

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
Colegio en Ciencias Agropecuarias  
**Maestría en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

“Caracterización agromorfológica *in situ* de poblaciones de maíces nativos en Concordia, Sinaloa, México”

**Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA: VALERIA GÓMEZ PÉREZ**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA**

**CO-DIRECTORA DE TESIS: DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ**

**Culiacán, Sinaloa, México, Septiembre de 2019**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **VALERIA GÓMEZ PÉREZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

\_\_\_\_\_  
DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA

CO-DIRECTORA

\_\_\_\_\_  
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

ASESOR

\_\_\_\_\_  
DR. SAÚL PARRA TERRAZA

ASESOR(A)

\_\_\_\_\_  
DRA. LIBIA IRIS TREJO TÉLLEZ

ASESOR

\_\_\_\_\_  
M.C ORLANDO OMER LINARES HOLGUIN

CULIACÁN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2019



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, la que suscribe Valeria Gómez Pérez, alumna del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 07136579, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Pedro Sánchez Peña y la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz y cede los derechos del trabajo titulado “Caracterización agromorfológica in situ de poblaciones de maíces nativos en Concordia, Sinaloa, México”, a la Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

---

Valeria Gómez Pérez

CORREO ELECTRÓNICO: [shey\\_jc\\_kayra@hotmail.com](mailto:shey_jc_kayra@hotmail.com)  
CURP: GOPV920129MGRMRL06

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Estadísticas de producción del maíz.....	4
2.1.1. Panorama mundial.....	4
2.1.2. Panorama nacional.....	5
2.1.3. Panorama estatal.....	6
2.2. Origen del maíz.....	7
2.2.1. Teoría del teocintle como ancestro del maíz.....	7
2.3. El maíz en Sinaloa.....	9
2.4. Clasificación taxonómica y descripción botánica del maíz.....	10
2.5. Genética del maíz.....	12
2.6. Clasificación racial del maíz.....	13
2.7. Fuentes de variabilidad.....	14
2.8. Caracterización de la diversidad.....	15
2.8.1. Caracterización morfológica o fenotípica.....	16
2.8.2. Caracterización agronómica.....	16
2.8.3. Caracterización citogenética.....	17
2.8.4. Caracterización molecular.....	17
2.9. Diversidad del maíz en México.....	18
2.10. Diversidad del maíz en Sinaloa.....	18
2.11. Conservación de los recursos genéticos de maíz.....	20
2.11.1 Conservación <i>ex situ</i> .....	20
2.11.2. Conservación <i>in situ</i> .....	21
2.12. Estudios de caracterización <i>in situ</i> .....	23

III. HIPÓTESIS.....	25
IV. OBJETIVOS.....	26
4.1. Objetivo general.....	26
4.2. Objetivos específicos .....	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
5.1. Localización del experimento.....	27
5.2. Poblaciones evaluadas.....	27
5.3. Variables evaluadas.....	28
5.3.1. Variables vegetativas.....	28
5.3.2. Variables de espiga .....	29
5.3.3. Variables de mazorca.....	30
5.3.4. Variables de grano.....	31
5.3.5. Variables de productividad.....	32
5.4. Análisis estadísticos.....	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
6.1. Análisis de comparación de medias.....	35
6.2. Análisis de componentes principales.....	42
6.3. Análisis de conglomerados.....	44
VII. CONCLUSIONES.....	46
VIII. LITERATURA CITADA.....	47
IX. ANEXOS.....	57

# **AGRADECIMIENTOS**

## **A dios**

Por ser mi principal asesor de vida; por darme la fortaleza de no caer cuando hay tiempos difíciles y haberme permitido llegar a cumplir una más de mis metas.

## **A la Universidad Autónoma de Sinaloa y Colegio de Ciencias Agropecuarias**

Por ser, no solo mi casa de estudio, sino el centro donde crecí y conviví con personas maravillosas que hacían mis días más productivos los cuales permitieron culminar mi formación académica de forma satisfactoria.

## **A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**

Por el apoyo que me brindó como becaria durante mi estudio de Maestría en Ciencias Agropecuarias

## **A mis maestros de Maestría en Ciencias Agropecuarias**

Por haber compartido sus conocimientos y experiencias, así como inculcado valores y hacer de mí una profesionista de bien; mil gracias a los maestros que colaboraron para la realización de este trabajo.

## **A mis compañeros de aula**

A todos mis compañeros de la escuela de agronomía y veterinaria por brindarme su amistad y apoyo incondicional, especialmente a Briseida y Diana “Club Miky”, por ser mis cómplices y como mis hermanas, les agradezco todas las vivencias juntas

## **A mis asesores**

Dra. Teresita, Dr. Pedro, Dr. Parra, Dra. Libia y M.C Orlando, estaré eternamente agradecida por su tiempo dedicado para la realización y culminación de éste trabajo.

## **Al Colegio de Posgraduados Campus Montecillo y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)**

Por haberme brindado su espacio en los laboratorios para realizar mis estancias académicas.

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres (Gilberto y Antonia)**

Por haberse preocupado por mí, y estar en la buenas y en las mala, por darme ánimos en los momentos difíciles para seguir adelante y por compartir mis triunfos pero también mis fracasos. Principalmente a mi madre Antonia por ser una mujer de ejemplo a seguir, por enseñarme siempre salir adelante ante cualquier circunstancia que se presente, por eso y muchas cosas más le dedico esta tesis, mil gracias.

### **A mis hermanos Dora, Apolinar, Ma. Luisa, Marcos, Petro, Gregoria y Angelita**

Por estar al pendiente de mí y demostrarme de una u otra forma su amor, por compartir el mismo techo, y por enseñarme a que todo sacrificio tiene su recompensa.

### **A mi director de tesis Dr. Pedro Sánchez Peña**

Por ser la persona que siempre creyó en mí, por todo lo que me enseñó y por tener la paciencia que nadie más podría tenerme, por darme ánimos para seguir adelante cuando en su momento quería desistir, por ser uno de los mejores maestros que he tenido y por hacer de mí una persona de bien, por eso y muchas cosas más le dedico esta tesis.

### **A Pascual Pérez Labrador**

Por haberme brindado su espacio y maíces nativos para la realización del presente estudio y por ser uno de los preservadores de los recursos genéticos del maíz en Sinaloa.

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1.-	Taxonomía del maíz.....	10
2.-	Cuadrados medios para poblaciones y error, así como la significancia estadística ( $P \leq 0.05$ ) para población en las 24 variables evaluadas en el estudio de caracterización agromorfológica <i>in situ</i> en maíces nativos de Concordia.....	34
3.-	Proporción de varianza explicada y acumulada en el estudio de caracterización agromorfológica <i>in situ</i> en las poblaciones maíces nativos de Concordia, Sinaloa.....	42
4.-	Valores propios para los tres primeros componentes principales y 24 variables evaluadas en la caracterización agromorfológica <i>in situ</i> en las poblaciones de maíces nativos de Concordia Sinaloa.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Área cultivada de maíz en México durante el periodo 1980-2017....	4
2.- Principales países productores de maíz en toneladas (FAO, 2019)..	5
3.- Principales estados productores de maíz en México en toneladas...	6
4.- Principales municipios productores de maíz en Sinaloa en toneladas (SIAP, 2019).....	7
5.- Comparación entre planta de teocintle y planta de maíz.....	8
6.- Posible secuencia morfológica evolutiva de la mazorca del teocintle a la mazorca del maíz.....	9
7.- Partes de la hoja de maíz (A), raíces adventicias (B) y tallo del maíz (C).....	11
8.- Inflorescencias masculina (A) y femenina (B) del maíz.....	12
9.- Algunas razas reportadas en México (fotografía recopilada del banco de germoplasma de CIMMYT).....	14
10.- Razas de maíz reportadas en el estado de Sinaloa por Palacios <i>et al.</i> (2008) Tabloncillo (A), Tuxpeño (B), Tabloncillo Perla (C), Elotero de Sinaloa (D), Blando de Sonora (E), Onaveño (F), Reventador (G), Vandeño (H) y Jala (I).....	19
11.- Razas de maíz existentes en Sinaloa: Chapalote (A), Dulcillo del Noroeste (B), Bofo (C), Ratón (D) y Ancho (E).....	19
12.- Conservación <i>ex situ</i> en Banco de Germoplasma Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FAUAS).....	21
13.- Conservación <i>in situ</i> de maíces nativos en el municipio de Concordia.....	22

14.-	Localización de la comunidad El Purgatorio, Concordia.....	27
15.-	Altura de planta (ALP) y mazorca (ALM), así como número de hojas arriba (NHA) y bajo (NHB) de la mazorca principal.....	29
16.-	Longitud de espiga (LOE), longitud de pedúnculo de espiga (LPE), longitud ramificada de la espiga (LRE) y número de espiguillas (NES).....	30
17.-	Longitud del pedúnculo de la mazorca (A), número de hileras de la mazorca (B), longitud de mazorca (C), diámetro de mazorca (D), peso de mazorca (E), peso de olote (F) y diámetro del olote (G)....	31
18.-	Grosor (A), ancho (B) y longitud del grano (C) de maíz.....	32
19.-	Formas de medir el grosor (A), ancho (B) y longitud (C) de grano del maíz .....	32
20.-	Forma de evaluar volumen (A) y peso (B) de grano de maíz. ....	32
21.-	Comparación de medias de altura de mazorca (A), altura de planta (B), número de hojas arriba de la mazorca (C) y número de hojas bajo la mazorca (D).....	35
22.-	Comparación de medias de longitud del pedúnculo de la espiga (A), longitud de la espiga central (B), longitud de la parte ramificada de la espiga (C) y número de espiguillas (D).....	36
23.-	Comparación de medias de las variables, longitud de espiga (A), pedúnculo de mazorca (B), peso de mazorca (C), longitud de mazorca (D), diámetro de mazorca (E) y número de hileras de la mazorca (F).....	38
24.-	Comparación de medias de las variables, grosor de grano (A), longitud de grano (B), ancho de grano (C), peso de olote (D) y diámetro de olote (E).....	39

## RESUMEN

Los estudios de caracterización *in situ* permiten conocer cómo se encuentra los recursos genéticos en los lugares donde éstos tienen su asentamiento, lo que permitiría establecer estrategias de aprovechamiento, conservación y mejoramiento. En este contexto, se caracterizó la variación agromorfológica *in situ* de 15 poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L) de Concordia, Sinaloa, con la metodología de CIMMYT/IBPGR (1991), evaluando 24 variables de características vegetativas, de espiga, mazorca, grano y productividad en 30 plantas con competencia completa de cada población. Con los promedios se aplicó un análisis de varianza entre poblaciones para cada una de las variables evaluadas y se encontraron diferencias significativas. El análisis de componentes principales (ACP) definió que las variables con mayor influencia para explicar la variación observada fueron longitud del pedúnculo de la espiga, peso de la mazorca, diámetro de mazorca, peso de 100 granos, rendimiento de grano y rendimiento estimado por hectárea. El análisis de conglomerado definió cuatro grupos de poblaciones. Se concluye que en la comunidad del Purgatorio, Concordia, Sinaloa, existe una riqueza genética y amplia variación entre las poblaciones de maíces nativos donde algunas presentan características favorables para esquemas de mejoramiento genético. Por esto, es de gran importancia promover la conservación *in situ* de los maíces nativos de Sinaloa. Este tipo de acciones permitirá mantener el acervo genético disponible en el momento requerido ante las modificaciones que causa en la estructura genética en las poblaciones el cambio climático.

Palabras claves: *Maíces nativos, caracterización in situ, diversidad, recursos genéticos,*

## ABSTRACT

*In situ* characterization studies allow to know how the genetic resources are found in the places where they have their origin, which can enable strategies of exploitation, conservation and improvement. In this context, the agro-morphological variation *in situ* of 15 local landrace populations (*Zea mays* L.) from Concordia, Sinaloa, Mexico, was characterized by using CIMMYT/IBPGR methodology (1991), evaluating twenty four variables of vegetative characteristics, of spike, ear, grain and productivity in 30 plants with complete competence of each population. An analysis of variance was applied among the populations for each of the evaluated variables and significant differences were found among population. Principal component analysis (PCA) defined that the most influential variables for explaining the observed variation were lengths of the spike peduncle, weight of ear, diameter of ear, 100 grains weight, grain yield and estimated yield per hectare. The analysis defined four groups of populations. In this study concluded that there is a genetic wealth and wide variation among local landrace population in the El Purgatorio, Concordia, Sinaloa and some have good characteristics for genetic improvement schemes. *In situ* conservation is of great importance to promote the conservation of lander population of Sinaloa. This type of action will allow keep the available gene pool at the alterations that climate change causes in the genetic structure of populations.

**Keywords:** *Native maize, characterization in situ, diversity, genetic resourc*



## I. INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de maíces nativos han sido la base para la formación de variedades mejoradas en el mundo; sin embargo, no todas han sido utilizadas para este fin, si bien muchas de ellas pueden tener genes de utilidad aún sin explotar en los programas de mejoramiento genético (Castro *et al.*, 2013). La caracterización de la diversidad de las poblaciones es un paso obligado que permite su aprovechamiento (Reif *et al.*, 2004; Smith, 2007). Los sistemas de agricultura tradicional juegan un papel importante en la conservación *in situ*, ya que contribuyen a la preservación de la diversidad genética del maíz (Macchi *et al.*, 2010). La reducción de la diversidad genética de maíz en los agroecosistemas tradicionales de México y de otros países está sucediendo en parte debido a la modernización (Arias-Reyes *et al.*, 2006), por lo cual es necesario buscar estrategias que promuevan el mantenimiento de la diversidad genética y al mismo tiempo permitir la selección dentro de poblaciones de maíz que contribuyan a mejorar la productividad.

El maíz está siendo utilizado no sólo como alimento humano, sino también para la producción de biocombustibles, plásticos biodegradables, jarabes azucarados, entre otros (González-Jácome, 2008). En México, es de gran importancia, al ser no sólo su principal cultivo, sino también porque es la base de su alimentación (González y Ávila, 2014). Además nuestro país es centro de origen, domesticación y diversificación de este cereal (Fernández *et al.*, 2013). La variación presente en los maíces mexicanos es producto de las condiciones de los numerosos nichos ecológicos en los que se ha venido cultivando y de las selecciones realizadas por los campesinos en función de sus necesidades (Ortega, 2003). Esta variación es fundamental en los ecosistemas agrícolas para conservar y mejorar la productividad de los cultivos, sobre todo en ambientes con condiciones diversas y heterogéneas (Altieri, 2003).

América Latina es rica en recursos genéticos de maíz, existen reportes de la existencia de 484 grupos raciales, de los cuales, en México se encuentran de 59 a 61 (Serratos, 2012). Del estado de Sinaloa, lo que se conoce con relación al cultivo de maíz, son sus altos rendimientos, pero muy poco se sabe acerca de los maíces nativos que se encuentran en las áreas de temporal y que albergan parte de la riqueza de la variación

presente en el territorio nacional (Sánchez-Peña *et al.*, 2008). En estas áreas se han reportado la existencia de maíces nativos en 14 de los 18 municipios en los que se divide el estado, siendo el municipio de Concordia en el que se encontró la presencia de mayor diversidad de grupos raciales (Palacios *et al.*, 2008). La conservación *in situ* de las plantas permiten la continuidad de los procesos de adaptación genética en las poblaciones locales cultivadas por los productores (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre maíces nativos, se realizan fuera del ambiente donde éstos se desarrollan (*ex situ*) y en ellos se estudian la variación para múltiples características (Hortelano *et al.*, 2008). Lo anterior podría no reflejar el comportamiento de las poblaciones en los lugares donde tienen su asentamiento (*in situ*); por lo que, investigaciones que tengan como propósito conocer cuál es la variación que tienen los maíces nativos en los lugares donde estos se cultivan, no sólo reflejaría la situación real de este recurso, sino que también contribuirían a conocer la potencialidad de las poblaciones para futuros trabajos de mejoramiento genético; así como, para definir estrategias de conservación de la diversidad de maíz en México (Ortega-Paczka, 1979; Serratos, 2012); por lo que, la colección, caracterización, conservación, mejoramiento y producción de este recurso, debe ser considerado de gran importancia (Moreno *et al.*, 2011).

## II. ANTECEDENTES

El maíz (*Zea mays* L) es el cultivo más biodiverso de todas las especies de plantas (Agricultural Research Service, 2010). Es por ello que está siendo usado no sólo como alimento humano, sino también para la producción de biocombustibles, plásticos biodegradables, aceites, bebidas, jarabes azucarados, entre otros (González-Jácome, 2008). Es el cereal más importante del planeta y de acuerdo a las estadísticas oficiales (FAO, 2019), en 2017 la producción mundial de maíz fue la más alta de los cereales en el mundo, con un volumen de 1,393,98,150 toneladas, superior a la de arroz (984,087,842 toneladas) y trigo (906,059,207 toneladas).

En México, el maíz es de gran importancia, al ser no sólo su principal cultivo; sino también porque es la base de su alimentación (González y Ávila, 2014). Tan sólo el consumo *per cápita* de tortilla de maíz es 86 kg, según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares (ENIGH, 2012). Por ello, la mayor parte del área dedicada a los cultivos, es sembrada de maíz; basta decir, que en 2017, en el territorio nacional fueron cultivadas 21,590,574.60 ha con 314 cultivos diferentes (aceituna, maíz, zempoalxochitl, entre otros), y de éstos, más de la tercera parte (8,148,008.60 ha) fueron sembradas con maíz (forrajero, grano, palomero y semilla), y a pesar de que se cosecharon 27,762,480.90 toneladas, existe un déficit promedio de 10 millones de t de maíz para cubrir el requerimiento nacional (SIAP, 2019). En los últimos 37 años (1980-2017), la superficie cultivada de maíz en México presentó tres características, la primera, muy variable, que se da de 1980 a 1992, la segunda, de un incremento significativo que van de las 18.5 a más de 22 millones de ha durante el periodo de 1992 a 1998, y la tercera, de una estabilización de la superficie sembrada, que se da de 1998-2017, donde se sembraron entre 21 y 22 millones de hectáreas (Figura 1).

