

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Colegio en Ciencias Agropecuarias**  
**Facultad de Agronomía**  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE MAICES NATIVOS DE SINALOA**

**Que para obtener el grado de  
Doctor (a) en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

**ORLANDO OMER LINARES HOLGUÍN**

**DIRECTOR(A) DE TESIS:  
DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA**

**CO DIRECTOR(A) DE TESIS:  
DR. JOSÉ ÁNGEL LÓPEZ VALENZUELA**

**ASESORES:  
DR. LEOGILDO CORDOVA TELLES  
DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA**

**Culiacán Rosales, Sinaloa, México; Marzo 2021**

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Colegio en Ciencias Agropecuarias**  
**Facultad de Agronomía**  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE MAICES NATIVOS DE SINALOA**

**Que para obtener el grado de  
Doctor (a) en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

**ORLANDO OMER LINARES HOLGUÍN**

**DIRECTOR(A) DE TESIS:  
DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA**

**CO DIRECTOR(A) DE TESIS:  
DR. JOSÉ ÁNGEL LÓPEZ VALENZUELA**

**ASESORES:  
DR. LEOBIGILDO CORDOVA TELLES  
DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA**

**Culiacán Rosales, Sinaloa, México; Marzo 2021**

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

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**(SELLO DE  
POSGRADO)**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



---

DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA

CO DIRECTOR



---

DR. JOSÉ ÁNGEL LÓPEZ VALENZUELA

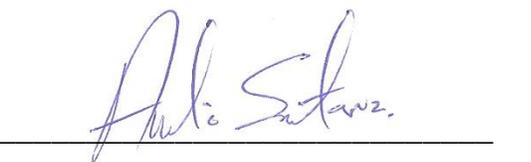
ASESOR



---

DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ

ASESOR



---

DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA

ASESOR



---

DR. SAÚL PARRA TERRAZAS

CULIACÁN, SINALOA, MARZO DE 2021



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

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 marzo del año 2021, el que suscribe ORLANDO OMER LINARES HOLGUIN, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0442032-2, 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 de la Dr. Pedro Sánchez Peña y cede los derechos del trabajo titulado “CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE MAICES NATIVOS DE SINALOA”, a la Facultad de Agronomía Culiacán, 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

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'OHL', written over a horizontal line.

ORLANDO OMER LINARES HOLGUIN

CORREO ELECTRÓNICO: [orlandomer@hotmail.com](mailto:orlandomer@hotmail.com)  
CURP: LIHO860623HGRNLR07



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## DEDICATORIA

En forma de tributo dedico este trabajo de tesis a los siguientes seres humanos;

A “mamor” Valentina mi “pks”, por todo el amor y la luz que has traído a mi vida y tu apoyo en la etapa final de este proceso de doctorado y a nuestros hijos (José Eduardo, Gabriel Orlando, Víctor y Fernanda) por ser la luz que guía mis pasos y por la inmensa felicidad que han traído a mi vida. Los amo.

A mis padres por formarme en los valores familiares, por enseñarme que la vida se logra con el esfuerzo y el trabajo y su apoyo en todos los años previos a esta etapa y aun en ella. A mis hermanos Osvaldo y Olimpia por ser únicos e irremplazables. Los amo.

A mi director de tesis Dr. Pedro Sánchez Peña, por su apoyo, por tener fe y creer en mí y sobre todo por su vivo ejemplo del que hacer y de la responsabilidad social del investigador.

A mis directores de tesis los doctores Amalio y Leovigildo por cobijarme, aceptarme en su laboratorio y asesorarme, por ser un vivo ejemplo de lo que un investigador y su trabajo deben ser. Al doctor Mario por asesorarme y tenerme tanta paciencia en los análisis estadísticos.

A todos mis amigos del Doctorado en Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de acompañarlos en este camino y compartir tantas horas y bromas juntos. A mis amigos de la Facultad de Agronomía con quienes viví tantas aventuras tanto en el campo como en el laboratorio. Sin su ayuda amigos aun no hubiese terminado tanto trabajo, mil gracias, Hernández, Cherry, Wendy, Abraham y Jesús, por recibirme como uno más de ustedes y permitirme ser parte de su vida durante algún tiempo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Sinaloa le agradezco con un sentimiento en lo hondo de mi ser, pues no tengo palabras que puedan expresar mi gratitud hacia esta magnífica institución.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias y a quienes lo dirigen por darme la oportunidad de cursar por sus aulas la Maestría en Ciencias Agropecuarias.

Al CONACYT por el reconocimiento a nuestro programa de maestría como un programa de calidad y por el apoyo económico otorgado durante estos cuatro años.

A la Facultad de Agronomía y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por su arduo trabajo en pro de la educación y la formación de alumnos de calidad.

Al personal técnico de tiempo completo del Laboratorio de ecología molecular y funcional del Instituto de Ecología de la UNAM por su asesoría en las técnicas moleculares.

A todos mis amigos del Doctorado en Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de acompañarlos en este camino y compartir tantas horas y bromas juntos, ha sido un placer.

A mis amigos de la Facultad de Agronomía con quienes viví tantas aventuras en el campo como en el laboratorio. Sin su ayuda amigos aun no hubiese terminado tanto trabajo, mil gracias, Hernández, Cherry, Wendy, Abraham y Jesús, por recibirme como uno más de ustedes y permitirme ser parte de su vida durante algún tiempo.

A Brenda por el apoyo y por cuidar de nuestros hijos durante el tiempo que invertí en la realización del Doctorado.

# CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	VI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
1.2.1. IMPORTANCIA DEL MAÍZ.....	5
1.2.2. ORIGEN DEL MAÍZ.....	9
1.2.3. TAXONOMÍA DEL MAÍZ.....	14
1.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE MAÍZ	15
1.2.5. POLINIZACIÓN, GAMETOGÉNESIS Y FECUNDACIÓN DEL MAÍZ.....	19
1.2.6. CICLO DE DESARROLLO DEL MAÍZ.....	22
1.2.7. CULTIVO DEL MAÍZ.....	27
1.2.8. CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE MAÍZ.....	42
1.2.9. GENÉTICA DEL MAÍZ.....	46
1.2.10. RAZAS DE MAÍZ EN MÉXICO.....	55

1.2.11. RAZAS DE MAÍZ EN SINALOA.....	61
<b>CAPÍTULO 2. ....</b>	<b>66</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	66
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
2.2.1 MATERIAL GENÉTICO.....	68
2.2.2 EXPERIMENTOS.....	69
2.2.3 VARIABLES EVALUADAS.....	69
2.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	70
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
2.3.1 MATERIAL GENÉTICO.....	71
2.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	72
2.3.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	76
2.3.4 AGRUPAMIENTO DE ACCESIONES.....	79
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>83</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	83
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>84</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>84</b>

## IV. ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Producción Nacional de maíz por entidad federativa....	3
2	Presencia de maíces nativos y sus parientes silvestres en el estado de Sinaloa.....	6
3	Clasificación taxonómica del maíz.....	15
4	Etapas vegetativas del maíz.....	24
5	Etapas reproductivas del maíz.....	26
6	Principales malezas que afectan el cultivo de maíz en México (Deras, 2014).....	35
7	Razas de maíz en el continente americano catalogadas por país (Serratos, 2009).....	49
8	Clasificación de las razas de maíz en México por Wellhausen, Roberts y Hernández X y Manglesdorf (1951).....	58
9	Nuevas razas de maíces de México descritas de 1979 a 2000.....	60
10	Presencia de maíces nativos en el estado de Sinaloa...	64
11	Cuadrados medios del análisis de varianza.....	74
12	Vectores, valores propios y proporción de la varianza explicada por los componentes principales.....	76

## V. ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Producción nacional de maíz ciclo 2020. Fuente SIAP enero 2021.....	2
2	Producción anual de maíz en Sinaloa, ciclo 2016. SAGARPA.....	5
3	Principales productores de maíz a nivel mundial (FAOSTAT, 2019).....	7
4	Comparación entre planta de teocintle y planta de maíz.....	11
5	Posible secuencia morfológica evolutiva de la mazorca del teocintle a la mazorca del maíz.....	11
6	Análisis de los diferentes tipos de maíces expuestos por Mangelsdorf (1959) en la teoría del origen del maíz: palomero (1), tunicado (2), dentado moderno (3), tunicado x palomero (4), mazorca arqueológica (5) y tripsacum (6) .....	12
7	Partes de una planta de maíz pequeña (A), raíces adventicias del maíz (B), hijuelos en maíz (C) y tallo del maíz (D).....	16
8	Hojas de la planta de maíz.....	17
9	Flor estaminada (masculina) del maíz.....	18
10	Flor pistilada (femenina) del maíz.....	19

