número de hileras en la mazorca (HIL):** Se cuantificó el número hileras de cada mazorca.

**3.6.2 Granos por hileras (GHIL):** Se cuantificó el total de granos en una hilera completa y representativa en cada mazorca.

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

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

**3.6.5 Peso de cien semillas (P100S):** Se registró el peso de 100 semillas ajustado al 12% de humedad, mediante una balanza analítica, en gramos.

**3.6.6 Porcentaje de desgrane (DESG):** Es el resultado de la relación entre el peso de la mazorca y el peso del grano, en porcentaje.

### 3.7 Análisis de la información

Con la información obtenida de cada experimento, se realizó el análisis de los datos agronómicos mediante un análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental. donde se probaron los efectos de las localidades, grupos de origen, 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 a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + L_i + R_j + B_k(ji) + G_l + E_m(l) + L_iG_l + E_m(li) + \varepsilon_{ijklm}$$

Dónde:

$Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta;  $\mu$  = Media general;  $L_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $R_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición;  $B_k(ji)$  = 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 de adaptación;  $L_iG_l$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima localidad por el  $l$ -ésimo grupo de adaptación;  $E_m(li)$  = Efecto de la  $m$ -ésima población dentro del  $l$ -ésimo grupo de adaptación por el la  $i$ -ésima localidad;  $\varepsilon_{ijklm}$  = Error experimental.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre la diversidad de los maíces nativos del estado de Coahuila se encontraron poblaciones con frecuencia elevada de granos pigmentados; dentro de esta variación se hallaron, principalmente, poblaciones con grano pinto, en diferentes proporciones, aunque también las hubo de grano predominantemente pigmentado. La coloración predominante fue azul, en una amplia variación de tonalidades, aunque también se encontraron rojos.

### 4.1 Análisis de varianza

Los resultados se presentan en el Cuadro 3. La evaluación en campo y de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza, entre las localidades de evaluación hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la mayoría de las variables y significativas para HIL ( $P \leq 0.05$ ). Entre los grupos de adaptación se encontró amplia variación, mostrando diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables, excepto DESG y DMAZ. Las poblaciones dentro de cada grupo de adaptación mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ), y no significativas en LMAZ y DESG;

La interacción grupos x localidades mostró significancia ( $P \leq 0.05$ ) para la mayoría de las características, excepto HIL, LMAZ, P100S; para la primera condición, la interacción implica que al menos alguno de los grupos mostró una tendencia diferenciada a través de las localidades. Con respecto a la interacción de las poblaciones dentro de grupos x localidades, se encontró interacción altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para RTO y DMAZ, y significativa ( $P \leq 0.05$ ) para FM y LMAZ.

La variación encontrada para las características a través de las localidades se asoció a las condiciones ambientales contrastantes entre los sitios de evaluación, principalmente plagas y escases de agua en el caso de General Cepeda, dentro de los grupos, la respuesta se relacionó a las características particulares por su

**Cuadro 3.** Cuadrados medios del análisis de varianza de poblaciones nativas pigmentadas evaluadas bajo condiciones ambientales contrastantes en General Cepeda, Coahuila y El Mezquite, Galena, Nuevo león.

FV	GL	RTO t ha <sup>-1</sup>	FM d	GL	HIL	GHIL	LMAZ cm	DMAZ cm	P100S g	DESG %
Localidades(Loc)	1	712.6 **	9652 **	1	11.6 *	1784.5 **	207.6 **	1265.3 **	2655.5 **	589.1 **
Repeticiones (Rep)/Loc	2	8.8 **	16.1	2	3	35.5	8.8 *	0.6	17.4	16.8
Bloques/Rep x Loc	8	1.5	7.3	8	1.8	17.2	2.5	18.8 *	27.7	14
Grupo	2	14.2 **	65 **	2	15.3 **	138.1 **	35.5 **	15.3	133.3 **	2.6
Poblaciones (Pob)/Grupos	27	6.8 **	82.4 **	27	7.3 **	42.1 **	4	23.6 **	69.2 **	24.3
Grupos x Loc	2	7.7 **	32.4 *	2	3.6	65.2 *	6.8	41.5 **	49.4	90.2 **
Pob/Grupos x Loc	27	5.5 **	13.8 *	25	2.5	26.5	4.5 *	20.6 **	23.3	25.2
Error	50	1.1	6.5	48	2.4	16.2	2.2	7.6	16.5	15.8
CV %		27.4	3.4		12	16	11.6	6.8	14.5	4.7