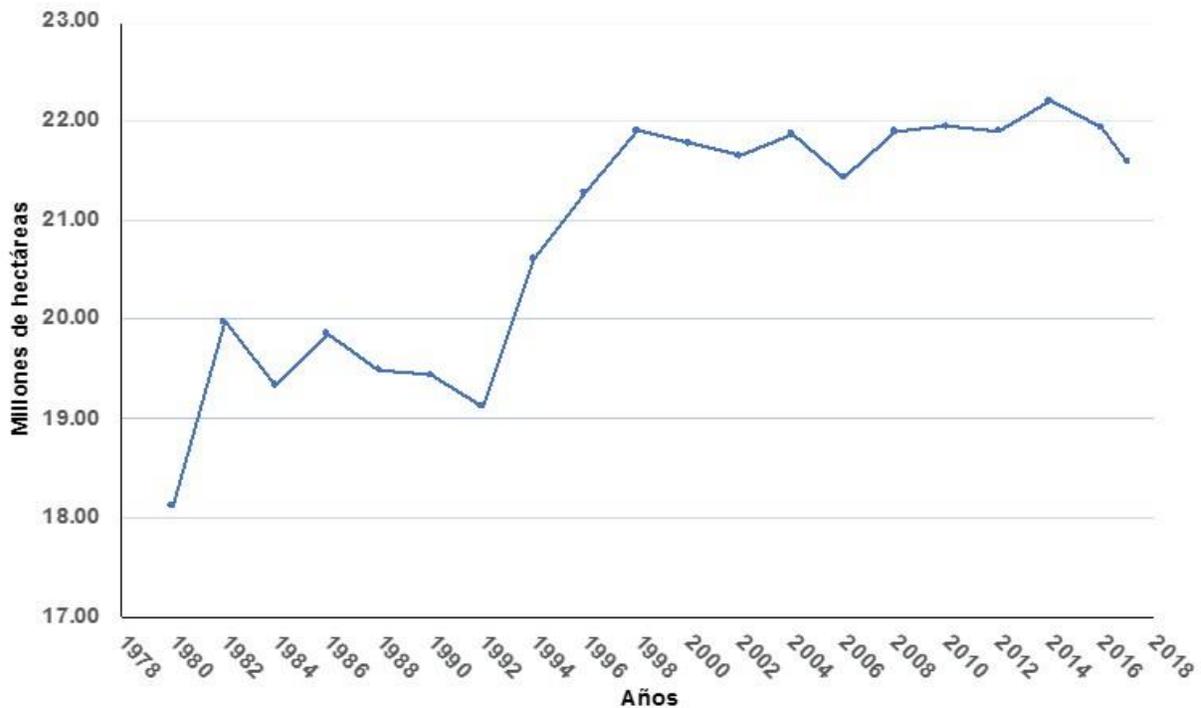


Figura 1. Área cultivada de maíz en México durante el periodo 1980-2017 (FAO, 2019)

## 2.1. Estadísticas de producción del maíz

La importancia económica del cultivo de maíz en México se refleja por su producción desde el año 2001 al 2017, observándose que representa más de dos tercios del valor neto de la producción agrícola, abarcando aproximadamente la mitad del total de la superficie dedicada a todos los cultivos (SIAP, 2019). Desde el punto de vista económico se puede visualizar claramente la importancia del maíz si se analizan las estadísticas mundiales, nacionales y estatales.

2.1.1. Panorama mundial. De acuerdo con los datos de la FAO (2019), la producción mundial de maíz en 2017 fue de 1,393, 981,150 t. Durante este ciclo China fue el principal productor en el mundo con un 37.19% (518,468,956 t), seguido por Estados Unidos con un 26.61% (370,960,390 t), mientras que, Brasil y Argentina aportaron 7.01% (97,721,860 t) y 3.55% (49,475,895 t) respectivamente. La India, Indonesia y México aportaron 2.06% (28,720,000 t), 2.01 % (27,952,000 t) y 1.99% (27,762,481 t) de la producción respectivamente (Figura 2). En este contexto, México se ubica como séptimo país productor de maíz en el mundo.

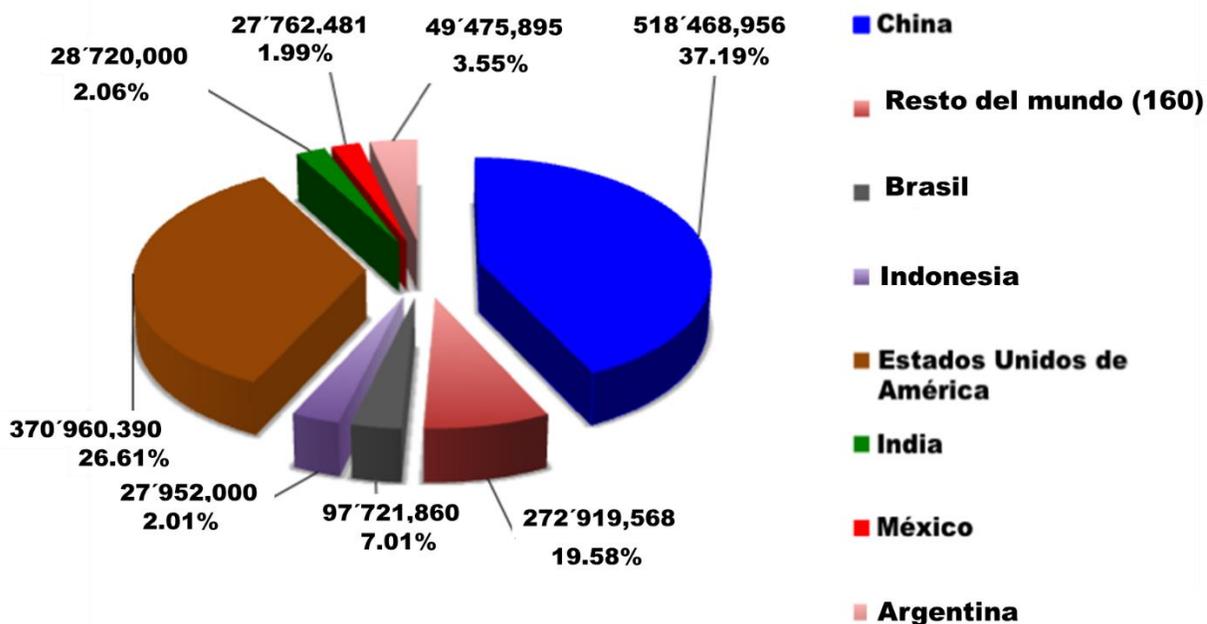


Figura 2. Principales países productores de maíz en toneladas (FAO, 2019)

2.1.2. Panorama nacional. De acuerdo con SIAP (2019), a nivel nacional se cosecharon 27,762,480.90 t de maíz en una superficie de 7,327,501.43 ha, siendo Sinaloa el principal estado productor de maíz, con una contribución del 22.21% (6,167,095.85 t) de la producción nacional, seguido por Jalisco que aporta el 14.50% (4,024,863.86 t), en tercer lugar se encuentra el Estado de México con el 8.0% (2,219,616.11 t), después se encuentra Michoacán con un 6.88% (1,911,238.75 t), mientras que Guanajuato contribuye con un 5.92% con una producción de 1,642,835.37 t (Figura 3).

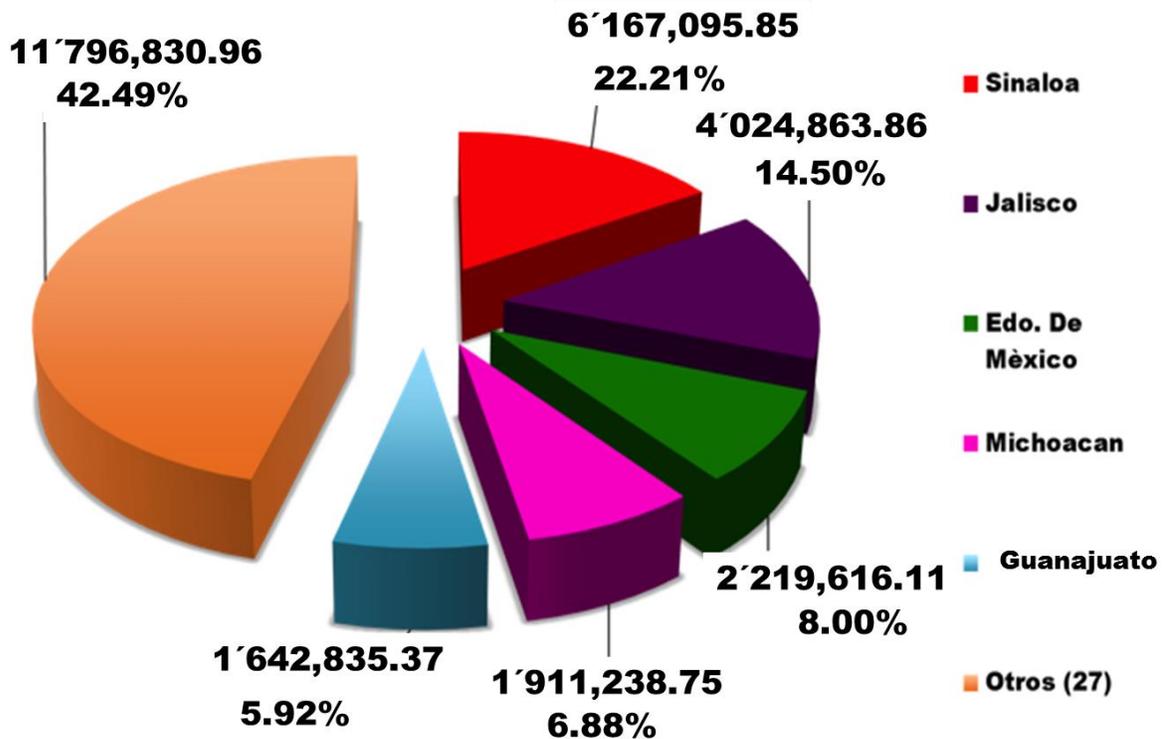


Figura 3. Principales estados productores de maíz en México en toneladas (SIAP, 2019)

2.1.3. Panorama estatal. De acuerdo con SIAP (2019), el estado de Sinaloa cosechó una superficie de 574,274.75 ha de maíz en el ciclo agrícola 2017, con una producción total de 6,167,095.85 de t y con rendimientos promedio de 10.74 t ha<sup>-1</sup>. El municipio de Culiacán fue el principal productor de maíz en Sinaloa, reportando un mayor porcentaje, con 17.51% (1,080,056.10 t) de producción comparado con Guasave que aportó un 17.18% (1,059,665.49 t), seguido por Ahome, Navolato y Sinaloa de Leyva que contribuyeron con 15.35%, 13.64% y 7.71% respectivamente, lo que representan una aportación a la producción estatal de 946,375.16; 841,165.10 y 475,608.26 t a la producción estatal respectivamente (Figura 4).

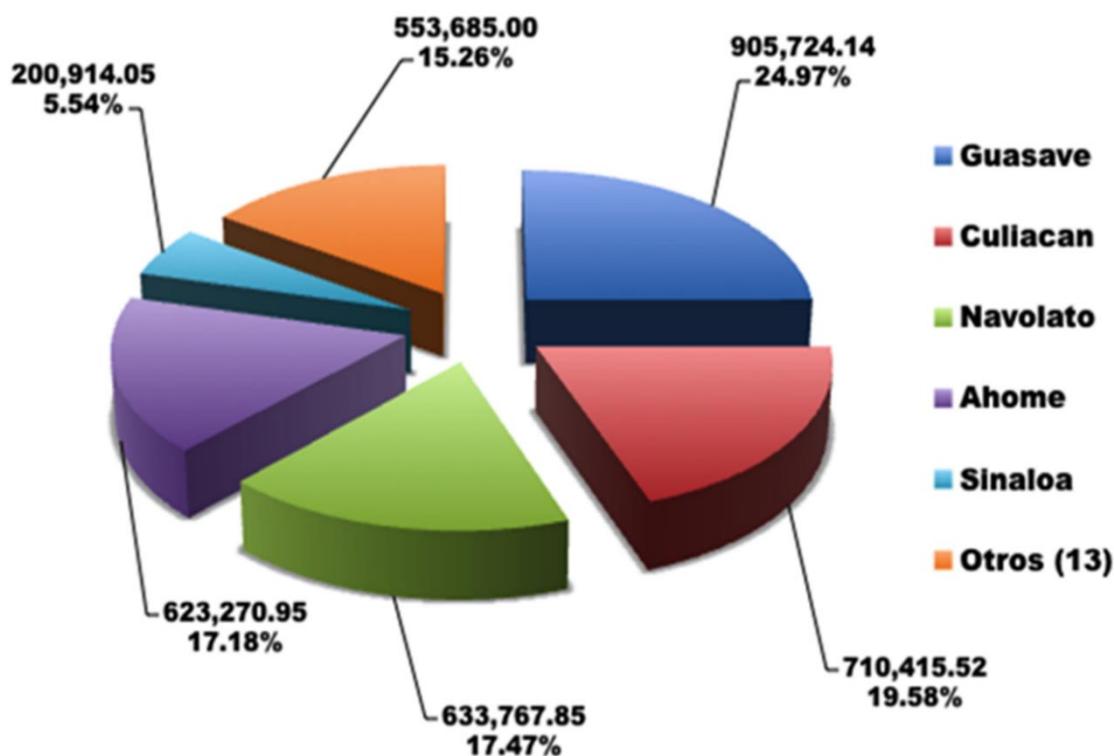


Figura 4. Principales municipios productores de maíz en Sinaloa en toneladas (SIAP, 2019)

## 2.2. Origen del maíz

La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la búsqueda del origen del maíz es un gran desafío científico. Hasta la fecha, los restos arqueológicos botánicos de maíz han sido descubiertos en cuevas del Valle de Tehuacán, con una antigüedad entre 4500 a 7000 años; en la cueva de Guilá Naquitz en los valles centrales de Oaxaca con una antigüedad de 6200 años aproximadamente (Benz, 2001).

Existen varias teorías que explican el posible origen del maíz, pero hoy en día la más aceptada es la teoría del teocintle como ancestro del maíz (Kato *et al.*, 2009).

2.2.1. Teoría del teocintle como ancestro del maíz. Dentro del proceso de evolución de teocintle a maíz se dieron varias etapas en las que hubo una evidente discontinuidad entre la morfología de la inflorescencia femenina del teocintle y la del maíz (Figura 5). El análisis de estructuras intermedias que se producen en la progenie de ambos, sugiere diferentes interpretaciones sobre el origen del maíz (Figura 6), y con ello previo

a las primeras exploraciones arqueológicas realizadas en el primer cuarto del siglo XX relacionado con el maíz, se iniciaron estudios de la genética celular del maíz y del teocintle. El estudio de la citogenética de la progenie del maíz y el teocintle, así como análisis morfológicos, dieron indicios sobre el origen del maíz al poder reproducir series morfológicas que sugerían un camino posible en la evolución del maíz desde el teocintle. El estudio de las diferencias y semejanzas en los cromosomas de los híbridos de maíz y teocintle, así como de la morfología de su progenie dieron elementos para proponer a la teoría general aceptada y apoyada actualmente, la cual postula al teocintle mexicano como ancestro del maíz cultivado, el cual fue originado mediante el proceso de domesticación llevada a cabo por la intervención humana, mejor conocida como la “Teoría del teocintle como ancestro del maíz”, propuesta por el botánico Ascherson, y fue defendida por McClintock, Collins, Emerson, Beadle, Arnason, Gutiérrez, Galinat, Wilkes, Doebley, Stec y Gaut. Sin embargo, la controversia no culmina ahí, dado que a falta de contundencia del registro fósil y la evidente diferencia de las mazorcas de ambas plantas, seguirán siendo factores que impiden una explicación satisfactoria del origen del maíz a partir del teocintle (Kato, 2009).