11	Reproducción sexual de las plantas.....	21
12	Doble fecundación en el maíz.....	22
13	Partes de un grano de maíz.....	23
14	Fases vegetativas (A) y reproductivas (B) del maíz..	27
15	Preparación del terreno para la siembra de maíz.....	29
16	Siembra con arado (A), siembra a piquete con chuzo (B) y mecánica (C).....	30
17	Riego rodado o por gravedad (A), goteo (B) y aspersión (C).....	33
18	Principales malezas que afectan la producción del maíz. <i>Amaranthus hybridus</i> (A), <i>Sorghum halepense</i> (B), <i>Helianthus annuus</i> (C), <i>Malva parviflora</i> (D), <i>Convolvulus arvensis</i> (E), <i>Avena fatua</i> (F), <i>Cyperus sp</i> (G) y <i>Cenchrus incertus</i> (H)...	34
19	Larva y adulto del gusano de alambre ( <i>Elater spp.</i> )..	36
20	Larva de gallina ciega (A), adulto (B) y daños provocados al maíz (C).....	37
21	Larva del gusano alfilerillo (A), daño a la raíz (B) y ciclo de vida (C).....	37
22	Ciclo biológico del gusano cogollero (A), daño en el cogollo (B) y daño en el olote o mazorca (C).....	38
23	Adulto de trips (A) y daño en hoja del maíz (B).....	39

<b>24</b>	<b>Adulto (A) y daño de gusano elotero (B) así como adulto (C) y daño por la mosca pinta del maíz (D)....</b>	<b>40</b>
<b>25</b>	<b>Hoja de planta de maíz afectada por roya (A), hoja de mazorca afectada por roya (B), carbón común del maíz o Huitlacoche (C), virus del rayado fino del maíz (D) y pudrición de mazorca por <i>Stenocarpella</i> (E).....</b>	<b>42</b>
<b>26</b>	<b>Conservación <i>ex situ</i> en Banco de Germoplasma Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FAUAS).....</b>	<b>44</b>
<b>27</b>	<b>Conservación <i>in situ</i> de maíces nativos en el municipio de Concordia.....</b>	<b>44</b>
<b>28</b>	<b>Conservación del maíz en troja de madera (A), troja de tallos secos (B), contenedor de aluminio (C) y en mancuernas cerca de la hornilla (D).....</b>	<b>46</b>
<b>29</b>	<b>Razas de maíces mexicanos: Ancho (A), Bofo (B), Celaya (C), Tabloncillo (D), Elotero de Sinaloa (E), Tuxpeño (F), Elotes Occidentales (G) y Tabloncillo Perla (H).....</b>	<b>48</b>
<b>30</b>	<b>Razas de maíz de México. Reventador (A), Arrocillo Amarillo (B), Tabloncillo (C), Chalqueño (D), Arrocillo (E), Palomero Toluqueño (F), Cónico (G), Chalqueño (H), Cacahuacintle (I), Serrano Jalisciense (J), Occidentales (K), Mixteco (L), Serrano Mixe (M), Olotón (N), Zapalote Chico (Ñ).....</b>	<b>61</b>

31	<b>Razas de maíz reportadas en el estado de Sinaloa por Palacios y col., (2008). Tabloncillo (A); Tuxpeño (B); Tabloncillo Perla (C); Elotero de Sinaloa (D); Blando de Sonora (E); Onaveño (F); Reventador (G); Vandeño (H); Jala (I).....</b>	63
32	<b>Otras razas de maíz existentes en Sinaloa. Chapalote (A), Dulcillo del Noroeste (B), Bofo (C), Ratón (D) y Ancho (E).....</b>	65
33	<b>Mapa del estado de Sinaloa. Colectas de maíz en Sinaloa; y rendimiento de maíz de temporal obtenido de Bellon et al., (2018).....</b>	72
34	<b>Dispersión de los CP1 y CP2 para las accesiones analizadas. . A=Amarillo, BA=Blanco, BO=Bofo, BS=Blando de Sonora, CH=Chapalote, DN=Dulcillo del noroeste, ES=Elotero de Sinaloa, JA y J=Jala, O=Onaveño, R=Reventador, T=Tabloncillo, TN=Tuxpeño Norteño, TP=Tabloncillo-Perla, V=Vandeño. Accesiones con dos o más componentes raciales: BOPE=Bofo-Reventador; OTN=Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ=Tabloncillo-Jala; TPJ=Tabloncillo Perla-Jala; TTN=Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN=Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNRA= Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT=Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y VT=Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).....</b>	78
35	<b>Dendrograma de las razas colectadas, construido mediante UPGMA con distancias euclidianas</b>	80

**derivadas de 27 variables morfológicas.**

**A=Amarillo, BA=Blanco, BO=Bofo, BS=Blando de Sonora, CH=Chapalote, DN=Dulcillo del noroeste, ES=Elotero de Sinaloa, JA y J=Jala, O=Onaveño, R=Reventador, T=Tabloncillo, TN=Tuxpeño Norteño, TP=Tabloncillo-Perla, V=Vandeño.**

**Accesiones con dos o más componentes raciales:**

**BOPE=Bofo-Reventador; OTN=Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ=Tabloncillo-Jala; TPJ=Tabloncillo Perla-Jala; TTN=Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN=Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNR=Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT=Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y VT=Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).....**

## RESUMEN

La variación genética de maíz (*Zea mays* ssp. *mays* L.) en México se ha estudiado especialmente en el centro-sur del país. El estado de Sinaloa (1ro en producción) posee 23 % de la variación genética racial nacional, pero su evaluación es escasa. Se colectaron 144 muestras de maíz (Tuxpeño Norteño, Vandebño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste y Reventador) en distintos puntos del estado con el objetivo de describir las características morfológicas y agronómicas relevantes para determinar un patrón de agrupamiento. Las accesiones se evaluaron en dos ambientes con un diseño de látice simple 12 × 12, analizando 27 variables. El ANDEVA detectó diferencias significativas entre accesiones (todas las variables); interacción genotipo × ambiente (anchura/longitud del grano) y ambientes en la espiga (longitud del tramo ramificado, número de ramificaciones primarias y longitud de la rama central), mazorca (diámetro/longitud, longitud del pedúnculo y de mazorca) y grano (volumen y peso/volumen). Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron 64 % de la varianza donde las variables: número de hojas; diámetro y longitud de la mazorca; la anchura y espesor de grano; anchura/longitud del grano y floración son las más importantes. La representación gráfica de los CP1 y CP2 reveló seis grupos y cinco el de conglomerados. Algunas accesiones tuvieron características compartidas con más de un grupo racial, la posición de éstas fue cercana a con quienes compartían más características. Se confirma una amplia diversidad genética de maíces nativos en Sinaloa.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., diversidad genética, caracterización, germoplasma.

## ABSTRACT

The genetic variation of maize (*Zea mays ssp. Mays L.*) in Mexico has been studied especially in the south-central part of the country. The state of Sinaloa (first in production) has 23% of the national racial genetic variation, but its evaluation is scarce. We collected 144 samples of corn (Tuxpeño Norteño, Vandeño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tablaoncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste and Reventador) along the state in order to describe relevant morphological and agronomic characteristics and to determine a grouping pattern. The accessions were evaluated in two environments with a simple lattice design of 12 × 12, analyzing 27 variables. ANDEVA detected significant differences between accessions (for all variables), for the genotype × environment interaction (width / length of the grain) and for environments in spikes (length of branched section, number of primary branches and length of central branch), in cob (diameter / length, length of the peduncle and of the cob) and in grain (volume and weight / volume). The first three main components (PCA) explained 64% of the variance, where the variables: number of leaves, diameter and length of the cob; the width and thickness of the grain; grain width and length and flowering; are the most important. The graphic representation of the PCA (1 and 2) revealed six groups and that of conglomerates five. Some accessions had characteristics shared with more than one racial group and their position was close to that of those who shared characteristics. A wide genetic diversity of native corn is confirmed in Sinaloa.

**Keys words:** *Zea mays* L., diversidad genética, caracterización, germoplasma.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

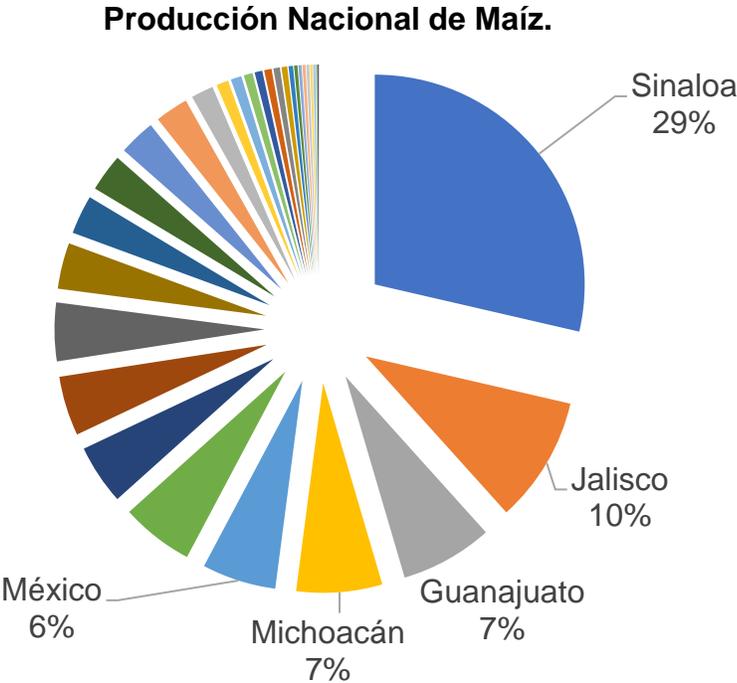
## 1.1. Introducción.