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; RTO= Rendimiento; FM= Floración masculina; HIL= Hileras; GHIL= Granos por hilera; LMAZ= Longitud de mazorca; DMAZ= Diámetro de mazorca; P100S= Peso de 100 semillas; DESG= índice de desgrane y CV= Coeficiente de Variación.

origen ecológico, así como la existencia de diversidad dentro de cada grupo racial de cada población.

#### **4.2 Comportamiento agronómico en las localidades y grupos de adaptación**

En el presente estudio, en la localidad del Mezquite se obtuvo un RTO promedio de  $6.6 \text{ t ha}^{-1}$ , donde hubo un ciclo intermedio (FM:84.5 d); la expresión del rendimiento de grano se asoció con dimensiones superiores de la mazorca (HIL, GHIL, LMAZ, DMAZ, P100S y DESG); con respecto a General Cepeda, donde el RTO fue limitado ( $0.6 \text{ t ha}^{-1}$ ), asociado a un ciclo precoz (65.4 d), y características de la mazorca inferiores (Cuadro 4).

Entre localidades, en El Mezquite se encontró mayor rendimiento comparado con la expresión en General Cepeda; esta respuesta se debió a que la primera localidad mostró mejores condiciones agronómicas para la producción, definidas principalmente por condiciones de irrigación, mismas que fueron una limitante en General Cepeda, donde estas provocaron la presencia elevada de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) en detrimento en el rendimiento de grano de hasta 83 % (Cuadro 4).

En los grupos de adaptación, en General Cepeda (el ambiente restrictivo) el grupo de adaptación Intermedia y de Transición, tuvieron un rendimiento superior ( $1.5$  y  $1.8 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente) comparado con el de Altura, esto demostró mejor capacidad de adaptación de los conjuntos sobresalientes; el rendimiento de ambos grupos superiores se asoció con características sobresalientes de GHIL, LMAZ y P100S, con respecto a las expresadas por el grupo de Altura (Cuadro 4).

En El Mezquite, el grupo Intermedio mostró un mayor rendimiento ( $7.6 \text{ t ha}^{-1}$ ) comparado con el resto de los grupos, esto a pesar de no encontrar diferencias en las características de la mazorca con respecto al resto de los grupos, aunque con un ciclo intermedio y superior al resto.

**Cuadro 4.** Valores medios de la expresión agronómica por grupo de adaptación y por localidad de evaluación.

Localidades	Grupo Altitud	RTO t ha <sup>-1</sup>	FM d	HIL	GHIL	LMAZ cm	DMAZ cm	P100S g	DESG %
General Cepeda		1.1 b <sup>†</sup>	65.4 b	12.4 b	20.7 b	11.4 b	3.6 b	22.5 b	81.6 b
	Altura	0.6 b	66.5 a	12.4 <sup>a</sup> b	17.9 b	10 b	3.5 a	19.8 b	80.3 a
	Intermedio	1.5 a	65.1 a	11.9 b	22.5 a	12.5 a	3.7 a	25.1 a	82.1 a
	Transición	1.8 a	62.6 b	13.6 a	23.3 a	12.5 a	3.7 a	23.5 ab	83.8 a
	Tukey ( $\alpha=0.05$ )	0.4	2.1	1.5	3.2	1.3	2.7	4	4.4.
EL Mezquite		6.6 a	84.5 a	13.3 a	29.2 a	14.4 a	4.3 a	33.2 a	87.3 a
	Transición	5.8 b	82.6 b	13.5 <sup>a</sup> b	31.0 a	15.0 a	4.4 a	32.2 a	85.4 b
	Altura	6.2 b	83.9 ab	13.8 a	28.6 a	13.9 a	4.4 a	32.8 a	89.1 a
	Intermedio	7.6 a	86.0 a	12.5 b	29.0 a	14.8 a	4.3 a	34.2 a	86.0 b
	Tukey ( $\alpha=0.05$ )	1.2	2.2	1.1	3.7	1.3	2	3	2.3

<sup>†</sup>= letras iguales en la columna dentro de localidades no son estadísticamente diferentes; RTO= Rendimiento de grano; FM= Días de floración masculina; HIL= Hileras; GHIL= Granos por hileras; LMAZ= Longitud de mazorca; DMAZ= Diámetro de mazorca; P100S= Peso de 100 semillas; DESG= índice de desgrane.