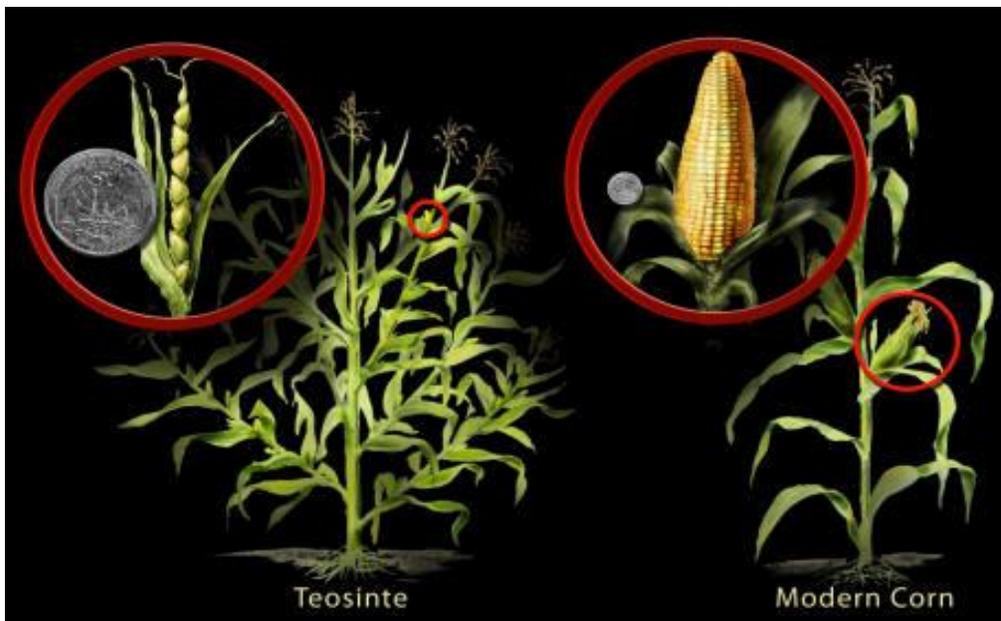


Figura 5. Comparación entre planta de teocintle y planta de maíz

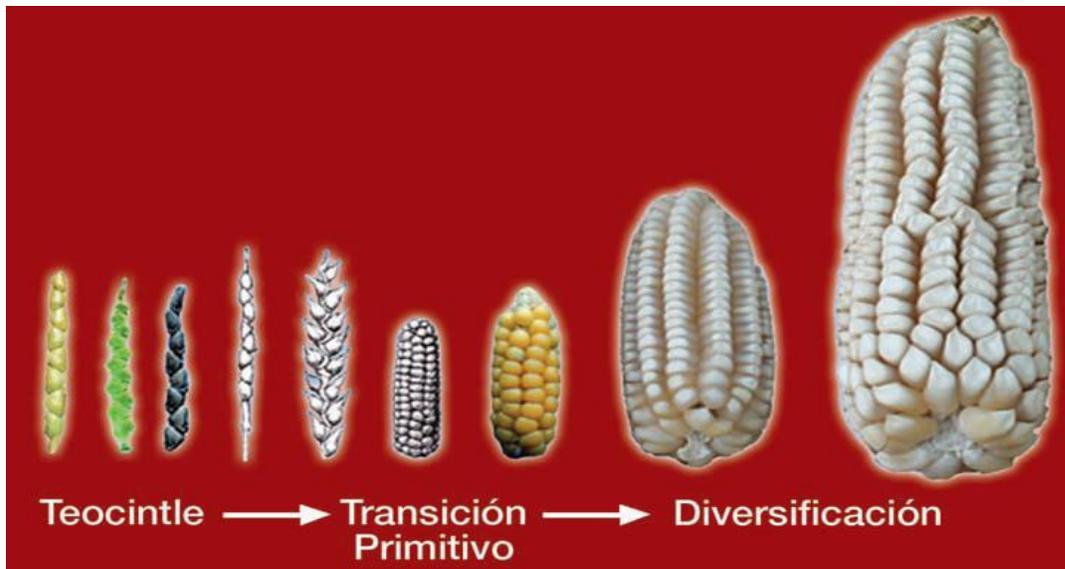


Figura 6. Posible secuencia morfológica evolutiva de la mazorca del teocintle a la mazorca del maíz

### 2.3. El maíz en Sinaloa

El estado de Sinaloa es caracterizado por el impacto agrícola que tiene a nivel nacional; no obstante, el cultivo de maíz no siempre fue importante. En el periodo de 1980-2017, se observa que en 1980, en el estado se sembraron 156,015.00 ha de maíz, y la mayor parte estaba ubicada bajo condiciones de temporal, al cultivarse 119,114.00 ha, tendencia que se mantuvo hasta el año 1989, con siembras de 92, 443 ha; sin embargo, para 1991, la situación cambió paulatinamente, al trasladarse la mayor cantidad de siembra de maíz hacia las áreas de regadío y convertir a Sinaloa a partir de 1993 en el primer productor de maíz en México(SIAP, 2019). Es importante destacar que aunado a lo anterior la cantidad de hectáreas sembradas bajo condiciones de temporal se fue reduciendo; a tal grado, que paso de 156,015 ha sembradas en 1980 a 27,793.47 ha en 2017 (SIAP-2019). Esto último, tiene una gran relevancia, dado que en estas áreas es donde se ubican los recursos genéticos de maíz de Sinaloa, y albergan más del 20% de la diversidad de maíz de México (Sánchez-Peña *et al.*, 2008).

## 2.4. Clasificación taxonómica y descripción botánica del maíz

El maíz (*Zea mays* L) es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género (Cuadro 1). Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teocintle y las del género *Tripsacum*, conocidas como arrocillo o maicillo, son formas silvestres emparentados con *Zea mays* (Paliwal, 2001).

Cuadro 1. Taxonomía del maíz (Paliwal, 2001)

Reino	Vegetal
Subreino	Embrionata
División	Angiospermae
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae (Gramínea)
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i>

El maíz es una planta monoica de porte robusto y de fácil desarrollo, presenta sistema radicular fasciculado bastante extenso formado por diferentes tipos de raíces: raíz seminal o primaria, que se originan del embrión, las raíces principales o secundarias, que comienzan a formarse a partir de la corona por encima de las raíces primarias, constituyendo casi la totalidad del sistema radicular, favoreciendo una mayor estabilidad de la planta y formando parte en el proceso fotosintético y las raíces aéreas o adventicias (Figura 7B), que nacen en el último lugar en los nudos de la base del tallo, por encima de la corona y sirven para dar anclaje a la planta (Valladares, 2010). El maíz tiene un tallo simple, erecto y de elevada longitud alcanzando hasta 5 m de altura (Figura 7C), con hojas que varían en longitud, pero por lo general son de gran tamaño, lanceoladas, alternas, se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades (Figura 7A; CIBIOGEM, 2019).

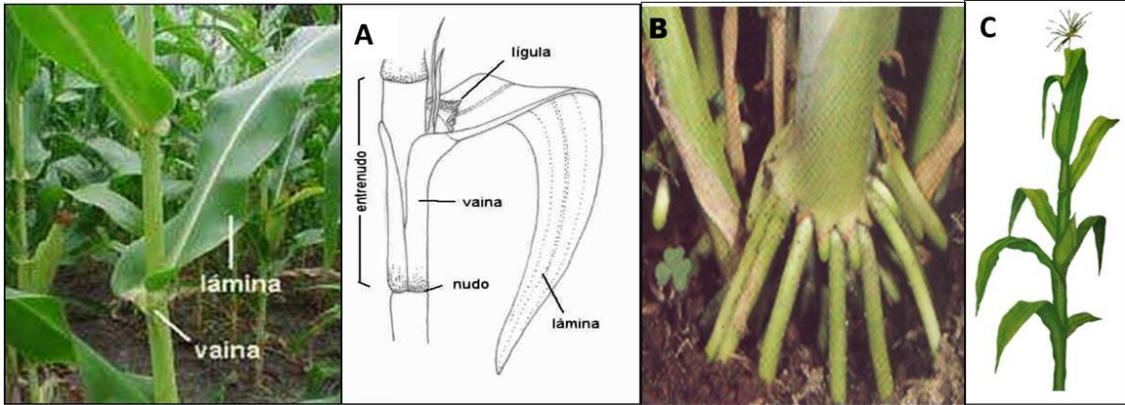


Figura 7. Partes de la hoja de maíz (A), raíces adventicias (B) y tallo del maíz (C)

El maíz presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia femenina o mazorca crece a partir de las yemas apicales en las axilas de las hojas y la inflorescencia masculina o panoja se desarrolla en el punto de crecimiento apical en el extremo superior de la planta, esta inflorescencia presenta una panícula de coloración amarilla, que posee una cantidad elevada de polen (20 a 25 millones de granos) con una estructura trinuclear; el cual tiene una célula vegetativa, dos gametos masculinos y numerosos granos de almidón; su gruesa pared tiene dos capas, la exina y la intina y es bastante resistente (Figura 8A). A causa de las diferencias de desarrollo entre las florecillas superiores e inferiores en las espiguillas masculinas y la maduración asincrónica de las espigas, el polen cae continuamente de cada espiga por un período de una semana o más. En cambio en la inflorescencia femenina, los estigmas son la prolongación del canal del estilo de los óvulos maduros en la mazorca. Dependiendo de la longitud de la mazorca y de las hojas que las cubren, los estambres pueden crecer hasta 30 cm o más para llegar al extremo de las hojas de cobertura o espatas para poder ser polinizados. Los estambres están cubiertos por numerosos pelos o tricomas colocados en ángulo abierto con el estambre, donde serán retenidos los granos de polen. El desarrollo de las flores femeninas y de los óvulos en la mazorca es acropétalo, desde la base hacia arriba (Figura 8B). El desarrollo de los estambres continúa por varios días y los estambres receptivos aparecen en 3 a 4 d; permaneciendo receptivos, y continúan creciendo por varios días después de su emergencia por encima de las hojas de cobertura hasta que son polinizados. El grano o fruto del maíz es un cariopse. La pared

del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del fruto. El fruto maduro está formado por tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. La parte más externa del endospermo en contacto con la pared del fruto es la capa de aleurona (Cheng y Pareddy, 1994; Paliwal 2001).

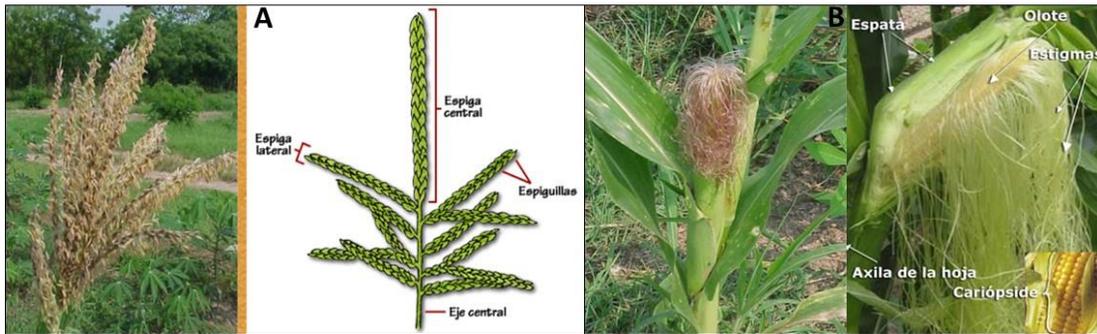


Figura 8. Inflorescencias masculina (A) y femenina (B) del maíz

## 2.5. Genética del maíz

El maíz (*Zea mays* L) es una de las especies que ha recibido más atención en lo que se refiere a los estudios citogenéticos. Tiene un juego básico de diez cromosomas, es decir  $2n=20$ ; sin embargo, existen otras especies dentro del género *Zea* que también tienen un número cromosómico  $2n=20$  (*Zea diploperennis*), pero otras son tetraploides, como el caso de (*Zea perennis*) cuyo número cromosómico es 40. Ciertas razas de maíz poseen uno o más cromosomas adicionales (cromosomas B) por encima del juego básico de 10 cromosomas. Estos cromosomas adicionales son de menor tamaño, son considerados no esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de la planta y no contienen ningún gen esencial (Paliwal, 2001). A nivel cromosómico es posible encontrar estructuras más condensadas a lo largo del cromosoma llamadas nudos cromosómicos (knobs en inglés) y son bloques de heterocromatina (Kato, 1976; McClintock, 1978) y pueden estar en 34 posiciones diferentes (Kato, 1976). Por otro lado, Bárbara McClintock, en 1950, fue la primera en informar sobre entidades genéticas; a la que denominó trasposones (genes saltarines); que se pueden mover al sitio de un gen para color y alterar la formación del color del grano, dando lugar a sorprendentes modelos de colores variegados. Las investigaciones realizadas por McClintock revolucionaron el concepto del genoma; en

el sentido, que hasta entonces era interpretado como un conjunto de instrucciones estáticas que pasaba a través de las generaciones. Estos revolucionarios descubrimientos en el campo de la genética le hicieron merecedora en 1983 del premio Nobel de medicina. Adicionalmente, se logró descifrar el genoma del maíz que contiene 32,000 genes insertados en los 10 pares de cromosomas y una longitud de 2,300 millones de nucleótidos, pero casi el 85% del genoma se compone de cientos de familias de elementos transponibles, dispersos de manera no uniforme en todo el genoma (Schnable *et al.*, 2009).

## **2.6. Clasificación racial del maíz**

La caracterización de las colecciones de germoplasma es un paso fundamental dentro del manejo de colecciones, dado que permiten, conocer, depurar u organizar los materiales y sobre todo identificar genotipos valiosos para ser usados directamente o utilizarlos en programas de mejoramiento genético. Las plantas cultivadas con importancia económica tienen sus patrones de identificación y caracterización; para llegar a estos protocolos se han realizado estudios básicos de las características para conocer la variabilidad de los rasgos cualitativos o cuantitativos que han resultado ser más útiles para la descripción (CIMMYT, 1991).

En México los primeros estudios sobre clasificación del maíz datan del siglo pasado, cuando Chávez en 1913 describió 58 diferentes maíces en función de formas, tipos y nombres comunes que se les daban en los lugares de colección. Posteriormente, se inician los trabajos de caracterización a partir del concepto de raza, que fue definida como “un grupo de individuos relacionados, con suficientes características en común como para permitir su reconocimiento como tal” (Anderson y Cutler, 1942). A partir de esto, el primer trabajo de clasificación racial de los maíces se realizó en México hace aproximadamente 52 años por Wellhausen, Roberts y Hernández, en colaboración con Manglesdorf quienes después de 7 años de recolección de aproximadamente 2000 muestras, clasificaron las razas de maíz de México y publicados en 1951 en la obra titulada “Razas de maíz en México; su origen, características y distribución”, mismas que fueron ordenadas en cinco grupos que tenían características similares; el grupo de las indígenas antiguas (cuatro razas), indígenas precolombinas (cuatro razas), mestizas prehistóricas (13 razas), modernas incipientes (cuatro) y el grupo de siete

razas denominadas como no bien definidas (Wellhausen *et al.*, 1951). Por otro lado, estudios posteriores realizados por Hernández y Alanís en 1970 describen cinco razas nuevas, la raza Apachito, Azul, Bofo, Gordo y Tabloncillo de ocho. En 1979, Ortega-Paczka en 1979 propone 10 razas más, Ancho, Coscomatepec, Cristalino de Chihuahua, Elotero de Sinaloa, Motozinteco, Nal-Tel de Altura, Negro de Chimaltenango, Palomero de Chihuahua, Ratón y Tuxpeño Norteño y clasificó en seis sub razas: Palomero Jalisciense, Palomero Poblano, Elotes Occidentales, Elotes Cónico, Tabloncillo Perla y Dzit-Bacal, las poblaciones descritas como no bien definidas por Wellhausen *et al.* (1951), dando como total de 46 razas. Para el 2011, ya se contaba con 59 razas. Aragón *et al.* en 2003 a partir de la base de datos de CIMMYT e INIFAP mencionan la existencia de 2 razas más, dando un total de 61 razas, muchas de las cuales se presentan en la Figura 9.



Figura 9. Algunas razas reportadas en México (fotografía tomada en el banco de germoplasma de CIMMYT)

## 2.7. Fuentes de variabilidad

Son diversas las fuentes que producen la variabilidad para las especies de plantas cultivadas, entre ellas están, la evolutiva, geográfica y la de domesticación (Franco e Hidalgo, 2003). Evolutiva: es la variabilidad producida durante los procesos evolutivos que se dan en una especie, principalmente en las etapas de aislamiento reproductivo, así como la dinámica que la especie ha tenido y continúa teniendo en

condiciones naturales. Se considera que los patrones de diversidad genética de las plantas cultivadas se han dado por la interacción de los factores como: mutación, migración, recombinación, selección (natural y artificial) y deriva genética; en la geográfica: esta variabilidad es importante en aquellas plantas cultivadas que tienen un amplio rango de distribución geográfica, dado que además de su dispersión natural han sufrido la extensa dispersión artificial realizada por el ser humano, y en estos casos, las especies al llegar a un nuevo nicho ecológico inician un proceso evolutivo en el cual crean variantes genéticas de adaptación como respuesta en los componentes ambientales, con este hecho se espera que entre mayor rango de dispersión geográfica, se presente una mayor variabilidad en las especies vegetales; mientras que en la de domesticación, el hombre se ha encargado de ejercer una fuerte presión de selección en este proceso; esto, ha permitido la preservación de muchas variantes las cuales, posiblemente hubieran desaparecido en condiciones naturales; nuevas características enfocadas al manejo agronómico y aumento de la producción de los cultivos han sido inducidas por el hombre, este fenómeno se puede encontrar en todas las especies cultivadas, principalmente en cereales (maíz, trigo y arroz), papa, frijol y otras. Dentro del proceso de domesticación se pueden encontrar dos etapas distintas de presión de selección, la primera es la domesticación que abarca el proceso de selección empírica, en la cual el hombre fue adaptando las especies para suplir sus necesidades básicas en alimentación, vestido, salud e industria, aquí el hombre seleccionaba aquellas características de las especies que le resultaran de mayor interés para ser conservadas. La segunda etapa fue el descubrimiento de la genética, el cual permitió una forma alterna a la naturaleza de ampliar su variabilidad en corto tiempo, misma que se ha utilizado desde el comienzo del siglo XX por genetistas y mejoradores para producir nuevas variantes genéticas mediante infinidad de cruzamientos, todos ellos en busca de solucionar problemas que enfrenta la agricultura en la producción.

## **2.8. Caracterización de la diversidad**

En la caracterización de una especie se estima la variabilidad que existe en el genoma de la población de individuos que la conforman. Los objetivos principales de la caracterización son: medir la variabilidad genética del grupo en estudio, para la cual

hay diferentes formas de medirla (fenotípica, agronómica, citogenética y molecular), utilizando en todas ellas descriptores previamente definidos, los cuales permiten la discriminación entre fenotipos, por general son caracteres altamente heredables que pueden ser fácilmente detectados a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes; otro objetivo es, establecer la representatividad de la colección y su relación con la variabilidad de la especie en una región, o con la diversidad total de la especie; investigar la estructura genética, es decir, como se compone la colección estudiada en relación con las variables evaluadas o sus combinaciones que forman grupos o poblaciones identificables. Otro objetivo de la caracterización de las plantas, es identificar genes especiales o alelos particulares que pueden ser de carácter individual o en combinaciones únicas que se pueden expresar en caracteres visibles (fenotípicos), que son utilizados para investigaciones de aplicación práctica inmediata. De esta manera se puede decir que hay diferentes tipos de caracterización (Franco e Hidalgo, 2003).