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, es una planta completamente domesticada que no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza. Tiene una gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como materia prima de una amplia gama de productos industriales. Desde finales del siglo XX se ha constituido como el cereal más cultivado e importante a nivel mundial, superando en producción global al trigo y al arroz. Para el año 2019 la producción mundial el maíz superó los 1,148 millones de toneladas ubicándose en el segundo lugar de producción a nivel mundial después de la caña de azúcar (FAO, 2021).

México es considerado el centro de origen y de domesticación de una gran diversidad de variedades y especies de explotación agrícola (Harlan, 1971) incluido el maíz. Éste es también el cultivo más importante desde el punto de vista social y económico para nuestro país. Y aunque la producción promedio de maíz de los últimos años (2007 a 2019) ha sido de 24 millones de toneladas aproximadamente (SIAP, 2021) existe un déficit de 10 millones de toneladas, sin contar los eventos inesperados como en el 2011 cuando solo se produjeron 17.6 millones de toneladas como consecuencia de los problemas de sequías y heladas atípicas. Es de notar que la producción nacional de maíz resulta insuficiente para satisfacer la demanda de la población mexicana que sobrepasa los 30 millones de toneladas por año. El mencionado déficit productivo y el incremento de los productos agrícolas han ocasionado la elevación de los costos importación de los alimentos a unos 20 mil millones de dólares anuales, de los cuales, 2.5 mil millones de dólares son solamente para importar maíz (Turrent *et al.* 2012).

Una de las estrategias que se han implementado en México en los últimos años para satisfacer la demanda, es dinamizar la producción de maíz en los distritos de riego, sobre todo en aquellos del norte del país. El estado de Sinaloa se ha posicionado en primer lugar como productor de maíz, aportando cerca del 30 % de la producción nacional (ver Figura 1). En sus 574 mil hectáreas de producción, 538 mil hectáreas se ubican en distritos de riego y 39 mil hectáreas dispersas en pequeñas unidades de

producción en zonas de topografía irregular y cultivadas bajo un régimen de producción de temporal (Cuadro 1).



**Figura 1.** Producción nacional de maíz ciclo 2020. Fuente SIAP enero 2021.

La superficie de riego cultivada con maíz presenta condiciones relativamente uniformes y favorables para la expansión de genotipos homogéneos, híbridos comerciales en su gran mayoría que, si bien presentan un rendimiento aceptable, tienen una diversidad genética reducida. Esto constituye un punto débil desde una perspectiva de sistemas de agricultura sustentable, rentabilidad (semillas importadas) y de riesgos en producción.

Aun cuando el área de temporal de maíz en Sinaloa cuenta con extensión mucho más pequeña que la de riego, alberga una amplia diversidad genética de maíz con alrededor de más de 12 razas diferentes de maíz nativo, la mayoría de ellas no evaluadas aun en su totalidad.

**Cuadro 1.** Producción Nacional de maíz por entidad federativa.

<b>PRODUCCIÓN NACIONAL DE MAÍZ. CICLO 2020</b>					
<b>Entidad</b>	<b>Superficie (ha)</b>			<b>Producción (toneladas)</b>	<b>Rendimiento (udm/ha)</b>
	<b>Sembrada</b>	<b>Cosechada</b>	<b>Siniestrada</b>		
1 Sinaloa	574,915.35	558,078.13	3,977.61	6,262,778.72	11.22
a) Riego	538,970.62	534,764.41	3,377.61	6,194,808.55	11.58
b) Temporal	35,944.73	23,313.72	600	67,970.17	2.92
2 Jalisco	594,479.87	302,354.23	0	2,128,284.09	7.04
3 Guanajuato	414,044.75	272,117.31	6,065.00	1,556,131.39	5.72
4 Michoacán	464,809.63	319,720.10	0	1,447,015.53	4.53
5 México	498,695.64	345,038.92	14,559.00	1,246,706.03	3.61
6 Chihuahua	207,528.43	159,017.43	43,531.00	1,223,877.71	7.7
7 Veracruz	586,152.99	436,222.73	2,904.50	1,008,964.11	2.31
8 Guerrero	495,771.10	357,124.47	1,536.00	1,005,289.98	2.81
9 Puebla	516,721.90	441,599.07	0	986,347.54	2.23
10 Chiapas	694,167.16	471,111.12	2,714.15	777,180.81	1.65
11 Oaxaca	511,651.28	460,553.39	767.33	655,569.62	1.42
12 Sonora	55,714.49	54,484.19	1,230.30	634,124.70	11.64
13 Hidalgo	223,187.80	205,911.90	16,548.94	613,429.27	2.98
14 Tamaulipas	176,038.69	127,198.44	26,018.50	558,757.78	4.39
15 Zacatecas	204,840.50	169,734.50	11,095.00	375,620.64	2.21
16 Querétaro	101,741.09	56,862.80	27,735.00	204,102.20	3.59
17 Tlaxcala	129,076.00	56,055.65	425	181,447.30	3.24
18 Tabasco	88,671.00	78,032.75	10,638.25	150,136.65	1.92
19 San Luis Potosí	227,128.83	123,931.00	59,662.12	129,475.05	1.04
20 Durango	148,461.00	143,393.00	423	124,707.69	0.87
21 Campeche	186,606.00	63,510.05	1,325.00	109,300.40	1.72
22 Morelos	38,709.71	24,882.37	0	96,443.03	3.88
23 Aguascalientes	39,983.00	39,983.00	0	74,198.91	1.86
24 Nayarit	27,248.00	14,694.00	5	57,523.56	3.91
25 Nuevo León	60,223.40	54,348.40	5,565.00	54,242.55	1
26 Yucatán	110,001.96	23,181.56	37,528.83	51,956.17	2.24
27 Colima	11,669.50	11,669.50	0	49,703.70	4.26
28 Baja California Sur	4,884.00	4,813.00	71	43,634.10	9.07
29 Quintana Roo	57,701.50	32,363.50	13,150.00	32,985.50	1.02
30 Coahuila	25,110.00	25,110.00	0	21,635.12	0.86

31 Baja California	1,788.60	1,696.20	0	19,104.38	11.26
32 CDMX	3,413.70	3,413.70	0	4,495.92	1.32
<b>Total</b>	<b>7,481,136.87</b>	<b>5,438,206.41</b>	<b>287,475.53</b>	<b>21,885,170.16</b>	<b>4.02</b>

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

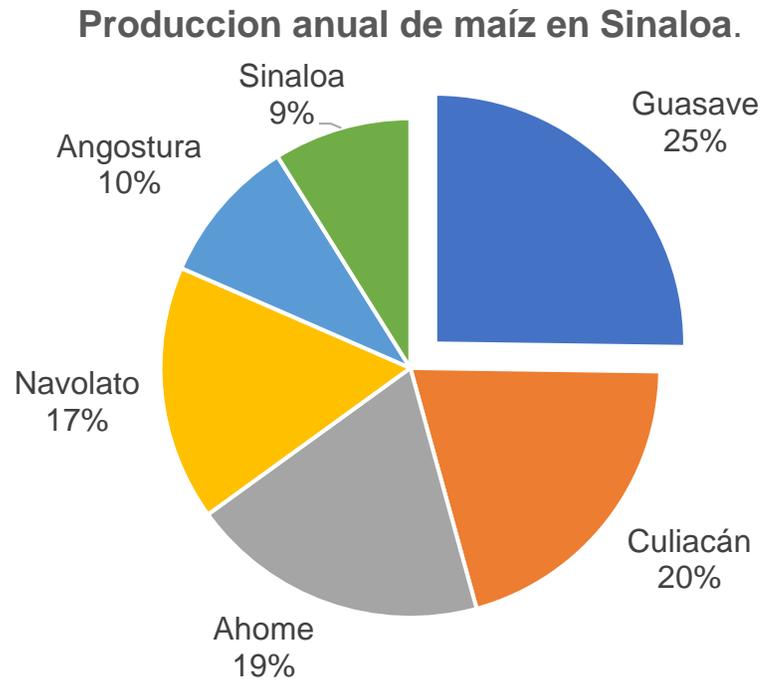
[https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/). Situación al 31 de diciembre de 2020

Varios investigadores han mencionado en sus trabajos diferentes razas de maíz presentes en Sinaloa (Cuadro 2). Turrent y Serratos (2004) reportan que en los bancos de germoplasma nacionales existen accesiones colectadas en Sinaloa que corresponden a las razas de maíz conocidas como: Chapalote, Tuxpeño, Elotero de Sinaloa, Reventador, Tabloncillo Perla, Jala, Bofo, Dulcillo del Noroeste, Blando de Sonora, Onaveño, Harinoso de Ocho y Vadeño.