Las diferencias entre las localidades se asociaron al efecto de las condiciones ambientales contrastantes, mismas que representan el escenario ecológico del sureste del estado de Coahuila, bajo el cual se lleva a cabo la producción de maíz.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de los grupos altitudinales, se confirma lo encontrado por Nájera *et al.* (2010), quienes indican que el grupo de adaptación Intermedia responde de manera consistente a los cambios ambientales, mientras que los clasificados como de Transición y de Altura, mostraron un cambio en su respuesta al ser evaluados en una localidad de altitud intermedia. Mercer *et al.* (2008) encontraron una respuesta similar, y mencionan que es más difícil para las poblaciones de zonas de altura, adaptarse a altitudes bajas, que, para las poblaciones de altitudes medias y bajas, al ser evaluadas a mayor altura.

El rendimiento de grano obtenido fue similar al reportado por Arellano *et al.* (2003), quienes registraron rendimientos de maíz azul de 5.6 a 6.6 t ha<sup>-1</sup>, en condiciones de los Valles Altos de México; sin embargo, la floración contrastó ya que en el estudio la floración masculina fue intermedia (84.4 días), mientras que el antes mencionado reportó ciclo tardío (entre 103 y 109 días), es decir, una diferencia de 18.6 - 24.6 días.

La diversidad que presentan las poblaciones en su forma de adaptación en diferentes grupos altitudinales se debe a las condiciones ambientales, el intercambio de semilla entre agricultores, las combinaciones genéticas entre materiales adaptados con foráneos, y la adaptación específica de las poblaciones, esto de acuerdo con Rincón y Ruíz (2015).

### 4.3 Poblaciones de maíz nativo pigmentado sobresalientes

En los Cuadros 5 y 6, se muestran los valores medios de las características agronómicas de las poblaciones en cada localidad de evaluación, y aquellas identificadas por su expresión sobresaliente en cada variable estudiada.

En El Mezquite, 13 poblaciones presentaron rendimiento de grano superior ( $\geq 7.5$  t ha<sup>-1</sup>); estas fueron: UAN188, UAN191 y UAN311 de Cónico Norteño, Peruano2 y UAN011 (Ratón) en el grupo de adaptación de Altura; el Peruano2, aunque de origen exótico, se encontró dentro del grupo sobresaliente en las dos localidades (7.6 t ha<sup>-1</sup> El Mezquite y 2.4 t ha<sup>-1</sup> en General Cepeda), por lo tanto, podemos señalar que tiene características deseables de rendimiento, pero particularmente como fuente de pigmentos, aunque de ciclo tardío. Los genotipos superiores mostraron expresiones destacadas de GHIL, LMAZ, DMAZ, P100S y DESG.

De adaptación Intermedia, las poblaciones sobresalientes con un promedio de rendimiento de 7.5 t ha<sup>-1</sup> fueron UAN246 (Elotes Cónicos), UAN021, UAN1019 (Elotes Occidentales), UAN023, UAN203 y UAN227 (Ratón), aun sin presentar características de la mazorca que sobresalgan, como es el caso de HIL, DMAZ y DESG, pero determinadas por la LMAZ (14.8 cm); en el grupo de Transición, la población sobresaliente fue UAN017 (Cónico Norteño), la cual presentó floración masculina intermedia (74 d) favorecidos por la LMAZ, DMAZ y el P100S, y UAN019 (Ratón) con floración masculina tardía (90), asociada con sobresaliente GHIL y DMAZ.