2.8.1. Caracterización morfológica o fenotípica. La caracterización morfológica es el método clásico utilizado para describir los patrones de diversidad entre los grupos de plantas. Esto, a pesar de que es un método indirecto de medir la diversidad genética, ya que el ambiente tiene gran influencia en la morfología de la planta; este método, tiene muchas bondades, entre las que destacan, el hecho que en plantas cultivadas generalmente no requiere ni equipo sofisticado, ni procedimientos complejos; de la misma manera, los rasgos morfológicos se pueden registrar independientemente del mecanismo de herencia que éstos tengan (Bretting y Widrlechner, 1995). Este método es el que se utilizó para caracterizar las poblaciones mexicanas, de América Central y de América del Sur en razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Wellhausen *et al.*, 1957; Roberts *et al.*, 1957; Ramírez *et al.*, 1960; Grobman *et al.*, 1961; Timothy *et al.*, 1961; Grant *et al.*, 1963; Timothy *et al.*, 1963).

2.8.2. Caracterización agronómica. Son caracteres que posiblemente no identifiquen a la población en estudio, pero que son importantes desde el punto de vista agronómico; y los mejoradores los consideran de relevancia en los esquemas de mejoramiento genético, siendo el rendimiento uno de los descriptores agronómicos de mayor importancia (Franco e Hidalgo, 2003).

2.8.3. Caracterización citogenética. Con los avances científicos han aparecido otros métodos para caracterizar la diversidad vegetal, especialmente en maíz. En este sentido, la utilización de los caracteres citogenéticos ha sido utilizada para la caracterización de germoplasma en las últimas décadas, pero en menor medida en la actualidad. Los rasgos citogenéticos más comúnmente utilizados son el número de cromosomas y la morfología cromosómica; sin embargo, se pueden evaluar otras características de los cromosomas, por ejemplo, tamaño, posición del centrómero y la presencia de nudos. En maíz destacan los estudios que permiten la constitución cromosómica de las razas de maíz de México y América Central, incluyendo características tales como cromosoma 10 anormal, cromosomas B, la posición y tamaño de los nudos cromosómicos (McClintock *et al.*, 1981).

2.8.4. Caracterización molecular. La caracterización molecular constituye una herramienta complementaria a las evaluaciones agro-morfológicas, está constituida por un grupo de técnicas que permiten detectar diferencias a nivel de secuencias de ADN. Para este tipo de estudios, se utilizan marcadores moleculares (fragmento específico de ADN), que evitan que el efecto del ambiente enmascare la variabilidad (Yanez, *et al.*, 2003). La caracterización basada en estudios del ADN está ganando popularidad en los últimos años al grado tal que, de manera continua surgen nuevos métodos, pero todos ellos con el mismo principio, el análisis de una parte del ADN de los individuos de la población. La primera técnica molecular que utiliza el ADN para la caracterización fue, la del polimorfismo en la longitud de los fragmentos de restricción, mejor conocida como RLFPs (Smith *et al.*, 1997). Posteriormente, con la introducción de la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), en la década de 1980 revolucionó el estudio del ADN, de esta manera surgen paulatinamente técnicas como, la del ADN polimórfico amplificado al azar, o análisis RAPD, la del número variable de repeticiones en tándem (VNTR) que toman su nombre de acuerdo con la longitud de sus unidades repetitivas y se les llama minisatélites, cuando las unidades centrales varían en longitud desde 11 hasta 60 pares de bases o microsatélites cuando las unidades centrales tienen entre 2 y 5 nucleótidos, esta última también llamada SSRs o repeticiones de secuencia simple (Litt y Luty, 1989) y se prevé que a mediano plazo

los polimorfismos de nucleótidos individuales, también llamados SNPs serán los marcadores de elección para muchas aplicaciones genéticas (Sansaloni *et al*, 2010).

## **2.9. Diversidad del maíz en México**

En Latinoamérica de los 484 grupos raciales reportados, en México se encuentran de 59 a 61; además, es considerado el centro de origen del maíz, lugar donde se encuentra una gran diversidad, la cual se atribuye a su geografía y cultura (Serratos, 2012). Los antiguos agricultores seleccionaban el mejor maíz para sus ambientes y usos específicos, como resultado de ello, se generaron distintos maíces (Leary, 2016). En la actualidad, lo que se observa en México es una variación continua en la diversidad de maíz, sobre todo en sus caracteres cuantitativos, como: los tamaños de la mazorca, del grano y rasgos por el estilo, producto del tipo de reproducción del maíz y del manejo dado por los campesinos, ocasionando que las poblaciones posean combinaciones de diferentes razas (Sánchez, 2011).

## **2.10. Diversidad del maíz en Sinaloa**

En el estado de Sinaloa, el cultivo de mayor importancia económica es el maíz, esto debido a que en los últimos 35 años, se ha observado un crecimiento acelerado en superficie, producción y rendimiento; dicho crecimiento, se debe al auge adquirido por el cultivo bajo condiciones de riego, mientras que, bajo condiciones de temporal; modalidad en la que se cultivan los maíces nativos; se ha observado una continua reducción de superficie (SIAP, 2019). Bajo condiciones de temporal el maíz se siembra en 15 de los 18 municipios en los que geográficamente se divide el estado. Los de mayor importancia en cuanto a área sembrada, son: Culiacán, Sinaloa de Leyva Badiraguato, San Ignacio y Cósala, que en conjunto cultivan el 69% del total de hectáreas sembradas. Los municipios donde el maíz nativo es imperceptible son Ahome, Guasave y Navolato, debido principalmente por su ubicación en planicies costeras, donde predominan las zonas irrigadas en Sinaloa (Palacios *et al.*, 2008). Una colecta de 152 poblaciones de maíces de Sinaloa realizada en 15 de los 18 municipios reportó que éstas, pertenecen principalmente a nueve razas: Tabloncillo, Tuxpeño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo Perla, Blando de Sonora, Reventador, Vandeño, Onaveño y Jala (Palacios *et al.*, 2008; Figura 10). Lo anterior, indica que en Sinaloa,

persisten maíces nativos de la mayoría de las razas reportadas en los antecedentes de investigación de este tipo para el estado. No obstante que el último reporte de la diversidad racial de maíz en Sinaloa menciona la existencia de nueve razas, podemos confirmar que en el estado de Sinaloa existen también la raza Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Ratón y Ancho, colectadas y conservadas (*in situ* y *ex situ*) en investigaciones realizadas por la Universidad Autónoma de Sinaloa (Morales, 2012; Gómez, 2016; Figura 11). Sin embargo, el estudio más reciente de clasificación de la CONABIO reporta la existencia de 16 grupos raciales y uno no bien definido para el estado de Sinaloa: Tabloncillo, Tuxpeño, ND, Tabloncillo Perla, Blando, Chapalote, Elotero de Sinaloa, Reventador, Dulcillo del Noroeste, Onaveño, Vandeño, Conejo, Bofo, Celaya, Cubano Amarillo, Dulce y Jala (Serratos, 2012).

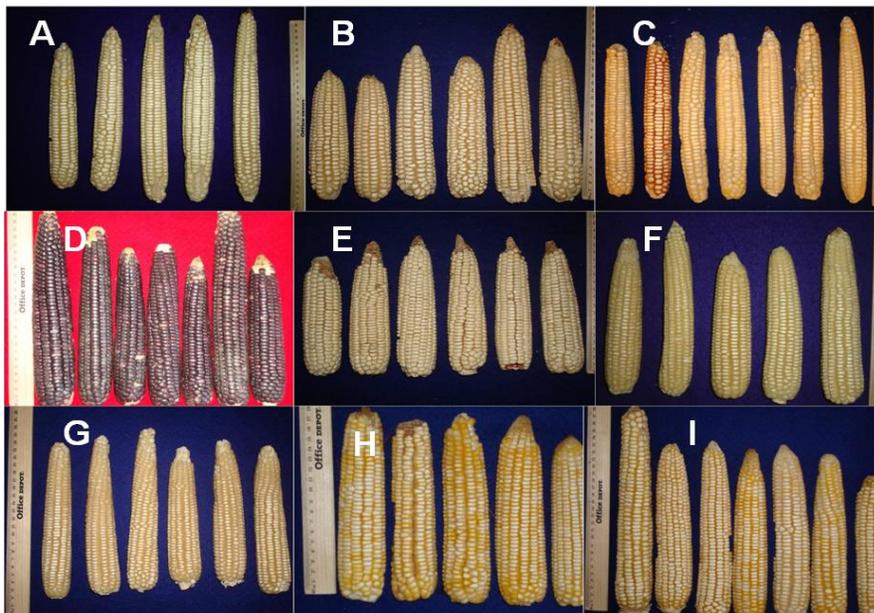


Figura 10. Razas de maíz reportadas en el estado de Sinaloa: Tabloncillo (A), Tuxpeño (B), Tabloncillo Perla (C), Elotero de Sinaloa (D), Blando de Sonora (E), Onaveño (F), Reventador (G), Vandeño (H) y Jala (I)



Figura 11. Razas de maíz existentes en Sinaloa: Chapalote (A), Dulcillo del Noroeste (B), Bofo (C), Ratón (D) y Ancho (E)

## 2.11. Conservación de los recursos genéticos de maíz

El interés general por los recursos genéticos se basa en las posibilidades que ofrece su utilización y éstos son punto de partida necesario para la mejora de las plantas. Hasta ahora, la reflexión sobre la gestión de los recursos genéticos es considerado un modelo lineal de tres pasos, conservación, evaluación y utilización. Son sistemas donde se espera que los recursos genéticos se mantengan de la mejor manera posible, es decir, usando métodos que conserven con el tiempo el estado genético inicial de las poblaciones y les confiera vida más larga. En este sistema, las características importantes de la conservación, son la estabilidad, disponibilidad y permanencia del recurso y de la diversidad (Morales, 2012).

En México las numerosas variedades de maíces nativos que tienen diferentes usos, siguen siendo el sustento de miles de familias rurales mexicanas. Sin embargo, ante el proceso de globalización se ha adoptado un estilo “moderno” de alimentación. Este hecho, junto con otros factores como el abandono del campo, la pérdida de memoria biocultural y el cambio climático, hacen que peligre la existencia de los maíces nativos; los cuales, además de ser parte del patrimonio biocultural que México ha dado al mundo y a sus habitantes, son el sustento de miles de familias en zonas rurales; por lo que, su protección y conservación es de suma importancia (Fernández *et al.*, 2013). No obstante, los esfuerzos que en diferentes épocas se han realizado para la conservación del maíz como un recurso genético, no se ha podido lograr un impacto significativo en el conjunto del sector agrícola. Este problema se agrava en el caso de este cultivo, para los productores de zonas de temporal (Serratos, 2009).

A través de la historia del estudio y exploración de la diversidad del maíz, se puede observar que existen dos grandes formas de conservar estos recursos: la colecta y resguardo de muestras de maíz en bancos de germoplasma (conservación *ex situ*), y la conservación *in situ* donde se brinda el apoyo a los campesinos que le permitan la conservación del maíz en su lugar de origen (Serratos, 2009).

2.11.1. Conservación *ex situ*. Esta conservación la han desarrollado instituciones públicas, privadas y gobiernos interesados en preservar y tener a la mano la mayor diversidad genética de cultivos de interés para la alimentación y la agricultura, principalmente de importancia económica en el comercio mundial. De aquí que se

desarrollaron desde los años 40's acciones para conocer, reunir, caracterizar, conservar en cuartos fríos o laboratorios biotecnológicos; llamados bancos de germoplasma; y utilizar la variabilidad genética de las plantas de interés en diferentes programas de mejoramiento (CONABIO, 2008, Figura 12). La conservación de estos materiales no solamente es benéfica para lo descrito anteriormente; también lo es cuando un desastre natural o de otra índole destruye las reservas de semilla de maíz y/o sembradíos de los agricultores en algún país. Cuando esto sucede, se otorga semillas a los agricultores para sembrar de nuevo, y así auxiliar a las familias campesinas y restaurar la producción de cultivos. Instituciones como el Centro de Investigación de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), conservan en su banco de germoplasma 24,000 muestras de semilla de maíz y trigo aproximadamente, incluida la colección más grande del mundo de razas criollas y muestras de parientes silvestres del maíz (teocintle y tripsacum), así como variedades mejoradas. Otras instituciones, como las mencionadas, resguardan diferentes cantidades de accesiones y sus parientes silvestres en forma de conservación *ex situ* (Gómez, 2016).



Figura 12. Conservación *ex situ* en Banco de Germoplasma Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FAUAS)

2.11.2. Conservación *in situ*. Es una alternativa complementaria a la conservación *ex situ*, donde se promueve conservar los recursos genéticos en los lugares donde éstos tienen su asentamiento natural; además, promueven el mantenimiento del paisaje, los agroecosistemas y los recursos fitogenéticos en el sitio en que se han desarrollado por los agricultores o campesinos (Figura 13). La ventaja principal de la conservación *in situ* es, que los procesos de adaptación genética continúan resultado de los procesos de selección y evolución de los cultivos que permiten el desarrollo de germoplasma nuevo; también se dan los procesos de conservación de suelo; reducción del uso de

plaguicidas, fortalece la economía de la unidad familiar al depender menos de insumos externos y representa soberanía productiva y del territorio, ya que es llevada por los agricultores y poseedores de los recursos, quienes deberían ser los más indicados para percibir cualquier beneficio proveniente del material genético que ellos conservan (Smith, 2002; Jarvis *et al.*, 2006).

La diversidad genética de los maíces nativos se mantiene principalmente al uso de este cereal en la alimentación básica de las comunidades rurales e indígenas; los cuales a la vez, son promotores naturales de la conservación y generación de la biodiversidad *in situ* (González-Cortes *et al.*, 2016). Sin embargo, Vidal-Martínez *et al.* (2010) indican que los maíces nativos como polos fitogenéticos de biodiversidad se ven amenazados de forma creciente por factores, socioeconómicos, políticos, comerciales, bióticos y abióticos.



Figura 13. Conservación *in situ* de maíces nativos en el municipio de Concordia

La conservación *in situ* es realizada por los productores de maíces nativos. Según Cárcamo (2011), el número de productores de maíz nativo en México, son alrededor de 3 millones. Por otro lado, se tiene documentado que en el proceso de dispersión del maíz, el ambiente y la selección aplicada por grupos antiguos mesoamericanos han jugado un papel definitorio en la formación de nuevas razas, con características propias, que a pesar del constante intercambio genético, se han mantenido en cuanto a su identidad fenotípica por los agricultores (Ortega *et al.*, 2011). Castro *et al.* (2006), mencionan que la variación total presente en los materiales nativos de una región puede incrementar la productividad en un 20% si se establecen esquemas de mejoramiento *in situ*. La conservación del germoplasma nativo depende fundamentalmente de la protección que se otorgue a los agricultores en pequeña

escala a través de subsidios, asesoría técnica, y con programas de desarrollo rural bien planeados y adaptados a las condiciones reales del medio (Kato *et al.*, 2009). Adicionalmente, la revalorización de los usos tradicionales y el impulso estratégico de usos novedosos, pueden contribuir notablemente a la conservación *in situ* de los maíces nativos (Fernández *et al.*, 2013). Recientemente en la conservación *in situ* se ha avanzado hacia un mayor acercamiento y colaboración de instituciones, investigadores y agricultores para explorar, identificar, caracterizar, mejorar, evaluar, seleccionar y difundir los materiales con que cuentan ambos para atender necesidades locales y regionales, en relación a los recursos fitogenéticos, especialmente maíz, que en conjunto, se ha denominado mejoramiento participativo (Morales, 2012).

## **2.12. Estudios de caracterización *in situ***

Para la utilización de un recurso de manera sustentable se necesita: que se encuentre disponible, que se tenga información sobre sus cualidades y que siempre esté al alcance de quien hará uso de él; por esto, la trilogía colección, caracterización y conservación de los recursos constituye este andamiaje que permite, no solo el aprovechamiento de éstos en un momento específico, sino también su mantenimiento en el tiempo para generaciones futuras. La conservación y caracterización se puede realizar en dos modalidades, *in situ* y *ex situ*. Tal y como se abordó el concepto de conservación *in situ* previamente, la caracterización *in situ* debe ser entendida como aquella que se realiza donde se encuentran los recursos. En este sentido, dicho concepto es aplicado como tal en especies perennes y se tienen numerosos ejemplos que dan cuenta de ello en zapote (Quesada, 2003), mamey (Bayuelo-Jiménez y Ochoa, 2006), Mora (Moreno *et al.*, 2011), .pitahaya (Mejía *et al.*, 2013), cacao (Pérez *et al.*, 2015) y chile silvestre (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2017), entre otros.

Para especies anuales; como el caso que nos ocupa en maíz; la caracterización *in situ* es referida como aquella que se realiza en un ambiente global en el que se desarrollan un grupo de poblaciones; de esta manera, tenemos el estudio de Montes-Hernández *et al.* (2014), que caracterizaron poblaciones de la raza Jala en tres ambiente en los que desarrollan ésta, encontrando que existe poca variación fenotípica y que las variables que más explican la variación observada fueron longitud de mazorca y las

alturas de planta y mazorca. Sin embargo, si se utiliza el enfoque planteado de la caracterización *in situ* en plantas perenes, se tienen estudios en maíz, pero únicamente para características de mazorca (Sánchez-Peña *et al.*, 2008; Lugo, 2009; Leyva, 2009 y Rincón *et al.*, 2010 y González-Martínez *et al.*, 2019). La mayoría de los estudios de caracterización de maíces nativos se realizan fuera del lugar donde estos son cultivados, de esta manera existen diversos estudios que reportan variación significativa entre poblaciones de maíces nativos para características vegetativas y reproductivas (Valdez y Sicairos, 2010; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Morales, 2012; Navarro-Garza *et al.*, 2012; Contreras-Molina *et al.*, 2016 y Romero *et al.*, 2018). Sin embargo, no existen reportes de caracterización completa *in situ* que engloben características vegetativas y reproductivas del maíz; por lo que la aportación del estudio aquí presentado fue de caracterización en forma total *in situ* (lugar donde son cultivados) de las poblaciones de maíces nativos.

### **III. HIPÓTESIS**

Existe variación agromorfológica *in situ* en las poblaciones de maíces nativos de Concordia, Sinaloa, México.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Caracterizar la variación agromorfológica *in situ* de las poblaciones de maíces nativos de Concordia, Sinaloa, México.