De acuerdo con las estadísticas de SAGARPA (2021), a nivel estatal, Sinaloa cosechó una superficie de más de 557 mil hectáreas de maíz en el ciclo agrícola 2019, con una producción total de más de 6.4 millones de toneladas y rendimientos promedios de 8 t ha<sup>-1</sup>. El municipio de Guasave fue el principal productor de maíz en Sinaloa, reportando un porcentaje de producción del 25% (1,442,988.44 toneladas) de producción comparado con Culiacán que aportó un 20% (1,173,091.02 toneladas), seguido por Ahome, Navolato, Angostura y Sinaloa municipio que contribuyeron con una aportación de 1,104,383.63, 945,706.09, 545,525.25 y 509,983.96 toneladas a la producción estatal respectivamente (Figura 2).

Estas poblaciones de maíz se han conservado de generación en generación y contienen una amplia diversidad genética que representa una fuente de genes que pueden ayudar a resolver los principales problemas que limitan la producción de este cultivo y otros. Sin embargo, el reservorio genético mantenido en estas poblaciones ha sido poco estudiado y se encuentra erosionado como consecuencia a la destrucción o fragmentación del hábitat (praderas para ganadería) y la introducción de materiales mejorados de reducida base genética. La diversidad genética contenida en esas poblaciones constituye un reservorio valioso de genes de resistencia a enfermedades, condiciones de producción, resistencia a sequía, floración, entre otros que son necesarios ante las eventualidades como ocurrió en 1970 cuando un ataque de *Helminthosporium* devastó la producción de maíz en los Estados Unidos de

Norteamérica, encontrándose el material genético resistente en accesiones de maíz originarias de México (Tatum, 1971)



**Figura 2.** Producción anual de maíz en Sinaloa, ciclo 2019. SIAP

La investigación en mejoramiento genético se basa en la disponibilidad de recursos genéticos como principal insumo, en virtud de que representan un gran reservorio de genes que pueden ser utilizados eventualmente para hacer frente a las diferentes situaciones que plantea el ambiente o las demandas del mercado siempre cambiantes. Actualmente, los agricultores son los principales guardianes de la biodiversidad agrícola en el mundo, están completamente involucrados en las formas de crear, sostener e impulsar la evolución y adaptación de una gran variedad de especies vegetales y animales (Jarvis *et al.*, 2010); en este sentido, los estudios que permiten coleccionar los materiales genéticos nativos, caracterizar las poblaciones fenotípica y morfológicamente de las poblaciones *in situ* (con la participación de las comunidades) y el mantenimiento *ex situ* de la diversidad presente, entre otras acciones. Por ello, es fundamental saber cuál es la distribución de los maíces nativos en la zona serrana de Sinaloa; y junto con ello, su variabilidad genética y morfológica. Esto permite no solo para ampliar el conocimiento e incrementar el bienestar, sino también para conservar el reservorio de genes presentes en los maíces nativos que se cultivan en Sinaloa.

**Cuadro 2.** Presencia de maíces nativos y sus parientes silvestres en el estado de Sinaloa.

<b>Referencia</b>	<b>Razas</b>
Wellhausen <i>et al.</i> , 1951	Chapalote, Reventador, Tabloncillo
Ortega P., 1985 (Hernández, 2006)	Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Intervención de Tuxpeño
Sánchez, 1989 (Hernández, 2006)	Elotero de Sinaloa
Sánchez y Goodman, 1992 (Turrent, 2004)	Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Reventador, Blando de Sonora
Cárdenas, 1995 (Turrent, 2004)	Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Blandito de Sonora, Reventador, Tuxpeño, Dulcillo del Noroeste, Onaveño, Maíz Dulce, San Juan, Lady Finger, Harinoso
Ortega C. et al., 2006, 2005 y 2002 Base de Datos INIFAP	Tabloncillo, Azul, Onaveño Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Blandito, Reventador, Elotero de Sinaloa, Tuxpeño, Dulcillo, Bofo, Onaveño

Fuente: Palacios *et al.*, 2008. CONABIO-INIFAP

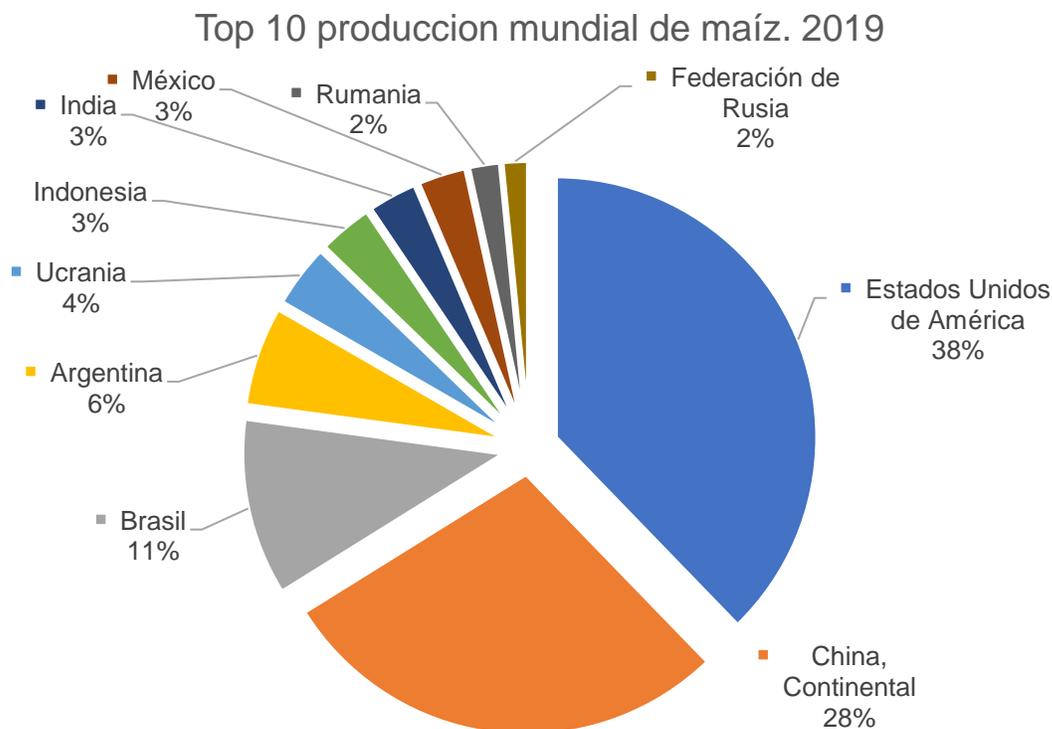
## **1.2. Revisión de literatura**

### **1.2.1. Importancia del maíz**

Desde varios puntos de vista (alimentario, político, económico, social y cultural) el maíz es el cultivo más importante para nuestro país. Este cereal cubre poco más de la mitad de la superficie agrícola sembrada de nuestro territorio, con más de 7.4 millones de hectáreas (SAGARPA, 2020), ver Cuadro 1.

De acuerdo con los datos de la FAO (2019), la producción mundial de maíz fue de 1,148,487,291 toneladas. Durante este ciclo USA fue el principal país productor en el mundo con un 38 % de la producción mundial (347,047,570 toneladas), seguido por

China con un 28 % (260,778,900 toneladas) y Brasil en tercer lugar con el 11% (101,138,617). México se encuentra en el octavo lugar de producción mundial con 3 % (27,228,242 toneladas) Figura3.



**Figura 3.** Principales productores de maíz a nivel mundial (FAOSTAT, 2019).

De acuerdo con Serna-Saldívar y Amaya-Guerra (2008), el consumo *per capita* de maíz en México es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos de América. Es un producto básico para la alimentación humana, como fuente de forraje, de materia prima para la producción de alimentos procesados y recientemente, para la producción de etanol (Serratos, 2009). La importancia económica del cultivo de maíz en México se refleja en sus niveles de producción en la última década, 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.

En México el maíz es parte de la dieta básica, su consumo *per capita* diario es de 155.4 g en las zonas urbanas y hasta 217.9 g en las zonas rurales (CONEVAL, 2012). Por otro lado, Salvador (2001) plantea que el consumo anual *per capita* es cerca de 185

kg (0.5 kg diarios aproximadamente) estimándose que en las áreas rurales el consumo de maíz provee casi el 70 % del total de las calorías consumidas.