En la localidad de General Cepeda, en el grupo de Altura, la única población sobresaliente fue Peruano2 con floración intermedia (71 d); el DMAZ y DESG fueron las variables que favorecieron al rendimiento. En el grupo Intermedio, UAN002 (Elotes Cónicos), UAN021 (Elotes Occidentales), UAN023, UAN025 y UAN203 (Ratón), UAN031 (Tuxpeño Norteño), de los cuales tuvieron floración masculina precoz (66.8 d) y mostraron buen potencial de rendimiento.

**Cuadro 5.** Valores medios de las características agronómicas de las poblaciones pigmentadas nativas en cada grupo racial, evaluadas en El Mezquite, N. L.

Grupo Racial	Población	RTO t ha <sup>-1</sup>	FM d	HIL	GHIL	LMAZ cm	DMAZ cm	P100S g	DESG %
<b>Altura</b>									
CN†	UAN004	4.5	82.5	13.5	31.8	13.6	4.1	30.8	89.4 *
CN	UAN012	5.1	75.0	13.5	26.0	12.4	4.5 *	32.5	87.1
CN	UAN103	6.0	88.5 *	15.0 *	30.8	14.3	4.4	31.5	88.8 *
CN	UAN188	9.2 *	80.5	14.5 *	34.0 *	15.8 *	4.6 *	33.0	87.1
CN	UAN191	9.0 *	80.5	14.5 *	31.5 *	15.6 *	4.5 *	31.5	90.9 *
CN	UAN198	6.0	79.5	13.0	30.3	15.0 *	4.3	29.3	91.3 *
CN	UAN311	7.8 *	91.5 *	14.5 *	29.5	13.1	4.6 *	29.5	84.1
EC	UAN001	5.9	76.0	14.5 *	27.8	15.2 *	4.6 *	34.3	89.9 *
PER	Peruano1	4.4	97.5 *	10.5 *	22.5	12.2	4.2	37.3 *	88.4 *
PER	Peruano2	7.6 *	90.0 *	13.5	34.0 *	15.6 *	4.6 *	35.8 *	88.5 *
R	UAN011	8.5 *	83.0	14.5 *	33.5 *	14.2	4.4 *	28.8	90.1 *
C	Cbazul	5.2	83.5	14.0 *	23.5	13.0	4.3	35.5 *	90.5 *
C	Morado1	2.5	85.5	13.5	20.8	11.3	4.1	32.0	90.7 *
C	Morado2	4.6	81.0	14.0 *	25.0	12.9	4.4	37.3 *	90.6 *
<b>Intermedio</b>									
CN	UAN009	6.3	88.0 *	13.0	27.0	12.7	4.4	31.8	86.6
EC	UAN002	6.9	82.5	11.5	30.3	15.2 *	4.1	34.5	86.0
EC	UAN229	6.6	80.5	13.5	26.0	13.4	4.4	31.3	86.7
EC	UAN246	8.5 *	78.0	13.0	30.0	16.8 *	4.4	39.5 *	86.6
EO	UAN021	11.5 *	87.5 *	9.5	32.3 *	16.7 *	4.3	49.3 *	88.3
EO	UAN1019	8.0 *	78.0	13.0	30.5 *	17.3 *	4.5 *	37.3	87.2
R	UAN023	10.7 *	86.0	13.0	24.3	11.9	4.3	33.5	87.1
R	UAN025	3.2	97.0 *	13.0	29.5	13.6	4.1	27.3	84.7
R	UAN203	9.2 *	80.5	12.5	33.0	17.0 *	4.2	35.3	89.2 *
R	UAN227	8.0 *	95.0 *	14.0 *	31.8	15.2 *	4.4	26.3	80.8
TN	UAN031	2.7	92.5 *	12.0	25.0	13.1	4.1	30.5	83.1
<b>Transición</b>									
CN	UAN017	8.1 *	74.0	13.5	29.3	16.1 *	4.6 *	38.5 *	86.6
CN	UAN018	4.6	80.5	14.5 *	33.5 *	15.7 *	4.2	29.8	87.8
CN	UAN027	3.0	81.5	13.5	30.5 *	14.3	4.0	26.8	88.4 *
EC	UAN048	5.4	87.0 *	12.5	28.0	14.6	4.6 *	34.5	81.5
R	UAN019	7.7 *	90.0	13.5	33.8 *	14.3	4.5 *	31.5	82.8
Media		6.6	84.4	13.2	29.1	14.3	4.3	33.2	87.3
EE		0.4	1.1	0.2	0.7	0.3	0.3	0.8	0.5