### **4.2. Objetivos específicos**

1. Colectar poblaciones de maíces nativos en el municipio de Concordia, Sinaloa.
2. Evaluar el comportamiento *in situ* de poblaciones de maíces nativos en el municipio de Concordia, Sinaloa.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización del experimento

La caracterización agro-morfológica *in situ* se realizó en la zona serrana de la comunidad El Purgatorio del municipio de Concordia, localizado al sur del estado de Sinaloa (Figura 14), a  $23^{\circ} 17' 18''$  N,  $106^{\circ} 4' 3''$  W, y una altitud promedio de 478 m; su clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias principalmente en verano; presenta una temperatura media anual de  $24^{\circ}\text{C}$  (INEGI, 2016).



Figura 14. Localización de la comunidad El Purgatorio, Concordia

### 5.2. Poblaciones evaluadas

Se evaluaron 15 poblaciones de maíces nativos: Blando de Sonora (BLA), Breve San Juan (BSJ), Burrito (BUR), Cascaringa (CAS), Chapalote (CHA), Chilero (CHI), Chino (CHN), Colita (COL), Enano (ENA), Huesito (HUE), Jala (JAL), Pepitilla (PEP), Posolero (POS), Serrano Amarillo (SEA) y Zorrita (ZOR), colectadas en la comunidad El Purgatorio de acuerdo a la metodología propuesta por Hernández y Alanís (1970). La caracterización agro-morfológica se realizó en condiciones de temporal en un estudio observacional durante todo el ciclo del cultivo (junio del 2017 a diciembre 2017), de acuerdo con la metodología de CIMMYT/IBPGR (1991). En la parcela donde estaba ubicada cada población, se seleccionaron aleatoriamente 30 plantas con competencia completa a las cuales se les evaluaron 24 variables.

### 5.3. Variables evaluadas

Se evaluaron un total de 24 variables respuestas. Estas se dividieron en cinco categorías: a) variables vegetativas, en la que se incluyeron los caracteres altura de planta (ALP), altura de mazorca (ALM), número de hojas arriba de la mazorca (NHA), número de hojas bajo de la mazorca (NHB); b) variables de espiga como, longitud de espiga (LOE), longitud de espiga central (LEC) longitud de pedúnculo de la espiga (LPE), longitud de la parte ramificada de la espiga (LRE) y número de espiguillas (NES); c) variables de mazorca en las que se encontraron, longitud del pedúnculo de la mazorca (LPM), número de hileras de la mazorca (NHM), longitud de mazorca (LOM), diámetro de mazorca (DIM), peso de mazorca (PEM), peso de olote (PEO) y diámetro de olote (DIO); d) variables de grano, como el grosor de grano (GRG), ancho de grano (ANG), longitud de grano (LOG), volumen de 100 grano (VOG) y peso de 100 granos (PEG); e) variables de productividad, tales como, el rendimiento de grano (REG), relación grano-olote (RGO), y rendimiento estimado en  $t\ ha^{-1}$  (RTH).

5.3.1. Variables vegetativas. La altura de planta (ALP), se tomó a partir del punto en que la planta se encuentra en contacto con la superficie del suelo hasta la base de la espiga, se midió con una regla y el resultado se expresó en centímetros (Figura 15). Para el caso de la altura de mazorca (ALM), se midió a partir del punto en que la planta se encuentra en contacto con la superficie del suelo hasta el nudo del tallo donde se inserta la mazorca principal (superior), y fue medido de la misma manera que la variable anterior (Figura 15). Las variables número de hojas arriba (NHA) y bajo (NHB) se contabilizó el número de hojas encontradas por encima de la mazorca principal y bajo de la misma respectivamente (Figura 15).

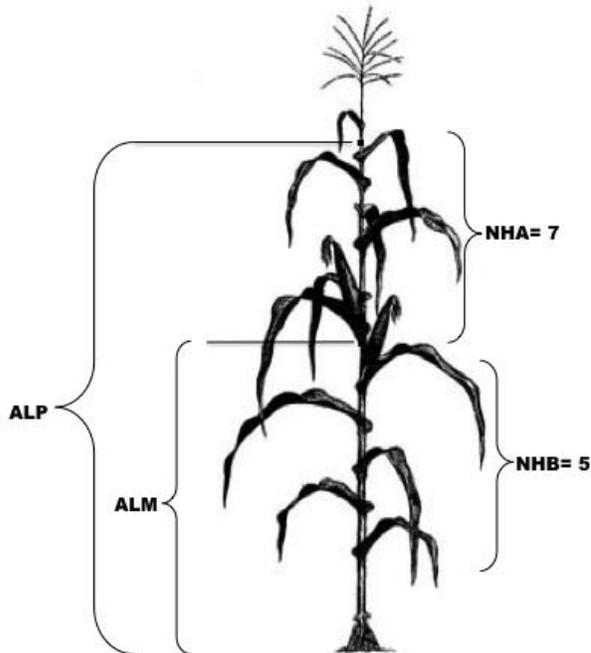


Figura 15. Altura de planta (ALP) y mazorca (ALM), así como número de hojas arriba (NHA) y bajo (NHB) de la mazorca principal

5.3.2. Variables de espiga. La longitud de espiga (LOE), se midió desde la parte inferior del pedúnculo de la espiga, hasta el extremo superior de la espiga central y se expresó en cm; la longitud de espiga central (LEC), se tomó desde el extremo inferior en el que sale la primera ramificación de la espiga hasta el extremo superior de la espiga central y se expresó en cm; mientras que la longitud de pedúnculo de la espiga (LPE), se consideró desde el nudo en que sale la última hoja de la planta hasta el punto donde se inserta la primera espiga y se expresó de la misma manera que la variable anterior (Figura 16). Por otro lado la longitud de parte ramificada de la espiga (LRE) se tomó en cm a partir de lugar donde se inserta la primer ramificación de la espiga hasta el lugar donde sale la última espiguilla sobre la espiga (Figura 16); en todas las variables anteriores de espiga, se utilizó una regla métrica. Finalmente el número de espiguillas (NES) se realizó contando el número de espiguillas primarias, secundarias y terciarias encontradas en la espiga (Figura 16).

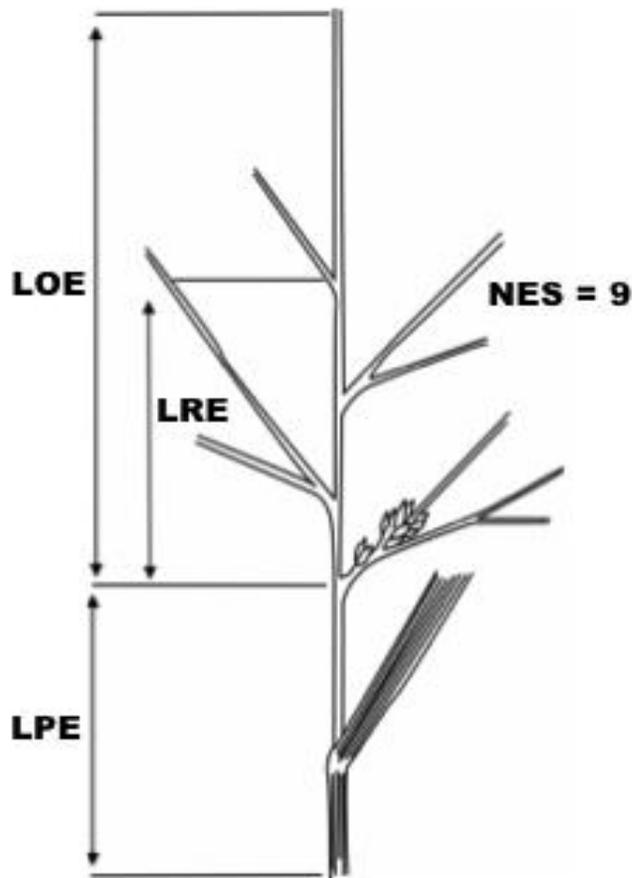


Figura 16. Longitud de espiga (LOE), longitud de pedúnculo de espiga (LPE), longitud ramificada de la espiga (LRE) y número de espiguillas (NES)

5.3.3. Variables de mazorca. La longitud del pedúnculo de la mazorca (LPM), se midió en cm en la mazorca principal, desde el extremo inferior hasta el extremo superior del pedúnculo (Figura 17A). Mientras que el número de hileras de la mazorca (NHM), se consideró, contando el número de hileras (carreras de granos) encontradas en la mazorca (Figura 17B). La longitud de mazorca (LOM), se tomó, en cm (con una regla métrica) desde la base, hasta el ápice de la mazorca (Figura 17C) y el diámetro de mazorca (DIM), se midió, de la parte central de la mazorca principal, para ello se utilizó un vernier digital y se expresó en mm (Figura 17D). Por otro lado, el peso de mazorca (PEM) y peso del olote (PEO), se tomaron, pesando individualmente cada mazorca y cada olote, utilizando para ello una báscula digital, expresando en gramos los resultados (Figura 17E y 17F) respectivamente. Para el diámetro del olote (DIO), se tomó, de la parte central del olote con un vernier digital y se expresó en milímetros (Figura 17G).



Figura 17. Longitud del pedúnculo de la mazorca (A), número de hileras de la mazorca (B), longitud de mazorca (C), diámetro de mazorca (D), peso de mazorca (E), peso de olote (F) y diámetro del olote (G)

5.3.4. Variables de grano. El grosor de grano (GRG), se tomó de la parte central de la mazorca, para ello se dejaron diez granos tal y como están insertados en la mazorca y utilizando un vernier digital se obtuvo el dato del grosor en mm (Figura 18A y Figura 19A). Para ancho de grano (ANG), se utilizaron los mismos granos de la variable anterior, se colocaron de manera equidistantes uno tras otro, y con un vernier digital se obtuvo este dato en mm (Figura 18B y Figura 19B). Mientras que para la longitud de grano (LOG), se utilizaron los mismos granos, pero en esta ocasión, se colocaron en fila por la parte longitudinal uno tras otro y con un vernier digital se obtuvo este dato en mm (Figura 18C y Figura 19C). El volumen (VOG) y peso de grano (PEG), se tomaron utilizando 100 granos provenientes de cada mazorca evaluada individualmente; para el volumen se colocaron los granos en una probeta graduada y el volumen ocupado por los mismos, se expresó en milímetros (Figura 20A), mientras que, para el peso de grano, se colocaron sobre una balanza digital y el dato se registró en gramos (Figura 20B).

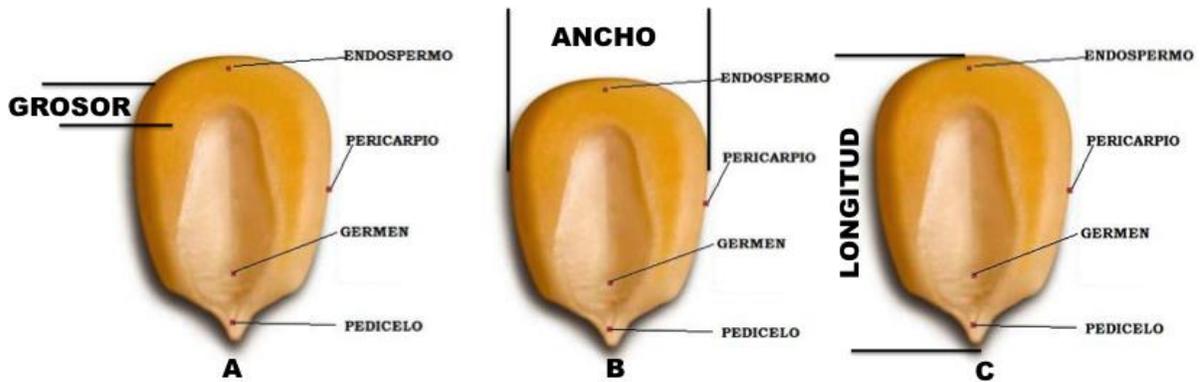


Figura 18. Grosor (A), ancho (B) y longitud del grano (C) de maíz



Figura 19. Formas de medir el grosor (A), ancho (B) y longitud (C) de grano del maíz

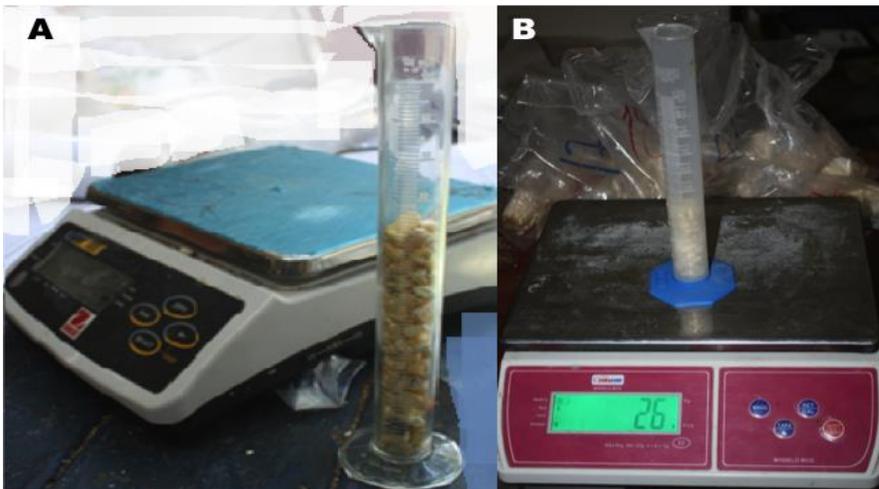


Figura 20. Forma de evaluar volumen (A) y peso (B) de grano de maíz

5.3.5. Variables de productividad. El rendimiento de grano (REG), se obtuvo de la resta del peso del olote, al peso de la mazorca, posteriormente el peso de grano de cada planta es ajustado al 14% de humedad; para esto, se aplicó el criterio utilizado en las recibas comerciales de maíz del Valle de Culiacán, deduciendo 1.16 kg de peso por cada t de peso de maíz, por cada décima de grado pasada por encima del 14 % de

humedad, y en aquellos casos en el que la humedad estuvo por debajo del 14 % se procedió de manera inversa; es decir, se le sumó el incremento de peso correspondiente. Este parámetro se expresó en g. Mientras que, la relación grano/olote (RGO), se obtuvo a partir de la división del peso del grano entre el peso del olote y se expresó como un simple número. Este valor indica, cuántas unidades de grano se tiene por cada unidad de olote. El rendimiento estimado en  $\text{th}^{-1}$  (RTH), se obtuvo a partir de los promedios de cada población, multiplicados por la densidad ( $50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ ), y se expresó en  $\text{t h}^{-1}$ .

#### **5.4. Análisis estadísticos**

Con la finalidad de determinar la existencia o no de diferencias entre poblaciones, en cada una de las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza y las medias de cada variable fueron comparadas por el método de Tukey con un  $\alpha \leq 0.05$ , mediante el procedimiento GLM del programa Statical Analysis System (SAS®,2004). Así mismo, fueron utilizados los programas Office Excel 2007, para concertar datos de campo y elaborar matrices y gráficas presentadas en resultados y discusión. Adicionalmente, se aplicó un análisis de componentes principales a partir de la matriz de correlaciones entre los atributos, con el procedimiento PRINCOMP (SAS®, 2004). Finalmente, con el programa, se realizó un análisis de conglomerados (Mohammadi y Prasana, 2003) empleando la matriz de distancias euclidianas, el dendograma respectivo se obtuvo por el método de agrupamiento Ward.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre las 15 poblaciones para la totalidad de variables estudiadas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios para poblaciones y error, así como la significancia estadística ( $P \leq 0.05$ ) para población en las 24 variables evaluadas en el estudio de caracterización agromorfológica *in situ* en maíces nativos de Concordia

Variables	Cuadrados medios	
	Población	Error
<b>Caracteres vegetativos</b>		
Altura de mazorca (cm)	16743.6**	534.5
Altura de la planta (cm)	29998.7**	918.3
Número de hojas arriba de la mazorca	6.5583**	0.509
Número de hojas bajo la mazorca	32.386**	0.670
<b>Caracteres de espiga</b>		
Longitud del pedúnculo de espiga (cm)	796.524**	24.64
Longitud de la parte ramificada de la espiga (cm)	90.1285**	10.62
Longitud de espiga central (cm)	194.127**	19.41
Número de espiguillas	168.348**	18.48
Longitud de espiga (cm)	376.523**	29.22
<b>Caracteres de mazorca</b>		
Longitud del pedúnculo de mazorca (cm)	178.413**	9.252
Número de hileras de mazorca	91.6601**	2.100
Longitud de mazorca (cm)	205.561**	6.299
Diámetro de mazorca (mm)	1413.27**	16.64
Peso de mazorca (g)	79132.0**	2430
Peso de olote (g)	4104.50**	141.9
Diámetro de olote (mm)	612.453**	7.297
<b>Caracteres de grano</b>		
Grosor de grano (mm)	533.735**	26.37
Ancho de grano (mm)	7002.11**	103.2
Longitud de grano (mm)	8483.19**	180.4
Volumen de grano (mL)	13797.9**	268.6
Peso de grano (g)	3859.97**	97.15
<b>Caracteres de productividad</b>		
Rendimiento de grano (g)	46741.0**	1798
Relación de grano/olote	59.0999**	5.703
Rendimiento estimado en t ha <sup>-1</sup>	116.853**	4.495

\* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$

## 6.1. Análisis de comparación de medias

Al analizar el comportamiento de las poblaciones en cada variable, se encontró que para la categoría vegetativa, respecto a altura de mazorca (Figura 21A) y planta (Figura 21B), así como número de hojas bajo la mazorca (Figura 21D), la población Jala presentó los mayores promedios (199.96 cm, 377.62 cm y 10.46 hojas respectivamente); mientras que, en la variable número de hojas arriba de la mazorca (Figura 21C), la población Chilero con 6.93 hojas fue la del promedio más alto.