El establecimiento de siembras de este grano genera diversas fuentes de empleos directos como consecuencia del manejo agronómico del cultivo dentro de los que se incluyen, la preparación de las tierras para la siembra, cuidado de la siembra hasta llegar a su cosecha. De forma indirecta, cuando se da un valor agregado al maíz mediante la obtención de diversos productos como: tortillas, totopos, tamales, pinole, piznate, coricos, tacuarines, tostadas, tlayudas, locros, sopa de cuchuco, choclo o choco, arepas, cachapas, hallacas, y bebidas a base de maíz. Las formas pueden ser tan indirectas como por ejemplo la utilización del huitlacoche (*Ustilago maydis*) una especie de hongo del maíz en la mazorca como platillo alimenticio en muchos lugares (Lugo, 2009).

Aunque en México no se ha popularizado, la utilización de maíz como biocombustible está impactando económica y socialmente en el mundo. El caso de la producción de bio-etanol a partir de maíz, se ha transformado en una industria reciente generadora de empleos. En el 2005 Estados Unidos destinó más de 40 millones de toneladas de maíz (12% de su producción anual) produciendo más de 17, 000 millones de litros de etanol, elaborados en más de 90 plantas de procesamiento, estimando que esta industria proporciona más de 300,000 puestos de trabajo en dicho país, estimulando muchas áreas rurales (Gear, 2006). En Sinaloa solo existe un proyecto piloto de producción de bioetanol producto de los esquilmos de la producción agrícola de maíz, que potencialmente podrían producir 150 millones de litros anuales el equivalente a un 20% de la demanda nacional de biocombustibles (Becerra Pérez, 2019).

Desde el punto de vista cultural el maíz está íntimamente ligado al desarrollo de la cultura mesoamericana. Un valor fundamental transmitido y preservado a través de milenios entre todos los grupos humanos, cuya cultura se ha basado en el maíz y que mantienen nexos con el pasado precolombino donde se concibió al maíz como fuente de la vida. Esta reverencia implícita culto a los dioses del maíz en el pasado prehispánico, así como a los santos patronos relacionados con la agricultura de la actualidad. La mayoría de la comida mexicana está basada en el maíz ya sea en una u otra forma y podría estar incompleta o ser francamente inconcebible si llegara a faltar la tradicional

tortilla en la comida (Salvador, 2001). Cada uno de los diferentes usos y destinos del maíz: como alimento, medicina, artesanía, forraje, comercio, ofrenda ritual y abasto local, tienen un sentido cultural que reproduce y nutre la identidad de los pueblos. La experiencia y reflexión que los mesoamericanos fueron haciendo sobre el maíz, los llevó a percibir la presencia y acción de dios, por ello al maíz lo llamaron Teocintle, de Théotl= Dios y cínle= grano; el grano sagrado. Estos pueblos y culturas también celebraron y ritualizaron de muchas maneras sus experiencias y creencias relacionadas con el maíz, realizando ceremonias para celebrar momentos significativos (Cárcamo, 2011).

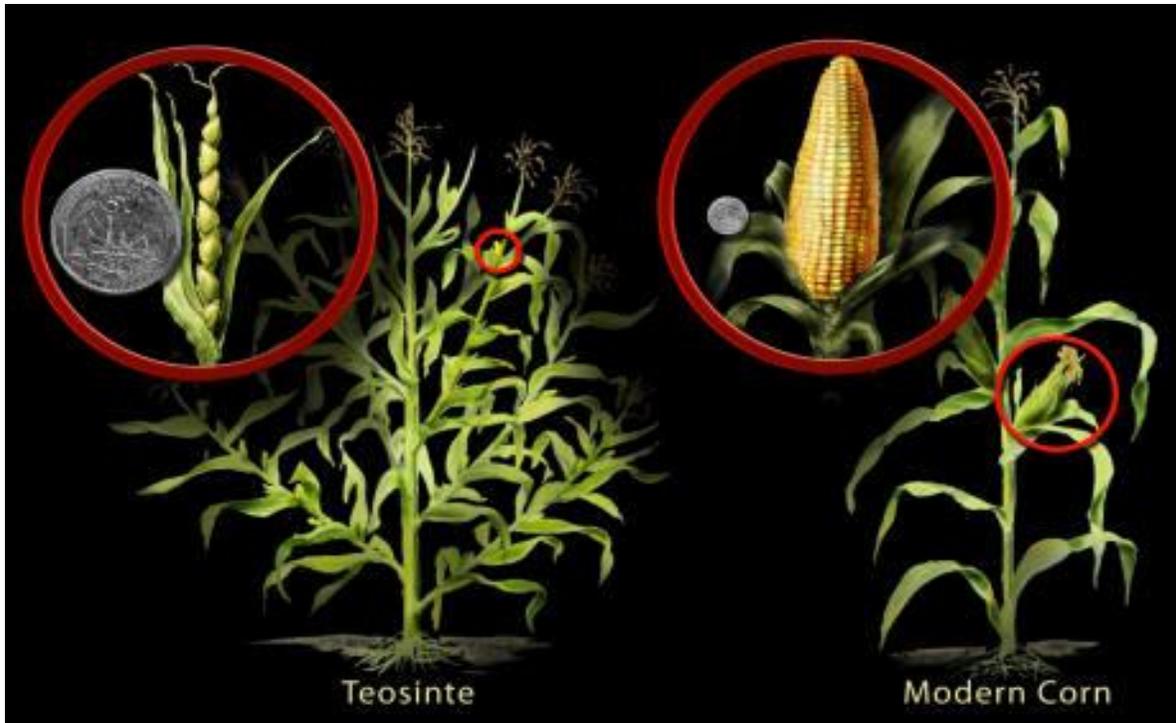
Hoy en nuestro continente, el cultivo del maíz continúa siendo la base de la comida en muchos países y se ha extendido a las mesas de todo el mundo (Gear, 2006). Gracias a los procesos de domesticación el maíz se ha adaptado a una gran variedad de ambientes conservando altos rendimientos, esto, además de las posibilidades de mejora genética, hacen que el maíz sea un cultivo explotado a fin de alimentar la creciente población mundial (Palacios *et al.*, 2008). Su aprovechamiento involucra los granos, tallos, espigas, raíces, olote y brácteas utilizados para diversos propósitos en la alimentación humana y animal, medicinal e industrial (Mera, 2009; Bellon, 2009). No solo para la alimentación del hombre es de suma importancia el maíz; también, es importante para la alimentación de animales. Durante la última década la utilización de maíz en la elaboración de alimento balanceado para consumo animal se ha incrementado debido a la utilización en la alimentación de bovinos de carne; aves y puercos, reconociéndosele a este como el grano forrajero por excelencia a nivel mundial (Gear, 2006).

### **1.2.2. Origen del maíz**

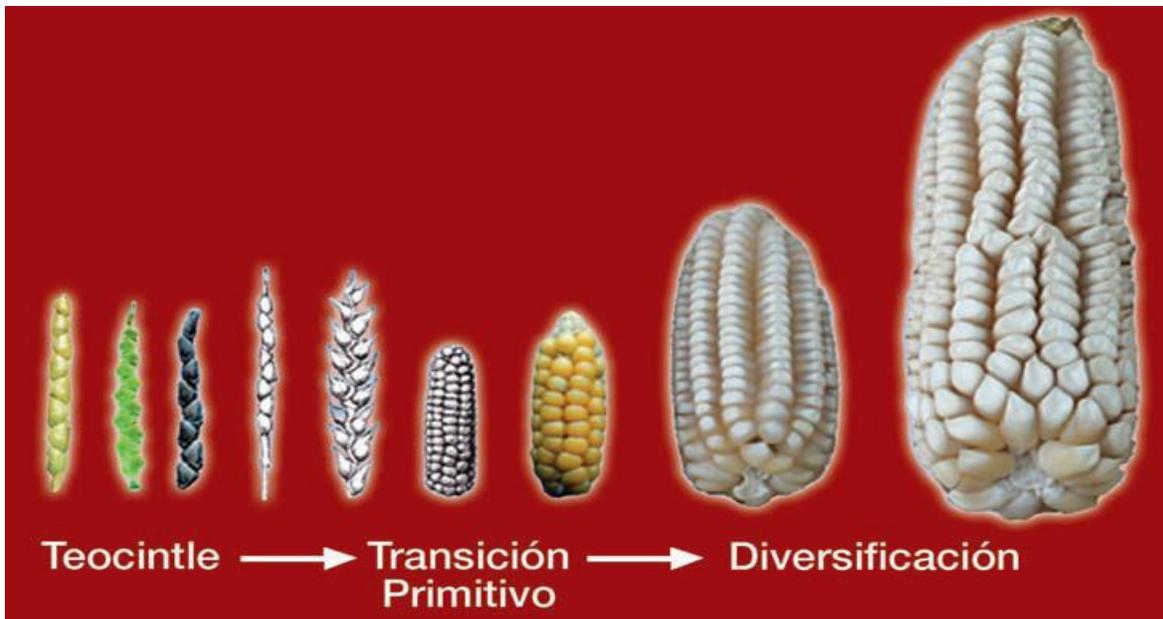
La estrecha relación entre los humanos y el maíz es ancestral como lo demuestran los restos arqueobotánicos de maíz descubiertos en cuevas del Valle de Tehuacán, que datan de una antigüedad entre 4500 a 7000 años. Otro ejemplo son los de la cueva de Guilá Naquitz en los valles centrales de Oaxaca con una antigüedad de 6200 años aproximadamente (Benz, 2001) y los encontrados en el Noroeste de México, norte de Sinaloa y suroeste de Estados Unidos que denotan una antigüedad aproximada de 4500 años (Carpenter, 2005).