\*= Poblaciones sobresalientes con base en  $\mu + 2EE$ ; EE= Error estándar; †= Grupo racial; CN= Cónico Norteño; EC= Elotes Cónicos; EO= Elotes Occidentales; TN= Tuxpeño Norteño; R= Ratón; PER= Peruano; C= Cónico; RTO= Rendimiento; FM= Floración masculina; HIL= Número de hileras; GHIL= Granos por hileras; LMAZ= Longitud de mazorca; DMAZ= Diámetro de mazorca; P100S= Peso de 100 semillas; DESG= Porcentaje de desgrane.

**Cuadro 6.** Valores medios de las características agronómicas de las poblaciones nativas pigmentadas en cada grupo racial evaluadas en General Cepeda, Coah.

Grupo		RTO	FM			LMAZ	DMAZ	P100S	DESG
Racial	Población	t ha <sup>-1</sup>	d	HIL	GHIL	cm	cm	g	%
<b>Altura</b>									
CN	UAN004	1.1	62.0	12.5	18.8	10.2	3.4	15.3	80.9
CN	UAN012	0.5	57.0	11.0	12.8	9.5	3.4	23.3	81.8
CN	UAN103	0.6	69.0 *	12.5	18.0	12.5 *	3.5	19.3	80.6
CN	UAN188	0.6	63.0	15.5 *	20.0	11.4	4.0	17.3	80.2
CN	UAN191	0.3	68.0 *	11.5	17.3	8.8	2.9	15.8	81.1
CN	UAN198	0.3	67.0 *	12.0	19.5	10.9	2.9	10.5	81.1
CN	UAN311	1.2	70.5 *	15.0 *	28.0 *	11.3	4.5 *	21.3	84.6 *
EC	UAN001	0.1	62.0						
PER	Peruano1	0.4	75.0 *	7.5	12.5	9.2	2.6	20.3	62.4
PER	Peruano2	2.4 *	71.0 *	12.5	21.5	10.8	3.8 *	23.0	86.4 *
R	UAN011	0.5	64.5	14.5 *	15.0	8.0	3.8	19.9	77.6
C	Cbazul	0.2	68.0 *						
C	Morado1	0.2	68.5 *	12.0	13	7.7	3.9 *	31.0	84.2 *
C	Morado2	0.4	65.5	12.0	18	9.4	3.2	21.2	82.4
<b>Intermedio</b>									
CN	UAN009	1.1	68.5 *	15.0 *	27.0 *	12.9 *	3.5	17.3	82.1
EC	UAN002	1.5 *	60.5	11.5	21.8	13.6 *	3.7	26.3 *	72.3
EC	UAN229	0.4	63.5	12.5	15.5	11.6	3.3	19.5	80.9
EC	UAN246	1.4	61.5	12.5	19.8	11.6	4.1	27.3 *	83.5 *
EO	UAN021	1.8 *	67.5 *	8.0	20.3	13.2 *	3.6	37.3	85.6 *
EO	UAN1019	0.9	60.0	9.0	16.5	11.8	3.3	24.8 *	81.1
R	UAN023	2.1 *	68.0 *	14.0 *	26.8 *	12.0	4.1 *	22.3	84.6 *
R	UAN025	1.8 *	70.0 *	12.5	30.5 *	13.4 *	4.2 *	22.3	81.5
R	UAN203	1.7 *	64.0	12.0	21.5	12.5 *	3.5	28.3 *	86.0 *
R	UAN227	1.3	69.5 *	12.5	19.8	10.5	3.6	24.7 *	82.1
TN	UAN031	2.2 *	63.5	11.5	28.5 *	14.2 *	4.1 *	26.0 *	83.2 *
<b>Transición</b>									
CN	UAN017	0.7	60.0	10	12.3	9.8	3.4	30.0 *	81.5
CN	UAN018	1.0	62.0	15 *	23.0	11.9	3.3	16.0	85.9 *
CN	UAN027	1.3	60.0	15 *	19.0	10.9	3.7	19.5	84.8 *
EC	UAN048	3.2 *	66.5	13.5 *	31.5 *	16.1 *	4.1 *	29.0 *	82.9
R	UAN019	3.0	64.5	14.5 *	30.8 *	13.9 *	4.1 *	23.0	84.1 *
Media		1.1	65.3	12.4	20.6	11.3	3.6	22.5	81.5
EE		0.1	0.7	0.4	1.0	0.4	0.8	1.0	0.9