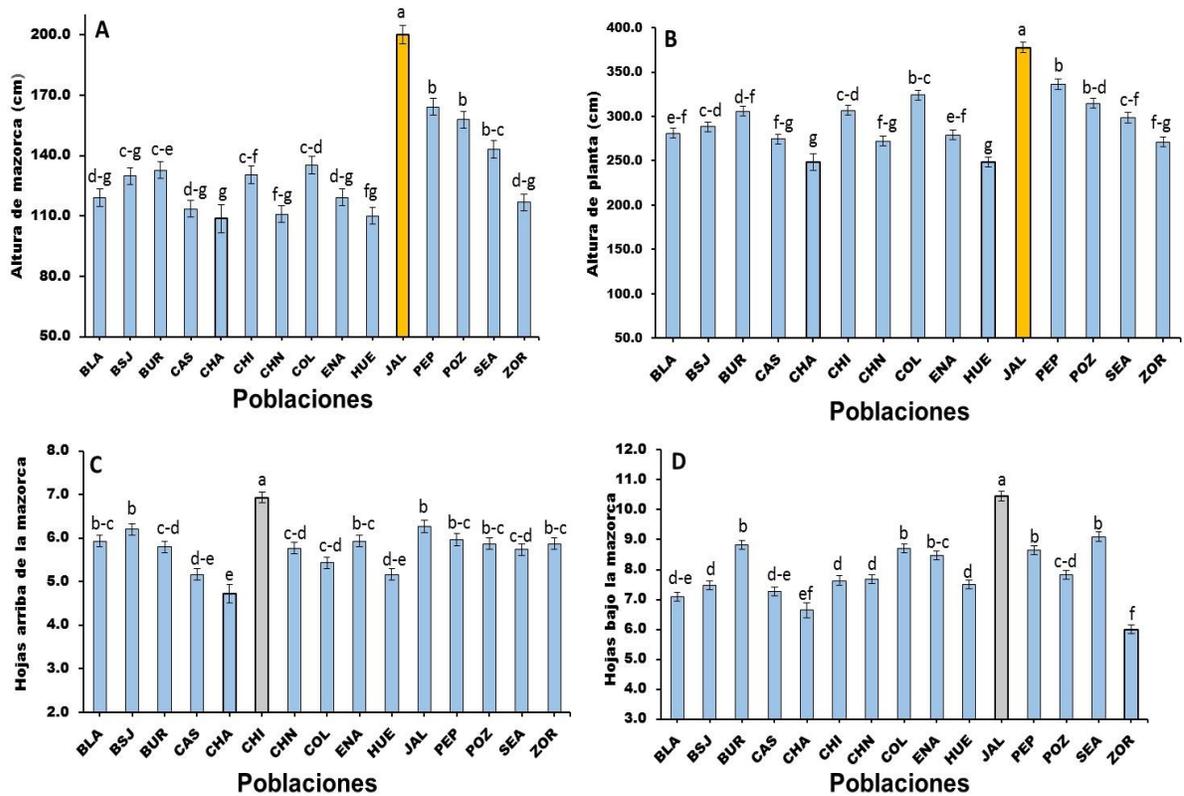


Figura 21. Comparación de medias de altura de mazorca (A), altura de planta (B), número de hojas arriba de la mazorca (C) y número de hojas bajo la mazorca (D). Medias + EE con letras distintas en cada medición indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

Con respecto a longitud del pedúnculo de espiga (Figura 22A), las poblaciones Colita y Pepitilla, fueron las que presentaron mayores promedios (28.5 y 27.4 cm respectivamente); en contraste, la población Chino, fue la que manifestó el promedios más bajos con 9 cm. Por el contrario, en la variable longitud de espiga central, los promedios más altos fueron de las poblaciones Colita, Blando de Sonora, Chino, Pepitilla y Zorrita (30.4, 28.6, 29.3, 28.7 y 28.6 cm respectivamente); mientras que las poblaciones con los valores más bajos respecto a la media fueron Chapalote y Huesito con 19.4 y 21.5 cm respectivamente (Figura 22B). En longitud de la parte ramificada de la espiga, la población Serrano amarillo presentó el mayor promedio con 16.6 cm; en contraste, las poblaciones, Breve San Juan, Chapalote, Chino y Huesito, fueron las que manifestaron los promedios más bajos con 11.4, 8.6, 10.2 y 9.6 cm, respectivamente (Figura 22C). Para número de espiguillas, la población Pozolero con 20.5 espiguillas, fue la que presentó mayor promedio; a diferencia de la población Chino con 12.1 espiguillas, que manifestó el promedio más bajos (Figura 22D).

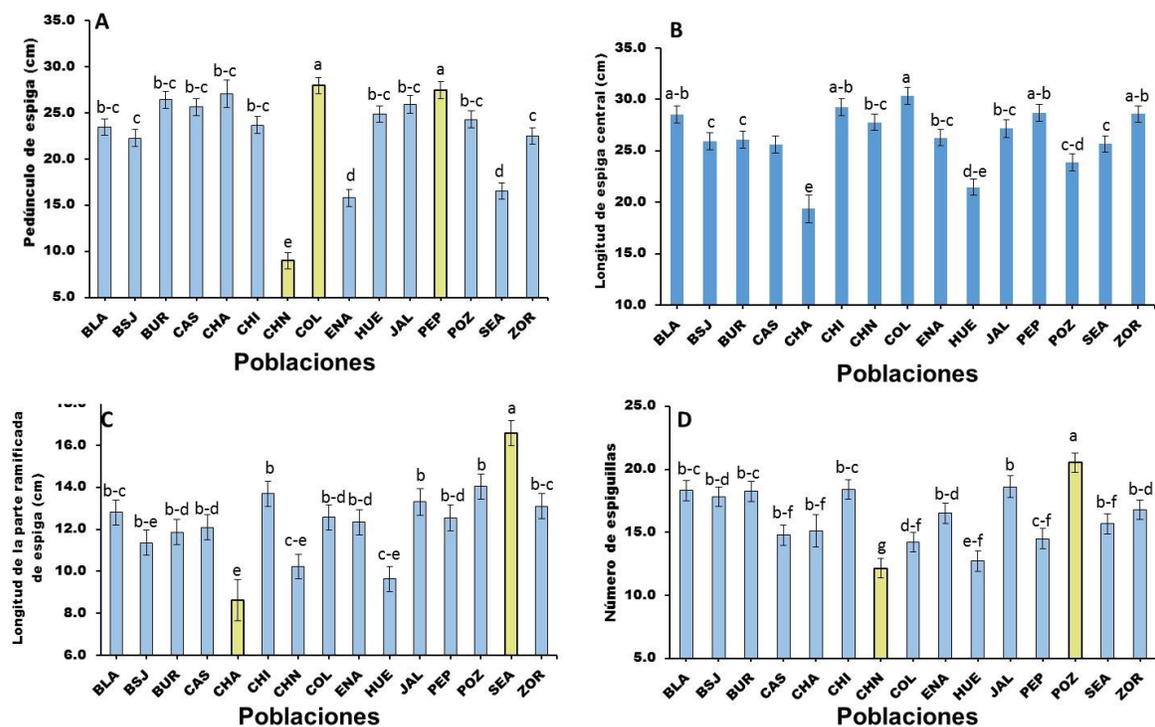


Figura 22. Comparación de medias de longitud del pedúnculo de la espiga (A), longitud de la espiga central (B), longitud de la parte ramificada de la espiga (C) y número de espiguillas (D). Medias + EE con letras distintas en cada medición indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

Para longitud de espiga las poblaciones con promedios mayores fueron Chilero, Colita, Blando de Sonora, Burrito, Chino, Enano, Jala, Pepitilla, Pozolero, Serrano amarillo y Zorrita (29.3, 30.4, 28.6, 26.1, 27.8, 26.3, 27.2, 28.7, 23.9, 25.7 y 28.6 cm, respectivamente), sin haber diferencias estadísticas significativas entre estas poblaciones. Mientras que Chapalote y Huesito mostraron el promedio más bajo con 19.4 y 21.5 cm respectivamente (Figura 23A). Pero al estudiar el comportamiento de la longitud de pedúnculo de mazorca (LPM), la población Colita, fue la que mostró mayor promedio (13.9 cm), en contraste, las poblaciones, Huesito y Burrito, fueron las que manifestaron los promedios más bajos con 4.3 y 5.7 cm, respectivamente (Figura 23B). Para peso de la mazorca, las poblaciones, Breve San Juan, Chilero y Enano, fueron las que presentaron mayores promedios con, 242.2, 235.5 y 219.4 g respectivamente; en contraste, las poblaciones, Chapalote y Huesito, fueron las que manifestaron los promedios más bajos (46.6 y 66.8 g, respectivamente; Figura 23 C). En la variable longitud de mazorca, las poblaciones, Serrano amarillo, Blando de Sonora, Burrito, Colita, Jala y Pepitilla, fueron las que presentaron mayores promedios (22.3, 20.2, 20.6, 21.7, 21.7, y 21.9 cm, respectivamente); en contraste, la población, Chapalote manifestó el promedios más bajo con 12.7 cm (Figura 23D). Para diámetro de la mazorca, las poblaciones, Breve San Juan, Chilero, Enano, Chino y Pozolero, fueron las que presentaron mayores promedios (51.8, 51, 51.9, 48.3 y 48.5 mm, respectivamente); a discrepancia de la población, Huesito, que manifestó el promedio más con 29.1 mm (Figura 23E). En número de hileras por mazorca, las poblaciones, Breve San Juan, Enano, Chapalote, Chilero, Chino y Zorrita, fueron las que mostraron mayores promedios (13.4, 13.2, 13.1, 12.6, 12.8 y 12.5 hileras, respectivamente); en contraste, las poblaciones, Cascaringa, Colita y Pozolero, fueron las que manifestaron los promedios más bajos con 9.4, 8.1 y 8.6 hileras, respectivamente (Figura 23F).

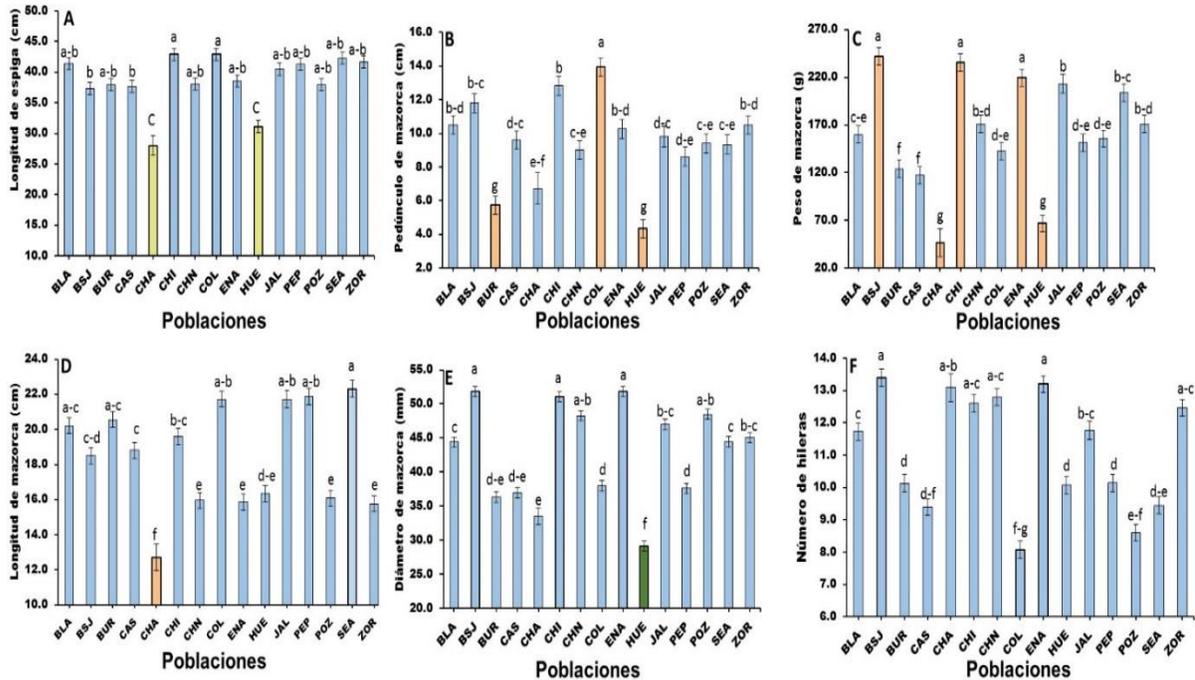


Figura 23. Comparación de medias de las variables, longitud de espiga (A), pedúnculo de mazorca (B), peso de mazorca (C), longitud de mazorca (D), diámetro de mazorca (E) y número de hileras de la mazorca (F). Medias + EE con letras distintas en cada medición indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

En el rango de variación para grosor de grano, las poblaciones, Burrrito, Pozolero, Serrano amarillo, Cascaringa, Chapalote y Jala, fueron las que presentaron mayores promedios (47.4, 46.7, 47.1, 43.4, 45.2 y 44.9 mm, respectivamente); en contraste, las poblaciones, Breve San Juan, Chino, Huesito, Enano, Pepitilla y Zorrita, fueron las que manifestaron los promedios más bajos con 37.4, 34.8, 37.6, 37.6, 37.6 y 36 mm, respectivamente (Figura 24A). En longitud de grano, las poblaciones Chino, Breve San Juan, Enano, Pozolero y Zorrita, fueron las que presentaron mayores promedios (141, 137.3, 135.3, 137.9 y 132.4 mm, respectivamente); a diferencia de la población Chapalote, que manifestó el promedio más bajos con 77.5 mm (Figura 24B). Mientras que para ancho de grano, la población, Posolero, fue la que obtuvo el promedio mayor respecto al resto de las poblaciones con 142.8 mm de ancho; caso contrario para las poblaciones Chapalote y Huesito que manifestaron los promedios más bajos con 77.8 y 77.2 mm, respectivamente (Figura 24C). Para peso de olote, las poblaciones Breve San Juan, Chilero, Enano, y Serrano amarillo, fueron las que presentaron mayores

promedios (48.5, 44, 39.4 y 41.8 g, respectivamente); en contraste, las poblaciones, Chapalote y Huesito con 10.2 y 9.2 g, respectivamente, fueron las que manifestaron los promedios más bajos (Figura 24D); sin embargo en diámetro de olote, las poblaciones, Chilero, Breve San Juan y Enano, fueron las que presentaron promedios mayores (29.4, 28.8 y 28.2 mm, respectivamente); a diferencia las poblaciones, Colita y Huesito presentaron los promedios más bajos con 14.8 y 14.6 mm, respectivamente (Figura 24E).

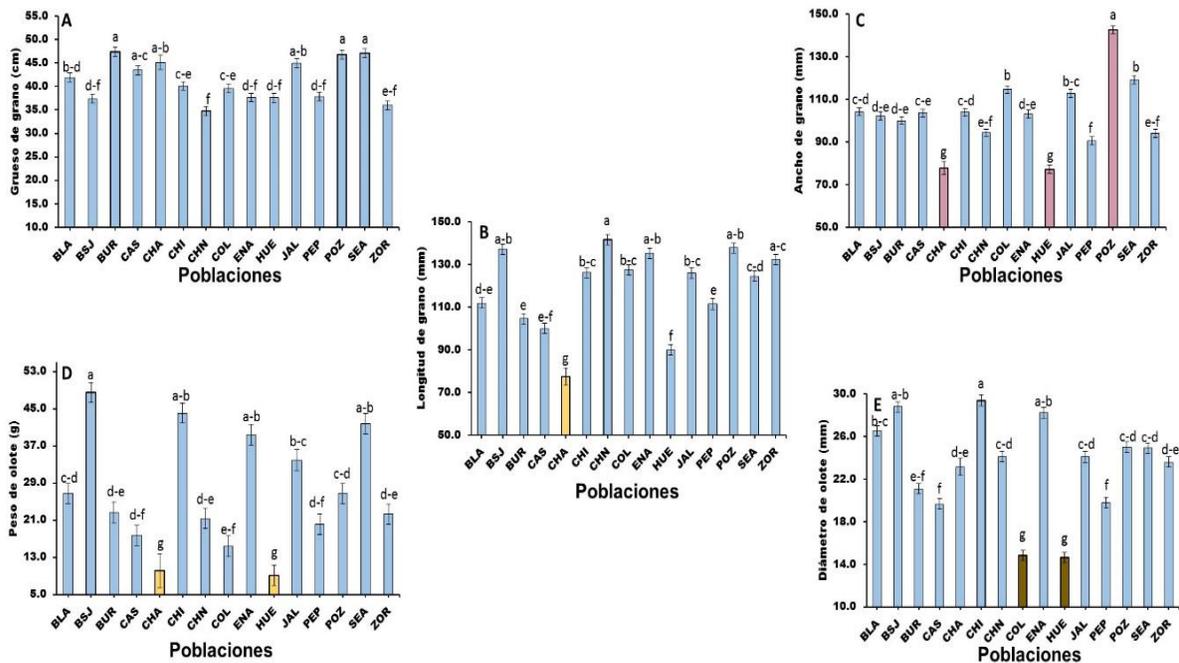


Figura 24. Comparación de medias de las variables, grosor de grano (A), longitud de grano (B), ancho de grano (C), peso de olote (D) y diámetro de olote (E). Medias + EE con letras distintas en cada medición indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

En volumen y peso de 100 granos, la población Pozolero presentó los mayores promedios con 111.5 mL y 62.9 g (Figura 25A); mientras que para esas mismas variables los promedios menores fueron registrados en Chapalote con 31.5 mL para la primera variable, para peso de 100 granos lo fueron las poblaciones Huesito y Chapalote con 20.2 y 17.5 g, respectivamente (Figura 25B). En el rendimiento de grano, se encontró que las poblaciones Breve San Juan, Chilero, Enano, Jala y

Serrano amarillo, fueron las que presentaron mayores rendimientos (193, 184.1, 163.9, 179.6 y 153.2 g, respectivamente); en contraste, las poblaciones, Chapalote y Huesito, fueron las que tuvieron los promedios más bajos con 35.5 y 54.6 g, respectivamente (Figura 25C). Para relación grano olote, las poblaciones Colita, Chino, Huesito, Jala, Pepitilla y Zorrilla, fueron las que presentaron promedios mayores (8.3, 7.3, 6.4, 7.4, 7 y 7.6 respectivamente); por otro lado, las poblaciones, Breve San Juan, Blando de Sonora, Burrito, Chapalote, Chilero, Enano y Serrano amarillo, manifestaron los promedios más bajos con relaciones de 4.4, 5.1, 4.6, 3.4, 4.5, 4.4 y 4.0 respectivamente (Figura 25D). Finalmente, para rendimiento estimado en toneladas por hectárea, las poblaciones, Breve San Juan, Chilero, Jala, Enano y Serrano amarillo, fueron las que presentaron mayores rendimientos estimados (9.7, 9.2, 9.0, 8.2 y 7.7 t ha<sup>-1</sup> respectivamente); en contraste, las poblaciones Chapalote y Huesito, fueron las que manifestaron los promedios más bajos con 1.8 y 2.7 t h<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 25E).