El origen del maíz no ha sido sencillo de indagar. La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la búsqueda es un gran desafío científico. A lo largo del tiempo se han expuesto teorías que explican su posible origen como; la teoría del teocintle como ancestro del maíz, la teoría tripartita, la teoría *Tripsacum-diploperennis*, la teoría multicéntrica del origen del maíz y la teoría unicéntrica del origen del maíz. De todas las mencionadas, solamente tres de ellas han sido las más debatidas y hoy en día la más aceptada es la teoría del teocintle como ancestro del maíz (Kato *et al.*, 2009).

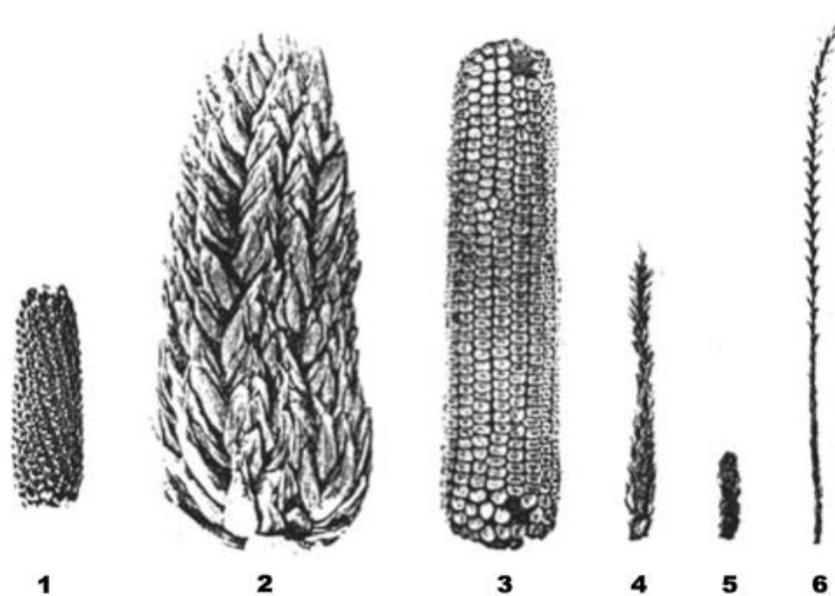
Desde las primeras exploraciones realizadas por Vavilov en México, le fue evidente que *Euchlaena* (género en el que antiguamente se clasificó al teocintle) era el pariente silvestre más cercano del maíz. Los estudios pioneros de la taxonomía del teocintle fueron realizados por Schrader (1833), quien lo clasifica como *Euchlaena mexicana*. Dentro del proceso de transformación 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 4). El análisis de estructuras intermedias que se producen en la progenie de ambos sugiere diferentes interpretaciones sobre el origen del maíz (Figura 5), 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, y la morfología de su progenie dieron elementos para proponer a la teoría general aceptada y apoyada actualmente, la cual postula al teocintle anual 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, quien en 1895 atribuye al teocintle como el ancestro del maíz; y fue defendida por Barbara McClintock, Collins, Mangelsdorf (Figura 6), Emerson, Beadle, Arnason, Gutiérrez, Galinat, Wilkes, Doebley, Stec y Gaut (Kato, 2009).



**Figura 4.** Comparación entre planta de teocintle y planta de maíz.



**Figura 5.** Posible secuencia morfológica evolutiva de la mazorca del teocintle a la mazorca del maíz



**Figura 6.** Análisis de los diferentes tipos de maíces expuestos por Mangelsdorf (1959) en la teoría del origen del maíz: palomero (1), tunicado (2), dentado moderno (3), tunicado x palomero (4), mazorca arqueológica (5) y tripsacum (6).

George Beadle en 1980, dió forma a la hipótesis de la evolución del teocintle y la intervención humana en el proceso de domesticación. En su escrito desarrolló su hipótesis del teocintle como ancestro del maíz donde fundamentó que a pesar de las diferencias morfológicas entre maíz y teocintle puede tener progenie fértil y se cruzan de forma natural en campo. El entrecruzamiento en los cromosomas de los híbridos es normal e infería que el teocintle es la forma ancestral del maíz por su capacidad de sobrevivir de forma silvestre (Serratos, 2009).

En 1976 estudios realizados por Kato desde el punto de vista citogenético, de los nódulos cromosómicos del teocintle y el maíz, permitieron identificar la variación y características de cada especie, por lo que se determinó que el teocintle es la forma ancestral del maíz. Esa investigación fortaleció la hipótesis de la evolución progresiva del teocintle para dar origen al maíz (Serratos, 2009).

Doebly (1992), define las diferencias entre teocintle y maíz a partir de los estudios con marcadores moleculares. Consolidando de esta manera la teoría del teocintle como ancestro del maíz. En uno de los primeros trabajos en los que se empleó la metodología

de los marcadores moleculares para analizar el origen del maíz, Doebley concluyó que, en cinco segmentos de cuatro cromosomas de los híbridos de maíz y teocintle se encuentra la información genética, que produjo una modificación morfológica en las inflorescencias femeninas y masculinas entre estas dos especies. Sugieren, además, que una serie de mutaciones producen la transformación sexual de la inflorescencia masculina del teocintle en la inflorescencia femenina del maíz.

Según Serratos (2009), el proceso de domesticación es el tercer elemento involucrado en el cómo se originó el maíz. Donde la intervención humana fue una condición indispensable para la transformación del teocintle en maíz. La determinación del proceso de domesticación es clave para ubicar el centro de origen y la diversificación del cultivo. En base a estudios realizados sobre la domesticación del maíz surgieron teorías antagonistas con relación al centro de origen, la unicéntrica y la multicéntrica. Estas dos teorías generaron una gran controversia apuntando no solo al origen y domesticación del maíz sino también a su diversificación. A pesar de que se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del proceso de domesticación y la definición uni o multicéntrica del origen y diversidad del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen (Serratos, 2009). La multicéntrica propone que el maíz tuvo un origen multicéntrico, es decir, que existieron varios centros de domesticación a partir de diferentes poblaciones de teocintle hace unos 8,000 años y; la teoría unicéntrica propone que las poblaciones del teocintle de la raza Balsas o subespecie (*ssp.*) *parviglumis* localizadas en el centro de la cuenca del Balsas (oriente de Michoacán, suroeste del estado de México y norte de Guerrero) dieron origen al maíz. Esas dos teorías están asociadas a cómo se originó y diversificó el maíz en sus diferentes formas para adaptarse a condiciones ambientales y culturas específicas (Kato, 2005).

De acuerdo a Wilkes, 2004 “Existen a la fecha muchas verdades en todas las contribuciones sobre el origen del maíz; sin embargo, todavía existen elementos que no logran dilucidar algunos aspectos, lo que permitirá continuar la polémica en este tema”. En el proceso de domesticación del maíz el humano manipulaba el ciclo de vida de acuerdo con su preferencia, de forma tal que las generaciones siguientes fueran de mayor utilidad para él, mientras la planta tendía a perder capacidad reproductiva natural haciéndose dependiente de la intervención del hombre para su sobrevivencia. Al realizarlo, se inducían cambios en la genética de la planta adaptándolas a su

agroecosistema, imposibilitando la supervivencia de las plantas en sus ecosistemas naturales (Davies, 2004). El hombre pudo iniciar el proceso de domesticación para originar al maíz, propiamente dicho, y a su vez continuar la domesticación con el fin de consolidar la nueva planta bajo su protección y multiplicación, y así crear la agricultura. En este sentido la domesticación puede ser definida como: “Un proceso evolutivo que involucra caracteres genéticos asociados a características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento en poblaciones de plantas manipuladas por los seres humanos, con respecto a las poblaciones silvestres de las cuales se originan” (Doebley ,1992). En este proceso, la selección artificial interviene como fuerza evolutiva principal, favoreciendo la supervivencia y reproducción de fenotipos que presentan características ventajosas para los seres humanos; esto es, individuos con mejores características para ser utilizados como alimento, medicina u otros usos (Harlan, 1992).

Las distintas características morfológicas, fenológicas, agrícolas y alimenticias con las que cuenta el maíz actualmente son una consecuencia de dichos procesos de domesticación con el objetivo de satisfacer las necesidades humanas utilizando a la planta. El maíz es una de las plantas domesticadas más modificadas por dicho proceso. El tallo, las hojas, su altura, contenido nutricional, color, olor, número de hojas, grosor, tamaño y forma de grano, contenido harinoso y de azúcar, abundancia y tipos de raíz, entre muchas otras características fueron objeto de dicha selección por más de 7 mil años.