\*= poblaciones sobresalientes con base en  $\mu + 2EE$ ; EE= Error estándar; †= Grupo racial; CN= Cónico Norteño; EC= Elotes Cónicos; EO= Elotes Occidentales; TN= Tuxpeño Norteño; R= Ratón; PER= Peruano; C= Cónico; RTO= Rendimiento; FM= Floración masculina; HIL= Número de hileras; GHIL= Granos por hileras; LMAZ= Longitud de mazorca; DMAZ= Diámetro de mazorca; P100S= Peso de 100 semillas; DESG= Porcentaje de desgrane.

UAN048 (Elotes Cónicos) destacó dentro del grupo de Transición, con rendimiento de 3.2 t ha<sup>-1</sup> y floración masculina precoz.

Con base en el número de poblaciones sobresalientes; los resultados muestran que en general que el grupo de Intermedia es el que mostró mejor estabilidad a través de las localidades y en el cual se encuentran las poblaciones de mayor potencial, destacando poblaciones de Elotes Occidentales, pero principalmente de Ratón; destaca las poblaciones de Elotes Cónicos por ser poblaciones adaptadas en áreas de transición y Altura. Los resultados coinciden parcialmente con los de Nájera *et al.* (2010) quienes mencionaron que los grupos raciales Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón son los que presentan mayor potencial de rendimiento para la región; sin embargo, dado el componente de pigmentación, las poblaciones mayormente pigmentadas por antocianinas fueron principalmente de área de adaptación de Altura, aunque la mayor diversidad y potencial de rendimiento se encontró en el grupo de adaptación Intermedia.

En cada uno de estos grupos se encontró predominancia de algún grupo racial, tal como lo determinaron Rincón *et al.* (2010); en el grupo de Altura y Transición predomina Cónico Norteño, con presencia de Elotes Cónicos en ambos y Ratón en el segundo; el grupo de adaptación Intermedio, el más numeroso y diverso, debido posiblemente a las condiciones ecológicas prevalecientes del estado, estuvo representado esencialmente por Ratón y Elotes Cónicos, aunque se encontró Tuxpeño Norteño y Cónico Norteño.

Las poblaciones sobresalientes, además del rendimiento, por su origen ecológico y dada la deficiencia hídrica durante la evaluación en General Cepeda pueden considerarse, además, como tolerantes a este factor, y otros provocados a consecuencia del mismo como el gusano cogollero.

Las poblaciones sobresalientes por su expresión agronómica son aquellas que deben incluirse en el programa de mejoramiento genético para rendimiento y calidad del grano.

## V. CONCLUSIONES

Se corrobora la diversidad genética de las poblaciones pigmentadas con la expresión agronómica de los grupos raciales.

Se identificaron las poblaciones sobresalientes (UAN188, UAN191, UAN311, peruan2, UAN011, UAN246, UAN021, UAN1019, UAN023, UAN203, UAN227, UAN017, UAN019, UAN002, UAN025, UAN031 y UAN048) que pueden ser la fuente de diversidad para iniciar un programa de mejoramiento para rendimiento y calidad de grano.