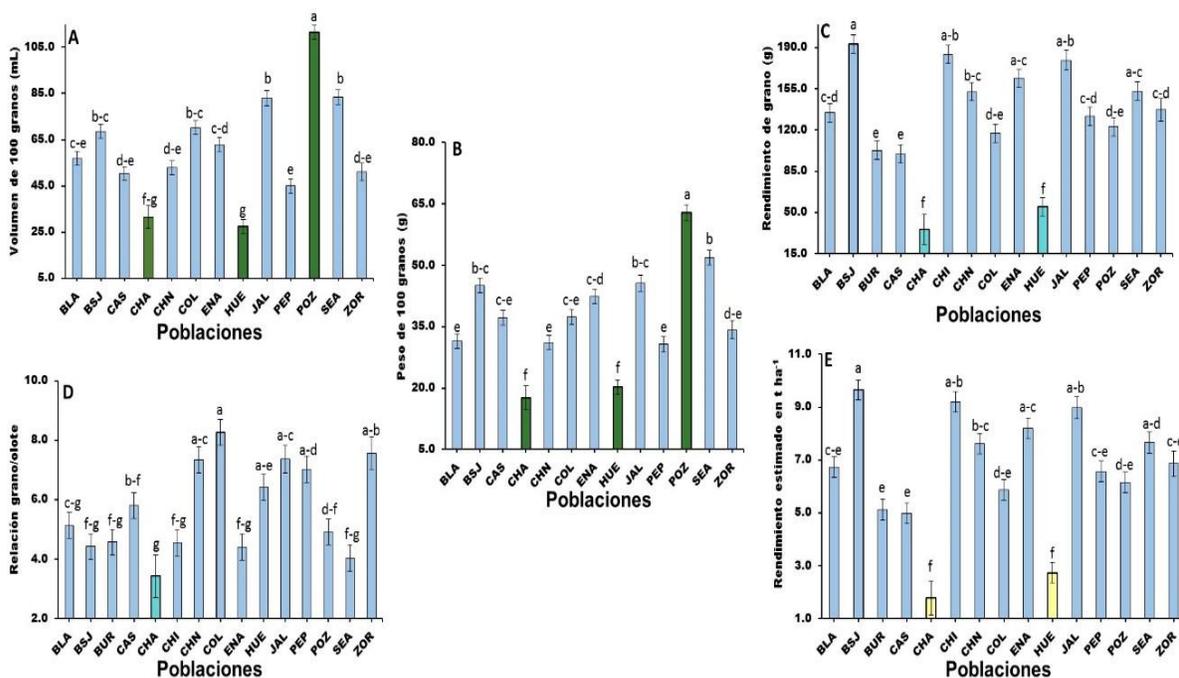


Figura 25. Comparación de medias de las variables, volumen de 100 granos (A), peso de 100 granos (B), rendimiento de grano (C), relación grano/olote (D) rendimiento estimado en t h<sup>-1</sup> (E). Medias + EE con letras distintas en cada medición indican diferencias significativas (Tukey, p ≤ 0.05)

Las diferencias entre las variables vegetativas, espiga, mazorca, grano y productividad evaluadas en la caracterización *in situ* de las 15 poblaciones de maíces nativos de la comunidad El Purgatorio, Concordia, mostraron que en ellas se encuentra un acervo de genes que debe ser conservado. Estos resultados están en concordancia con Hortelano *et al.* (2008), al encontrar diferencias significativas en el estudio de diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. Por otro lado, los resultados obtenidos, coinciden con los mostrados por Ángeles-Gaspar *et al.* (2010), al encontrar diferencias significativas en la caracterización de 52 poblaciones de maíces nativos en Molcaxac, Puebla. Asimismo, los resultados están en correspondencia con los realizados por Contreras-Molina *et al.* (2016), que caracterizaron morfológicamente a 76 muestras de maíz nativo de la Sierra Nororiental de Puebla y encontraron una alta variación entre las poblaciones estudiadas, respecto a algunos caracteres aquí evaluados. Así mismo, la variación encontrada coincide con los resultados obtenidos en caracterización de mazorca de diferentes estudios, como es el caso de Sánchez-Peña *et al.*, (2008), quienes analizaron la variación fenotípica para características de mazorca en 17 poblaciones de maíces nativos de Sinaloa y encontraron una alta variación entre las poblaciones estudiadas. También Lugo (2009), el cual analizó la variación fenotípica para características de mazorca en 11 poblaciones de maíces criollos de Culiacán en el estado de Sinaloa y como resultado de su investigación reportó que las 10 variables evaluadas presentaron diferencias significativas entre poblaciones; otro estudio realizado por Leyva (2009), quien analizó la variación fenotípica para características de mazorca en 10 poblaciones de maíces criollos de San Ignacio en el estado de Sinaloa y encontró que todas las variables estudiadas presentaron diferencias significativas. Así como también están en concordancia con González-Martínez *et al.*, (2019), quienes en un estudio reciente de diversidad, evaluaron de forma *in situ* a 44 poblaciones nativas de maíz y encontraron diferencias estadísticas para todas las variables.

En un momento dado, si se considera la expresión de los caracteres morfológicos evaluados *in situ*, se puede decir que de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, las población Breve San Juan y Chilero fueron las más sobresaliente al presentar los promedios más altos en 11 de los 24 variables respuestas evaluadas, En

contraste, la población Chapalote, puede considerarse como la menos favorecida, al presentar los promedios más bajos en 13 variables de las 24 evaluadas.

## 6.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) mostró que los primeros tres componentes explican el 56.37% de la varianza agromorfológica observada en las poblaciones aquí estudiadas, con valores propios de 7.7, 3.4 y 2.4, y contribución específica de 32.09, 14.21 y 10.07 % de la variabilidad total respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Proporciones de varianzas explicada y acumulada en el estudio de caracterización agromorfológica *in situ* en las poblaciones de maíces nativos de Concordia, Sinaloa

<b>Auto valores de la matriz de correlación</b>				
	<b>Auto valor</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Proporción</b>	<b>Acumulada</b>
<b>1</b>	7.7004	4.2904	0.3209	0.3209
<b>2</b>	3.4100	0.9926	0.1421	0.4629
<b>3</b>	2.4173	0.8223	0.1007	<b>0.5637</b>
<b>4</b>	1.5935	0.1121	0.0664	0.6301
<b>5</b>	1.4813	0.2856	0.0617	0.6918
<b>6</b>	1.1956	0.2248	0.0498	0.7416
<b>7</b>	0.9708	0.0161	0.0405	0.7821
<b>8</b>	0.9546	0.1721	0.0398	0.8218
<b>9</b>	0.7825	0.0696	0.0326	0.8544
<b>10</b>	0.7129	0.1237	0.0297	0.8841

De acuerdo con los vectores propios, en el primer componente, las variables con mayor peso fueron: longitud del pedúnculo de la espiga, peso de la mazorca, diámetro de mazorca, peso de 100 granos, rendimiento de grano y rendimiento estimado por hectárea, mostrando estas variables de productividad mayor contribución en forma positiva, a excepción de la primer variable que caracterizó en sentido contrario. En

cambio, para el segundo componente las variables de mayor importancia fueron: altura de mazorca, altura de planta y longitud del pedúnculo de la espiga con una contribución positiva indicando que el maíz además de caracterizarse por sus valores de producción también desarrolla plantas con arquitectura prominente, para número de hileras en la mazorca y diámetro de olote se muestra una contribución negativa. Mientras que el tercer componente estuvo fuertemente influido por las variables: longitud de espiga y espiga central, ancho de 10 granos, volumen de 100 granos y relación grano/olote (Cuadro 4). Algunas de estas variables también han sido seleccionadas en otros estudios para la descripción de la diversidad genética (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Rocandio-Rodríguez, 2014).

Cuadro 4. Valores propios para los tres primeros componentes principales y 24 variables evaluadas en la caracterización agromorfológica *in situ* en las poblaciones de maíces nativos de Concordia Sinaloa

Variable	CP1	CP2	CP3
ALM	0.1707	<b>0.2902*</b>	0.0334
ALP	0.1889	<b>0.3073*</b>	0.1399
NHA	0.1535	-0.0280	0.0511
NHB	0.1452	0.2353	0.0592
LPE	<b>-0.4495*</b>	<b>0.2914*</b>	0.0294
LRE	0.1512	0.1997	0.0090
LEC	0.1043	0.0811	<b>0.3660*</b>
NE	0.1334	0.0339	-0.0801
LOE	0.1707	0.1801	<b>0.2976*</b>
LPM	0.1580	0.0419	0.1679
PM	<b>0.3178*</b>	-0.1563	0.1107
LOM	0.1509	0.2605	0.2393
DIM	<b>0.2881*</b>	-0.2473	-0.0744
NHM	0.0563	<b>-0.4046*</b>	0.1297
G10G	0.0745	0.2195	-0.3726
DIO	0.2155	<b>-0.2854*</b>	-0.1859
PO	0.2685	-0.1337	-0.1119
A10G	0.2234	0.1919	<b>-0.2931*</b>
L10G	0.2627	0.1253	0.0377
V100G	0.2697	0.1403	<b>-0.2783</b>
P100G	<b>0.2725*</b>	0.1011	-0.2761
RGA	<b>0.3009*</b>	-0.1539	0.1770
RGO	-0.0368	0.0602	<b>0.3650*</b>
RTH	<b>0.3009*</b>	-0.1539	0.1770

\* = Variable que explica mayor variación; ALM= altura de mazorca, ALP= altura de planta, NHA= número de hojas arriba de la mazorca, NHB= número de hojas bajo la mazorca, LPE= longitud del pedúnculo de la espiga, LRE= longitud de la parte ramificada de la espiga, LEC= longitud de espiga central, Ne= número de espiguillas, LOE = longitud de espiga, LPM= longitud del pedúnculo de la mazorca, PM = peso de mazorca, LOM= longitud de mazorca, DIM= diámetro de mazorca, NHM= número de hileras de mazorca, G10G= grosor de 10 granos, DIO = diámetro de olote, PO = peso de olote, A10G= ancho de 10 granos, L10G= largo de 10 granos, V100G = volumen de 100 granos. P100G = peso de 100 granos, RGA = rendimiento de grano, RGO = relación grano/olote y RTH= rendimiento estimado en t h-1

### **6.3. Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerado permitió reconocer cuatro grupos. Los grupos I, II, III y IV se formaron con 2, 6, 3 y 4 poblaciones, respectivamente. El grupo, formado por Chapalote y Huesito, poblaciones que presentaron promedios menores de las variables si se considera sus comportamientos con el resto de las poblaciones; este grupo, se caracterizó por integrar a las poblaciones con variables vegetativas menores, por ejemplo: menor altura de mazorca y planta, menor cantidad de hojas, diámetro, longitud de mazorca y granos, así como menor volumen, peso y rendimiento. El grupo II estuvo constituido por las poblaciones: Chilero, Breve San Juan, Enano, Chino, Blando de Sonora y Zorrita, éstas presentaron los valores más altos en variables como: número de hileras, diámetro, longitud y peso de mazorca, así como promedios mayores en variables de espiga, grano y de productividad. El grupo III se formó por las poblaciones: Jala, Pozolero y Serrano amarillo, este grupo se caracterizó por tener poblaciones con promedios intermedios en variables como alturas de mazorca y planta, por mostrar mayores promedios en variables de ancho, grueso, longitud, volumen y peso de grano, así como en variables de rendimiento. Finalmente, el grupo IV incluye las poblaciones: Burrito, Cascaringa, Colita y Pepitilla, que se caracterizaron por tener similitud en los promedios intermedios de los variables rendimiento, volumen y peso de grano, así como longitud de espiga.

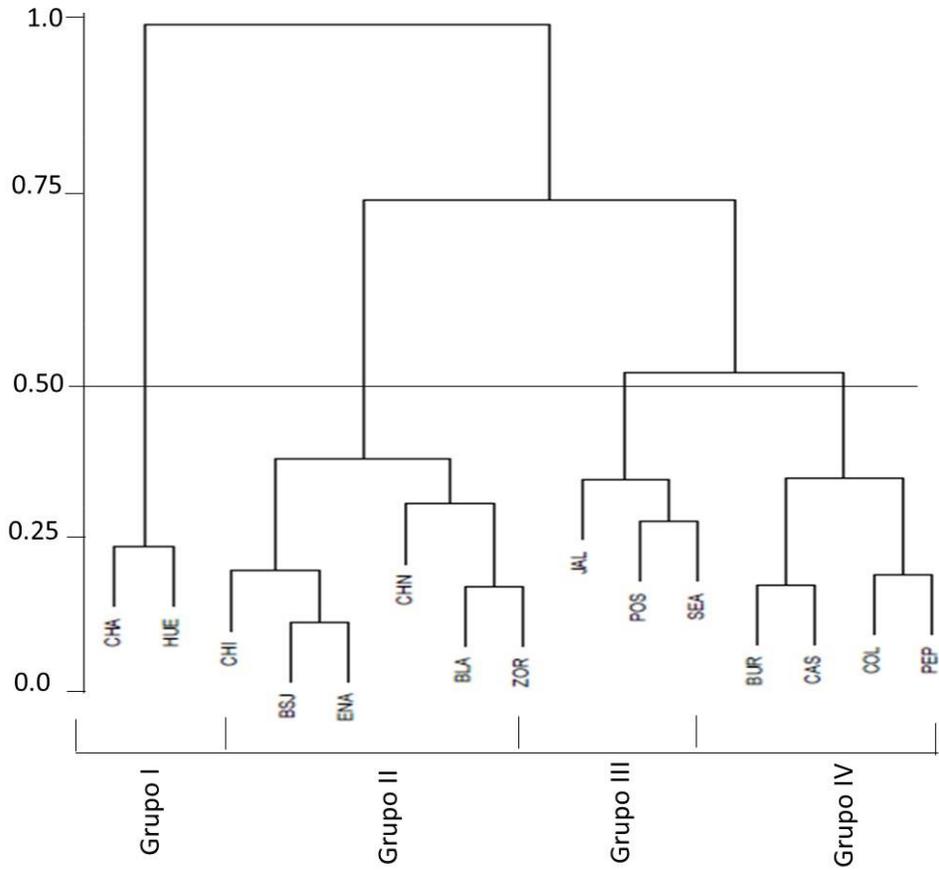


Figura 26. Dendrograma de las poblaciones de maíces nativos de Concordia, Sinaloa, con distancias euclidianas derivadas de 24 variables. CHA: Chapalote, HUE: Huesito, CHI: Chilero, BSJ: Breve San Juan, ENA: Enano, CHN: Chino, BLA: Baldo de Sonora, ZOR: Zorrito, JAL: Jala, POS: Posolero, SEA: Serrano amarillo, BUR: Burrito, CAS: Cascaringa, COL: Colita y PEP: Pepitilla

## VII. CONCLUSIONES

Tomando en consideración las poblaciones, las variables respuestas evaluadas y las limitantes en las que se realizó el estudio, se puede destacar que la comunidad de El Purgatorio, Concordia, Sinaloa presenta una gran riqueza en recursos genéticos de maíz, y la caracterización agro-morfológica *in situ* confirma la existencia de variabilidad para las poblaciones aquí evaluadas considerando las 24 variables consideradas. Las poblaciones más sobresalientes fueron Breve San Juan y Chilero, ya que éstas, presentaron los mayores promedios en 11 de las 24 variables respuesta y Chapalote fue la menos sobresaliente, al mostrar los promedios más bajos en 13 de las 24 variables evaluadas. Así mismo, se destaca que los tres primeros componentes explicaron el 56.37% de la variación existente en las poblaciones estudiadas y que el agrupamiento poblacional generó 4 grupos, en los que se incluyen aquellas poblaciones que tienen mayor similitud. Las evidencias encontradas durante el tiempo que se realizó este estudio, sugieren que es necesario continuar realizando la caracterización *in situ* en los maíces nativos, ya que esto genera un panorama de cómo se encuentra este recurso en su lugar de origen, lo que permitirá buscar alternativas que ayuden a su conservación, misma que es necesario promover, ya que ayudará mantener el acervo genético disponible en el momento requerido ante las modificaciones que causan en la estructura genética de las poblaciones el cambio climático.