### **1.2.3. Taxonomía del maíz**

El maíz es una planta anual que pertenece a la familia de las gramíneas, Carlos Linneo describió y clasificó al maíz como del género *Zea* y de la especie *mayz* (Cuadro 1); y los científicos en el mundo lo conocen actualmente como *Zea mays L* (Reyes, 1990).

**Cuadro 3.** Clasificación taxonómica del maíz.

<b>Categoría</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Carácter distintivo</b>
<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>	<b>Planta anual</b>
<b>División o phylum</b>	<b>Tracheophyta</b>	<b>Sistema vascular</b>
<b>Subdivisión</b>	<b>Pterapsidae</b>	<b>Producción de flores</b>
<b>Clase</b>	<b>Angiosperma</b>	<b>Semilla cubierta</b>
<b>Subclase</b>	<b>Monocotiledónea</b>	<b>Cotiledón único (escutelum)</b>
<b>Orden</b>	<b>Graminales</b>	<b>Tallos con nudos prominentes</b>
<b>Familia</b>	<b>Gramineae</b>	<b>Grano-cereal</b>
<b>Tribu</b>	<b>Maydeae</b>	<b>Flores unisexuales</b>
<b>Genero</b>	<b><i>Zea</i></b>	<b>Único</b>
<b>Especie</b>	<b><i>Mayz</i></b>	<b>Maíz común</b>
	<b><i>Mexicana</i></b>	<b>Teocintle anual</b>
	<b><i>Perennis</i></b>	<b>Teocintle perenne</b>
<b>Raza</b>	<b>Más de 300 razas clasificadas; 30* en México</b>	<b>Adaptadas a regiones bien definidas, ejemplo: Tuxpeño Trópico; Chalqueño Meza Central</b>
<b>Varietades</b>	<b>Polinización libre V-7; híbridos H-507</b>	<b>Clima frío; clima caliente Húmedo</b>
<b>Líneas puras</b>	<b>T2</b>	<b>Intervienen todos los híbridos de clima caliente humedo</b>

Fuente: Reyes, 1990. (\* en la actualidad se manejan 61 razas, de acuerdo a CONABIO, 2008).

#### 1.2.4. Características de la planta de maíz.

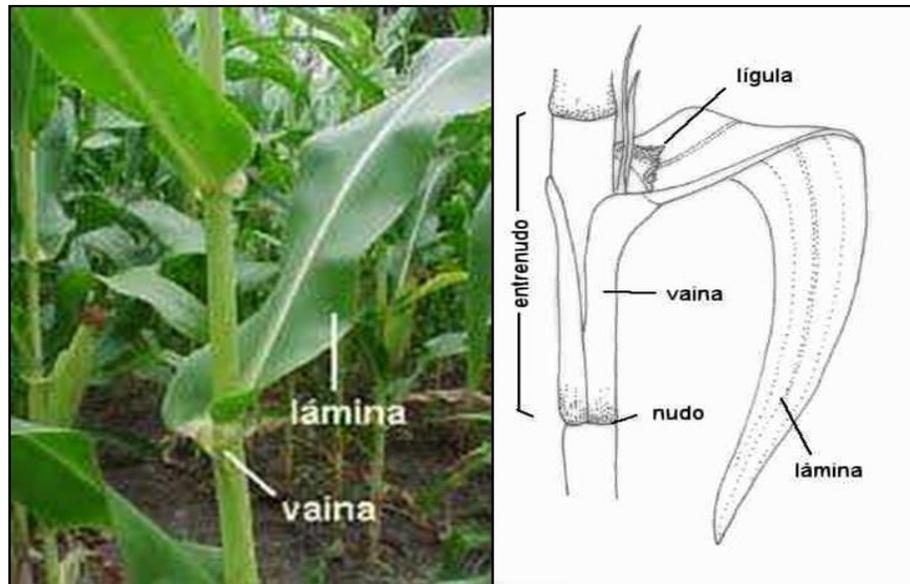
La planta se alimenta de la semilla (endospermo), aproximadamente las primeras dos semanas después de la germinación, otras raíces que conforman al sistema radicular son, las raíces principales o secundarias, que comienzan a formarse a partir de la corona, por encima de las raíces primarias, constituyendo 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, que nacen en el último lugar en los nudos de la base del tallo, por encima de la corona (Figura 7). En las raíces se encuentran los pelos radiculares absorbentes, estos se encargan de aprovechar el agua y los nutrientes indispensables para un buen desarrollo de la planta (Valladares, 2010). Posee un sistema radicular fibroso o fasciculado que provee un perfecto anclaje a la planta a distintos tipos de suelos, en algunos casos sobresalen los nudos radiculares a nivel del suelo de donde brotan raíces secundarias o adventicias. El sistema radicular fasciculado bastante extenso formado por tres tipos de raíces (Figura 7): raíz seminal o primaria, que se originan del embrión, comprende la radícula y esta raíz pronto deja de funcionar.



**Figura 7.** Partes de una planta de maíz pequeña (A), raíces adventicias del maíz (B), hijuelos en maíz (C) y tallo del maíz (D).

El tallo de la planta del maíz también forma parte de las características vegetativas, el cual puede tener varios o ningún brote conocidos como hijuelo (Figura 7), pero la producción de mazorcas tiene lugar sobre todo en el tallo principal leñoso y cilíndrico, longitudinalmente compuesto de hojas, nudos y entrenudos (Figura 7), los cuales son cortos, y se van alargando a medida que se encuentran en posiciones superiores, hasta terminar en el entrenudo más largo, que lo constituye la base de la espiga, la cantidad de entrenudos varían de 8-25 con un promedio de 14 aproximadamente, esto dependiendo de la altura de la planta, exponiendo una hoja en cada nudo y una yema en la base de cada entrenudo (Valladares, 2010).

Las hojas son de aspecto ensiforme (en forma de espada), larga, un poco ancha, terminada en punta, de bordes enteros y con nervaduras paralelas (hojas paralelinervias); asciende primero oblicuamente hacia fuera, pero cerca de la extremidad se dobla hacia abajo (Figura 8), y se desarrollan a partir de las yemas foliares. Es una vaina foliar (lígula) pronunciada, cilíndrica en su parte inferior y que sirve de cubierta de los entrenudos del tallo, abrazándolo (aurículas), pero con los extremos desnudos. Su color usual es verde, pero se pueden hallar rayadas en blanco y verde o verde y púrpura, presentándose en igual cantidad que los entrenudos (Valladares, 2010).

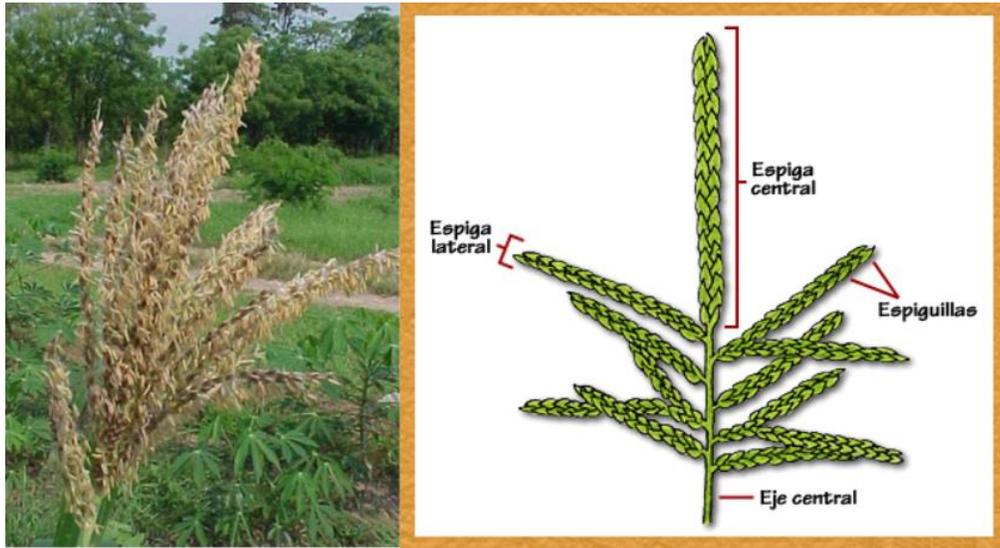


**Figura 8.** Hojas de la planta de maíz.

Dentro de las características reproductivas se encuentra la floración masculina y femenina; la reproducción del maíz es sexual donde su multiplicación se realiza por medio de una semilla cuyo embrión se origina por la fusión de dos gametos; es unisexual por contener flores con solo el androceo y flores con solo el gineceo, o sea flores separadas y con un solo sexo; también es considerada monoica por encontrarse el androceo y el gineceo en la misma planta; sus flores son incompletas por carecer al menos de una estructura del perianto floral; es imperfecta por encontrarse flores postiladas o estaminadas, o sea que tiene los dos órganos sexuales pero en flores diferentes se conoce como protandra por hacer dehiscencia la antera antes de que los primeros estigmas sean receptivos (Valladares, 2010).