Las poblaciones con adaptación a áreas intermedias expresaron un comportamiento sobresaliente en los ambientes contrastantes de evaluación.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre M. A. y R. Mendoza A. (2009). Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp. 277-318.
- Anderson E. (1946). Maize in Mexico. A preliminary survey. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 33: 147-247.
- Antonio M. M., J. L. Arellano V., G. García de los S., S. Miranda C., J. A. Mejía C. y F. V. González C. (2004). Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño: características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:9-15.
- Aragón C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J. de D. Figueroa C., V. Serrano y H. Castro G. (2006). Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPS). Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca, México. Libro técnico Núm. 6. 334 p.
- Arellano V. J. L., C. Tut C., A. M. Ramírez, Y. Salinas M. y O. R. Taboada G. (2003). Maíz azul de los Valles Altos de México. I: rendimiento de grano y características agronómicas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:101-107.
- Avendaño A. C. H., C. Trejo L., C. López C., J. D. Molina G., A. Santacruz V., y F. Catillo G. (2005). Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Revista de ciencia y tecnología de América*, 30(9):560-564.
- Barreto H. J., O. Edmeades G., C. Chapman S., J. Crossa. (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 Bänziger, R. Mickelson H., C. B. Peña-Valdivia (eds). El Batán, México, March 25-29. CIMMYT. Mexico, D. F. pp:544-551.

- Brouillard R. (1982). Chemical structure of anthocyanins. In: Anthocyanins as food colors. P. Markakis (ed). Academic Press. New York. pp. 1-38.
- Brush S. B. and H. R. Perales. (2007). A maize landscape: ethnicity and agrobiodiversity in Chiapas México. *Agr. Ecosyst. Environ.* 121:211-221.
- Castro-Nava S., V. H. Ramos-Ortiz, C. A. Reyes-Méndez, F. Briones-Encinia and J. A. López-Santillán. (2011). Preliminary field screening of maize landrace germplasm from northeastern México under high temperatures. *Maydica.* 56: 77-82.
- CEDRSSA. (2019). Compendio mensual agropecuario. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Disponible en línea. [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/18/70CMA\\_NOV-PDF.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/18/70CMA_NOV-PDF.pdf) consulta Marzo 26, 2021.
- CONABIO. (2010). Razas de maíz en México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Disponible en línea. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz> consulta Mayo 17, 2021.
- CONABIO. (2011). Biodiversidad Mexicana. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Grupo Cónico. Disponible en línea. <http://www.biodiversidad.gob.mx:9999/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico> consulta Mayo 17, 2021.
- CONABIO. (2020). Razas de maíz en México. Maíces. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Disponible en línea. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>. Consulta mayo 24, 2021.
- Espinosa T., L. C., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., J. M. Martínez R. y A. Benavides M. (2019). Respuesta ambiental de poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila, México. *Nova Scientia.* 11(23):108-125.

- Espinosa-Trujillo, E., Ma. del C. Mendoza-Castillo y F. Castillo-González. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Rev. Fitotec. Mex*, 29:19-23.
- 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.
- Gálvez-Mariscal, A. y H. Bourges-Rodríguez. (2012). La alimentación en la Ciudad de México, Los riesgos para la salud en la vida de una Megametrópolis, Memoria I. México: UNAM, Facultad de Medicina y Salud. pp. 366-403.
- Gámez V. A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Diaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. Terron I. (1996). Híbridos y variedades de maíz liberados por INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) hasta 1996. SAGAR-INIFAP. Toluca, Méx. Publicación especial 16. 103 p.
- Guadarrama A., F. Aragón, y M. Willcox. (2014) Mejoramiento de maíces nativos. *Enlace*. 5(22):11 – 15.
- Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet y D. Flores. (2013). La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Rev. Fitotec. Mex*. 36 (Especial 6):315 – 328.
- Hernández G., C. A. (2010). Diversidad morfológica y genética de maíz cacahuacintle en una región de los valles altos de Puebla. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados Campus Puebla. México 67 p.
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, J.J. Sánchez-González, J. M. Hernández-Casillas, R. A. Ortega-Paczka y M. Major-Goodman. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*. 38:191-206.
- INEGI. (2020). Clima. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en línea.

<http://www.cuentame.org.mx/monografias/informacion/coah/territorio/clima.a.spx?tema=me&e=05> Consulta Mayo 17, 2021.