## VIII. LITERATURA

- Altieri, M. A. 2003. Aspectos Socioculturales de la Diversidad del Maíz Nativo. Departamento de Ciencias, Políticas y Gestión del Medio Ambiente, Universidad de California, Berkeley. Preparada para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Disponible en:<http://www.agroeco.org/doc/alt.contam-maiz.pdf>
- Anderson, E., Cutler, H. C. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. Ann. Mo. Bot. Gard. 29: 69-89.
- Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres, E., López, P., López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. Rev. Fitotec. Mex. 33 (4): 287-296
- Aragón, C. F., Taba, G.H., Castro, J.M., Hernández, J.M T., Cabrera, L. A. and Osorio N.R. 2003. In situ Conservation and use of local maize races in Oaxaca, México: A participatory and decentralized approach. In: Latin American Maize Germoplasm conservation: Regeneration, in situ conservation, core subsests and prebreeding. Proceedings of a workshop at CIMMYT.
- Arias-Reyes, L., Latournerie-Moreno, D., Jarvis, D. W., Chavez-Servia, J. D., Sauri-Duch, E. 2006. *In situ* conservation of agricultural biodiversity of Milpa in Yucatan. Proc. Internat. Conf. Ecological Society America. Mérida, Yucatán, México. Disponible en:  
<http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/esai2006/document/58909>
- Bayuelo-Jiménez, J. S. y Ochoa, I. 2006. Caracterización morfológica de sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore & Stearn] del centro occidente de Michoacán, México. Rev. Fitotec. Mex. 29 (1): 9 – 17.
- Benz, B.F. 2001. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Tesis Ph.D., University of Wisconsin, Madison.p 433.
- Bretting, P. K., M. P. Widrechner. 1995. Genetic markers and plant geneticresources management. Plant Breeding Reviews 13: 11-86

- Cárcamo, M. I. 2011. Biodiversidad y Contaminación Genética del maíz nativo en América Latina.p.243.
- Castro, N. S., López, S. J. A., Pecina, M.J. A., Mendoza, C. M.C. y Reyes, M. C. A. 2013. Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc 4 (4): 645-653.
- Castro, V. I., Sánchez-Peña, P., Garzón-Tiznado, J. A., Velarde, F. S., Hernández-Verdugo, S., Inzunza-Castro, J. F. y Sánchez, P. J. 2006. Caracterización fenotípica e identificación de transgenes en poblaciones de maíces (*Zea mays*.) criollos del estado de Sinaloa. Congreso mexicano de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología. Morelia Michoacán.
- CIMMYT/IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources. Rome 3-28.Disponible en: [http:// archive-ecpgr.cgiar.org/ fileadmin/ bioversity/publications/pdfs/104\\_Descriptors\\_for\\_maize.Descriptores\\_para\\_maiz.Descripteurs\\_pour\\_le\\_mais-cache=1415188810](http://archive-ecpgr.cgiar.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/104_Descriptors_for_maize.Descriptores_para_maiz.Descripteurs_pour_le_mais-cache=1415188810)
- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2012. El maíz (consultado en julio, 2019).
- Chávez, E. 1913. El cultivo del maíz. Boletín No. 74 (Estación Agrícola Central). Dirección General de Agricultura. Secretaría de Fomento. México, D.F. p 316.
- Cheng, P.C. y Pareddy, D.R. 1994. Morphology and development of the tassel and ear. *In* M. Freeling & V. Walbot, eds. *The maize handbook*, 37-47. New York, NY, USA.
- CIBIOGEM. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. 2019. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/cibiogem/acerca-de-la-cibiogem>.
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/agrodiversidad.pdf>.
- Contreras-Molinas, O., Gil-Muñoz, A., López, A., Reyes-López, D, Guerrero-Rodríguez, J. 2016 Caracterización Morfológica de Maíces Nativos de la Sierra

- Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3633-3647.
- De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R., Preciado-Rangel, P., y Márquez-Hernández, C. 2017. Caracterización morfológica in situ de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 27(2): 10-16. DOI: 10.15174/ au.2017.1083.
- Dzib-Aguilar, L. A., Ortega-Paczka, R., Segura-Correa, J.C. 2016. Conservación *in situ* y Mejoramiento Participativo de maíces criollos en la Península de Yucatán. *Tropica and Subtropical Agroecosystems* 19: 51-59
- ENIGH. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares. 2012. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/>.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2019/es/>
- Fernández, S.R., Morales, Ch. L. y Galvinez, M.A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Fitotecnia* vol.36. México. Disponible en: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/ocumentos/36-supl-3-A/1a.pdf>.
- Franco, T. H. e Hidalgo R. 2003. Análisis Estadísticos de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. p 89.
- Gómez, P. V. 2016. Caracterización agromorfológica de poblaciones de maíces nativos de Sinaloa. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa.
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada-Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A. y Tejero J. L. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays*) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7 (3): 669-680.
- González, Jácome. A. 2008. "El maíz: planta portentosa". *Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana* 3(5): 1-17.
- González, M. A. y Ávila, C.A. 2014. El maíz en Estados Unidos y en México: Hegemonía en la producción de un cultivo. *Argumentos* 27(75): 215-237

- González-Martínez, J., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C. y Rocandio-Rodríguez, M. 2019. Diversidad y caracterización de los maíces de la reserva de la Biosfera "El cielo", Tamaulipas, México. *Biología y química*. ISSN 2007-7521. 14(1): 06-17. doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1246.
- Grant, U. J., W. H. Hatheway, D. H. Timothy, C. Cassalet D. and L. M. Roberts. 1963. Races of Maize in Venezuela. Publication 1136. National Academy of Sciences–National Research Council, Washington, D.C.
- Grobman, A., W. Salhuana and R. Sevilla, in collaboration with P. C. Mangelsdorf. 1961. Races of Maize in Peru. Publication 915. National Academy of Sciences National Research Council. Washington, D.C
- Hernandez, X. E. y Alanis, F. G. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maiz de la Sierra Madre Occidental de Mexico: Implicaciones filogeneticas y fitogeograficas. *Agrociencia* 5 (1) :3-30.
- Hortelano, S. R., Muños, G., Santacruz, V. A., Miranda, C.S. y Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agric. Téc. Méx.* 34 (2): 189-200.
- Jarvis, D.I. L., Myer, H., Klemick, L., Guarino, M., Smale, A.H.D., Brown, M., Sadiki, B. y Hodgkin, T. 2006. Guía de capacitación para la conservación in situ en fincas. Versión 1. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Roma, Italia. ISBN-13:978-90-9043-701-7
- Kato, T. A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution *Boletín de Massachusetts Agric Expt Station* vol. 635.
- Kato, T. A., Mapes C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F
- Leary, M. O. 2016. De México para el mundo. [https:// www.cimmyt.org /es/ maiz-de-mexico-para-el-mundo/](https://www.cimmyt.org/es/maiz-de-mexico-para-el-mundo/)

- Leyva, O. J. F. 2009. Variación de maíces criollos de San Ignacio en el estado de Sinaloa. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 46 p.
- Litt, M. and J. A. Luty. 1989. A hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *American Journal of Human Genetics* 44: 397-401.
- Lugo, M. R. 2009. Variación de maíces nativos de Culiacán en el estado de Sinaloa. Tesis Licenciatura.: Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.
- Macchi, L. G., Rincón, S. F., Ruiz, T. N. A., y Castillo G. F. 2010. Selección y mantenimiento de poblaciones. Una perspectiva para la conservación in situ de la diversidad genética del maíz. *Revista fitotecnia Mexicana*, 33(4):43-47.
- McClintock B. 1978. Significance of chromosome constitution in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas: p 159-184.
- McClintock, B., Kato.Y.T.A., and Blumenschein.A. 1981. Constitución cromosómica de las razas de maíz. Su significado en la interpretación de las relaciones entre las razas y variedades de las Américas. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. p 521.
- Mejia, H. A.; Muriel, R. S. B., Montoya, C.A. y Reyes, S. C. 2013. Caracterización morfológica in situ de *Hylocereus* spp. (Fam. Cactaceae). Genotipos de Antioquia y Córdoba .*Rev. Fac.Nac. AgronMedelli*. 66(1):6845-6854.
- Mohammadi, S.S y Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-salient statical tolos and consideration. *Crop Science* 43:1235-1248.
- Montes-Hernández, A. A., Hernández-Guzmán, J. A., López-Sánchez, H., Santacruz-Varela, A., Vaquera-Huerta, H y Valdivia-Bernal, R. 2014. Expresión fenotípica in situ de características agronómicas y morfológicas en poblaciones de maíz raza Jala. *Rev.Fitotec.Mex*. 37(4):363-372.
- Morales, F. M. L. 2012. Caracterización Fenotípica de 21 Poblaciones de Maíces Nativos y/o Criollos, en condiciones de Temporal de Sinaloa. Tesis. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.

- Moreno, M, Villareal D., Lagos T.C., Ordoñez H y Criollo H. 2011. Caracterización "in situ" de genotipos silvestres y cultivados de mora *Rubus spp.* en el municipio de Pasto
- Navarro-Garza, H., Hernández-Flores, M, Castillo-González, F.y Pérez-Olvera, M. A.2012. Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistemas de cultivo en la costa chica de Guerrero, México. Agricultura, Diversidad y Desarrollo. 9 (2):149-165.
- Ortega-Paczka, R. 1979. La diversidad del maíz en México. en: Sin Maíz No Hay País. Culturas Populares de México. D.F., México. pp.123-154.
- Ortega P.R. 2003. La diversidad de maíz en México. En: Gustavo E. y Catherine M. (coordinadores). Sin maíz no hay país, CONACULTA, Dirección General de Culturas Populares, Museo de Culturas Populares, México <https://es.scribd.com/document/116425663/Sin-maiz-no-hay-pais-Gustavo-Esteva-y-Catherine-Marielle-Coordinadores>.
- Ortega, C. A., Guerrero H. O., Cota A. R. E. y Preciado O. 2011. Situación actual de los maíces nativos y sus parientes silvestres en México: Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo Edo. De México. pp. 15-41.
- Palacios, V. O., Ortega C. A., Guerrero H. M., Hernández C. J. M. y Peinado F. L. A. 2008. Proyecto FZ002. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Componente 1: Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sinaloa. CONABIO-INIFAP.
- Paliwal L. R. 2001 El maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s04.htm#P00>
- Pérez, G. G., Chimborazo, S. C., Freile, A. J. 2015. Caracterización in situ de la variabilidad morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L) de la Provincia de Pastaza. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología. 4(2):146-165.

- Ramírez, E. R., Timothy.D. H.,Díaz B. E., Grant.U.J.,Anderson.E. and Brown.W.L. 1960. Races of Maize in Bolivia. Publication 747. National Academy of Sciences–National Research Council. Washington, D.C.
- Reif, J. C.; Xia, X. C.; Melchinger, A. E.; Warburton, M. L.; Hoisington, D. A.; Beck, D.; Bohn, M. and Frisch, M. 2004. Genetic diversity determined within and among CIMMYT maize populations of tropical, subtropical, and temperate germplasm by SSR markers. *Crop Sci.* 44:326-334.
- Rincon, S. F., Castillo, G. F., Ruiz, T. N. A., Illescas, P. C.N. 2010. Diversidad de los maíces nativos de Coahuila con base en caracteres de la mazorca. En: Rincon S F, Castillo G F, Ruiz T NA. Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI.pp13-25.
- Roberts, L.M, Grant. U. J., Ramírez .R., Hatheway .W.H., Smith y D.L., Mangelsdorf P.C. 1957. Razas de maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura de Colombia, Oficina de Investigaciones Especiales, Boletín técnico Num. 2. Editorial Máxima, Bogotá, Colombia.
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González F., Lobato-Ortiz R., García-Zavala1, J. y Ortega-Paczka R. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37 (4):351 – 361.
- [Romero, P.J. y Muñoz, A. 1996. Patrón varietal y selección de variedades de maíz para los sistemas en la región de tierra caliente. \*Agrociencias.\* 30:63-73.](#)
- [Romero, P. J. F., Castillo, G. A., Carapia, R. V. E., Andrade, R. M., Ortega, P. R., Gómez, M. N O., Perdomo, R. F. y Suárez, R. R. 2018. Variación morfológica en colectas de maíz ancho nativo del estado de Morelos, México. \*Pensamiento actual.\* 18 \(31\):35-45. ISSN1409-0112.](#)
- Sánchez, G.J.J. 2011. Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: [http:// www.biodiversidad.gob.mx/ genes/ pdf / proyecto/ Anexo9 Analisis Especialistas/ Jesus Sanchez 2011.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Jesus_Sanchez_2011.pdf).

Sánchez-Peña P., López-Valenzuela J. A., Lugo-Melchor R., Leyva O. J. F., Hernández-Verdugo, S., Cauich-Pech, S. O., González-Galindo, R., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., Corrales-Madrid, J. L., Sánchez-Peña, J., Quintero-Arce, J. R., Garzón-Tiznado, J. A., Palacios-Velarde, O. y Armenta-Soto, J. L. 2008. Variación fenotípica de maíces nativos del estado de Sinaloa, México. Memorias del XI congreso, Internacional en Agrícolas, Mexicali B. C. México.p 638-642.

Sansaloni, C., Petrolis, C., Jaccoud, D., Carling, J., Myburg, A.A. y Grattapaglia, D. 2010 Diversity Arrays Technology (DArT) and next-generation sequencing combines: genome-wide, high.

SAS. 2004. System for Windows (ver.9.0) SAS Institute Inc. Cary, NC.

Serratos, H. J. A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace. México. p 4-12.

[Serratos, H. J. A. 2012. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Segunda edición. Greenpeace. México. P.40. Disponible en: http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/9/](http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/9/)

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>

Schnable, P.S.; Ware, D.; Fulton, R.S.; Stein, J.C.; Wei, F.; Pasternak, S.; Liang, C.; Zhang, J.; Fulton, L.; Graves, T.A.; Minx, P.; Reily, A.D.; Courtney, L.; Kruchowski, S. S.; Tomlinson, C.; Strong, C.; Delehaunty, K.; Fronick, C. Courtney, B.; Rock, S. M.; Belter, E.; Du, F.; Kim, K.; Abbott, R. M.; Cotton, M.; Levy, A.; Marchetto, P.; Ochoa, K.; Jackson, S. M.; Gillam, B.; Chen, W.; Yan, L.; Higginbotham, J.; Cardenas, M.; Waligorski, J.; Applebaum, E.; Phelps, L.; Falcone, J.; Kanchi, K.; Thane, T.; Scimone, A.; Thane, N.; Henke, J.; Wang, T.; Ruppert, J.; Shah, N.; Rotter, K.; Hodges, J.; Ingenthron, E.; Cordes, M.; Kohlberg, S.; Sgro, J.; Delgado, B.; Mead, K.; Chinwalla, A.; Leonard, S.; Crouse, K.; Collura, K.; Kudrna, D.; Currie, J.; He, R.; Angelova, A.; Rajasekar, S.; Mueller, T.; Lomeli, R.; Scara, G.; Ko, A.; Delaney, K.; Wissotski, M.; Lopez, G.; Campos, D.; Braidotti, M.; Ashley, E.; Golser, W.; Kim, H.; Lee, S.; Lin, J.; Dujmic, Z.; Kim, W.; Talag, J.; Zuccolo, A.; Fan, C.; Sebastian, A.; Kramer,

- M.; Spiegel, L.; Nascimento, L.; Zutavern, T.; Miller, B.; Ambroise, C.; Muller, S.; Spooner, W.; Narechania, A.; Ren, L.; Wei, S.; Kumari, S.; Faga, B.; Levy, M. J.; McMahan, L.; Van, B. P.; Vaughn, M. W.; Ying, K.; Yeh, C. T.; Emrich, S. J.; Jia, Y.; Kalyanaraman, A.; Hsia, A. P.; Barbazuk, W. B.; Baucom, R. S.; Brutnell, T. P.; Carpita, N. C.; Chaparro, C.; Chia, J. M. Deragon, J. M. ; Estill, J. C. ; Fu, Y.; Jeddeloh, J. A.; Han, Y.; Lee, H.; Li, P.; Lisch, D. R.; Liu, S.; Liu, Z.; Nagel, D. H.; McCann, M. C.; San Miguel, P.; Myers, A. M.; Nettleton, D.; Nguyen, J.; Penning, B. W.; Ponnala, L.; Schneider, K. L.; Schwartz, D. C.; Sharma, A.; Soderlund, C.; Springer, N. M.; Sun, Q.; Wang, H.; Waterman, M.; Westerman, R.; Wolfgruber, T. K.; Yang, L.; Yu, Y.; Zhang, L.; Zhou, S.; Zhu, Q.; Bennetzen, J. L.; Dawe, R. K.; Jiang, J.; Jiang, N.; Presting, G. G.; Wessler, S. R.; Aluru, S.; Martienssen, R. A.; Clifton, S. W.; McCombie, W. R.; Wing, R. A.; Wilson, R. K. The B73 maize genome: complexity, diversity, and dynamics. 2009. *Science* 326(5956):1112- 5. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19965430>.
- Smith, S. 2007. Pedigree pedigree background changes in U.S. hybrid maize between 1980 and 2004. *Crop Sci.* 47:1914-1926.
- [Smith E. M. 2002. Conservación in situ por campesinos. Revista de geografía agrícola \(2\):55-68.](#)
- Smith, J. S. C., Chin .E. C. L, H., Shu. O. S., Wall .S. J., Senior. M. L, and Ziegler. J. 1997. And evaluation of the utility of SSR loci as molecular markers in maize (*Zea mays* L.): comparisons from data from RFLPs and pedigree. *Theoretical & Applied Genetics* 95: 163-173.
- Timothy, D.H., B. Peña V., R. Ramírez E., in collaboration with W.L. Brown and E. Anderson. 1961. Races of Maize in Chile. Publication 847. National Academy of Sciences–National Research Council, Washington, D.C.
- Timothy, D.H., W.H. Hatheway, U.J. Grant, M. Torregroza C., D. Sarria V. and D.Varela A. 1963. Races of maize in Ecuador. Publication 975. National Academy of Sciences–National Research Council, Washington, D.C.
- Valladares, C. A. 2010. *Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Honduras.*
- Vidal-Martínez V. A., Herrera F. B., Coutiño-Estrada J. J., Sánchez-González J., Ron-Parra A., Ortega-Corona A., Guerreiro-Herrera M. de J. 2010. Identificación y

localización de una especie de *Tripsacum* spp. En Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):27.30.

Wellhausen, E.J., A. Fuentes O. and A. Hernández C. in collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1957. *Races of Maize in Central America*. Publication 511. National Academy of Sciences–National Research Council, Washington, D.C. 128 p.

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. y Mangelsdorf, P. C. 1951. *Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución*. Secretaria de Agricultura y Ganadería de México, D. F.

Yanez, C., Zambrano J., Caicedo M., Sánchez, H., Heredia J. 2003. *Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos*. INIAP-EESC. Programa de Maíz 22(27): 113-127.