- IRRI. (2007). CropStat for Windows 7.2.2007.3 1998-2007. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.
- Johnson, D. L. y M. N. Jha. (1993). Blue corn. *In*: J. Janick and J. E. Simon (eds), New crops. Wiley, Nueva York p. 228-230.
- Kato T.A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009). Origen y Diversificación del maíz, Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Kato Y., T. A. (1984). Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evol. Biol*, 17:219-253.
- Kato Y., T. A. (2005). Cómo y dónde se originó el maíz. *Investigación y Ciencia* 347: 68-72.
- Keleman, A. y J. Hellin (2013). Nuevos mercados, nuevos valores. *LEISA Revista de agroecología*, 29(2):5-9.
- Mendoza-Díaz S., M. C. Ortiz-Valerio, E. Castaño-Tostado, J. D. Figueroa-Cárdenas, R. Reynoso-Camacho, M. Ramos-Gómez, R. Campos-Vega y G. F. Loarca-Piña. (2012). Antioxidant capacity and antimutagenic activity of anthocyanin and carotenoid extracts from nixtamalized pigmented creole maize races (*Zea mays* L.). *Plant Food Hum. Nut.* 67: 442-449.
- Mercer K., A. Martínez V., y H. R. Perales. (2008). Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. *Evolutionary Applications* 1(3): 489-500.
- Mora-Rochin S., J. A. Gutiérrez-Uribe, S. O. Serna-Saldivar, P. Sánchez-Peña, C. Reyes-Moreno, y J. Milán-Carrillo. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization cooking. *J. Cereal Sci.* 52:502-508.

- Muñoz O. A. (2003). Centli-maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 210 p.
- Nájera C., L. A., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., y F. Castillo G. (2010). Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4):31-36.
- Ortega P. R. (1985a). Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para mejoramiento. Tesis de Doctorado. D. Vavilov National Institute of Plants. URSS. 22 p.
- Ortega P., R. (1977). Reorganización de mejoramiento genético de maíz en el INIA. En: Hernández X., E. (ed.). *Agroecosistemas de México*. Colegio de Postgraduados. México. 369-390.
- Rincón S. F y N. A. Ruíz T. (2015). Maíces nativos en el estado de Coahuila, México. *Revista Claridades Agropecuarias*. Edición especial. SAGARPA-ASECA. pp.40-44.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y N. A. Ruíz T. (2010). Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Méx. 116 p.
- Ron P. J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. M. Morales R., L. De La Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M., J. G. Rodríguez F. (2006). Maíces nativos del Occidente de México. I Colectas 2004. *Scientia – CUCBA*, 8:1-139.
- Ruiz T. N. A., F. Rincón S., V.M. Hernández L., J. de D. Figueroa C. y Ma. G. F. Loarca P. (2008). Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:29-34.
- Salinas M.Y., M Soto H., F. Martínez B., V. González H., y R. Ortega P. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 22:161-174.

- Salinas-Moreno Y., F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, R. Ortega-Paczka y J. L. Arellano-Vázquez. (2003) Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas de granos pigmentados. *Agrociencia*, 37:617-628.
- Salinas-Moreno Y., J. J. Pérez-Alonso, G. Vázquez-Carrillo, F. Aragón-Cuevas y G. A. Vázquez-Cardelas. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia*, 46:693-706.
- Sánchez G, J.J., M. Goodman, M. y W. Stuber, C. (2000). Diversidad isoenzima y morfológica en las razas de maíz de México. *Botánica económica*, 54(1):43-59.
- Sánchez G., J. J. (2011). Diversidad del maíz y el tocintle. Informe del proyecto: Recopilación, generación, actualización y análisis de la información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México, D.F. México. 98 pp. Disponible en línea. [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Jesus\\_Sanchez\\_2011.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Jesus_Sanchez_2011.pdf) Consulta Noviembre 21, 2019.
- SAS. (2004). Statistical Analysis System. SAS Institute, Inc. Cary., N. C., USA.
- Serna-Saldívar S. O., J. A. Gutiérrez- Uribe, S. Mora-Rochin y S. García-Lara. (2013). Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36: 295-304.
- SIAP. (2018). Panorama Agroalimentario 2018. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. disponible en línea [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)
- SIAP. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en línea.

[https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020) Consulta julio 24, 2019.

Ureta C., E. Martínez, H. R. Perales y E. R. Álvarez. (2012). Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18(3):1073-1082.

Wellhausen E. J., M. Roberts L., E Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, S.A.G. México. 237 p.