Las flores estaminadas se encuentran dispuestas por parejas en espiguillas que se distribuyen en ramas de la inflorescencia comúnmente conocida como espiga. Cada flor tiene tres estambres largamente filamentados. La inflorescencia masculina o panoja se desarrolla en el punto de crecimiento apical en el extremo superior de la planta. Las flores masculinas son reunidas por pares en pequeñas espiguillas que, a su vez, se disponen en largas espigas, las cuales, en número de doce o más se agrupan formando un racimo. El conjunto constituye una inflorescencia llamada *panícula* o racimo de espigas (Figura 9). Al madurar las anteras salen de las escamas protectoras, y al ser agitadas por el viento, sueltan el polen, el cual es llevado por este medio hacia las flores

femeninas. A todo este proceso se le llama polinización. La cantidad de granos de polen que se produce en la inflorescencia masculina es enorme, lo que hace más probable que algunos lleguen a los estigmas (CEDAF, 1998; citado por Morales, 2012).



**Figura 9.** Flor estaminada (masculina) del maíz.

Las flores pistiladas (femeninas) se encuentran en una inflorescencia con un soporte central denominado olote, cubierto de espatas o brácteas foliares. Sus estigmas sobresalen de las brácteas y alcanzan una longitud de 12 a 20 cm de longitud, formando en conjunto una cabellera característica que sale por el extremo del jilote (Figura 10). Las yemas localizadas en la base de los entrenudos se desarrollan en el tallo, de 1 a 3 mazorcas o elotes (pueden ser más de 3, esto dependerá de la genética de la planta), que contienen los ovarios que a su vez, se convertirán en granos después de la polinización. Después de la polinización y fecundación, cada ovario se transforma en un tipo de fruto denominado *cariópside*, que lleva en su interior una sola semilla (Valladares, 2010).



**Figura 10.** Flor pistilada (femenina) del maíz.

### 1.2.5. Polinización, gametogénesis y fecundación del maíz.

La polinización es el proceso por el cual el polen que se encuentra en las espigas es transportado desde las anteras hasta los estigmas de la flor femenina. El proceso se inicia con la apertura de las anteras, para dejar libres los granos de polen. La polinización de las plantas de maíz se realiza con ayuda del viento, que transporta el polen de una planta a otra (polinización cruzada). El polen de la panícula masculina, arrastrado por el viento (polinización anemófila), cae sobre los estigmas del jilote, donde avanza hasta llegar al ovario; el largo tubo polínico necesita 24 horas para recorrer todo el estigma y alcanzar el óvulo para fecundarlo, cada ovario fecundado crece hasta transformarse en un grano de maíz (Sánchez, 2008). El clima cálido y húmedo no afecta negativamente ni la polinización ni la fecundación; sin embargo, el tiempo cálido y seco afecta adversamente a los estigmas los cuales se secan fácilmente dañando el crecimiento del tubo polínico y la fertilización (Cheng *et al.*, 1994; citado por Morales, 2012).

En la reproducción sexual del maíz intervienen dos células sexuales (gametos), las cuales son aportadas por dos progenitores, al proceso de formación de los gametos se le conoce como gametogénesis. La formación de gametos masculino se forma a partir del grano de polen. Para ello, el grano de polen se divide por mitosis y da como resultado dos células desiguales; una mayor, la célula vegetativa; y la otra célula menor, la célula generativa. El gametofito son por tanto dos células. Posteriormente la célula generativa da lugar a los núcleos espermáticos, que hacen la función de gametos masculinos; a todo este proceso se le conoce con el nombre de microsporogénesis. El gametofito femenino se forma a partir del saco embrionario, donde el núcleo haploide se divide por tres mitosis sucesivas y da como resultado ocho núcleos haploides. De estos, tres van hacia el polo inferior y dos de ellas se les llama sinérgicas, mismas que se posicionan a los extremos de la oosfera o huevo (tercera célula) que es parte del gameto femenino. Otras tres células posicionadas en la parte superior (llamadas antípodas), y dos núcleos restantes se sitúan en el centro, los cuales se fusionan para constituir el llamado núcleo secundario diploide del saco embrionario. Este proceso recibe el nombre megasporogénesis (Figura 11).

El proceso de la fusión de los dos núcleos generativos producidos en la microsporogénesis con los dos núcleos centrales y la oosfera o huevo de la macrosporogénesis dan como origen a la doble fecundación (Figura 12) que comprende, la primera fusión de uno de los núcleos generativos de la microsporogénesis con la célula oosfera o huevo dando como resultado la primera fecundación que da origen al embrión ( $2n$ ) que será la nueva planta. La segunda fecundación se presenta cuando se fusiona el segundo núcleo generativo de la microsporogénesis con las dos células centrales producidas en la macrosporogénesis dando como origen al endospermo ( $3n$ ), que servirá para que la planta de maíz se alimente durante la primera semana hasta que aparezcan sus primeras hojas verdaderas (Pargas *et al.*, 2014).

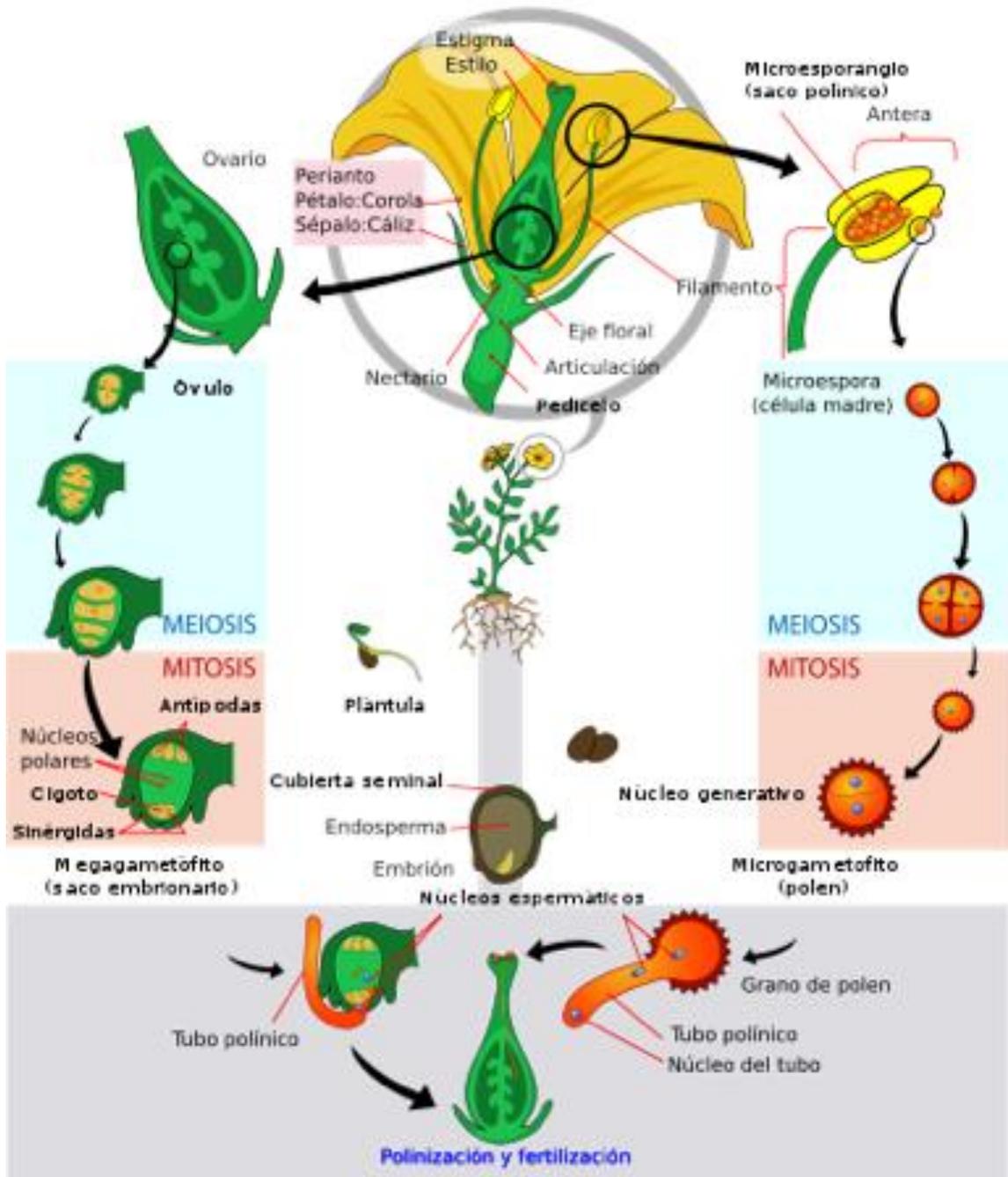
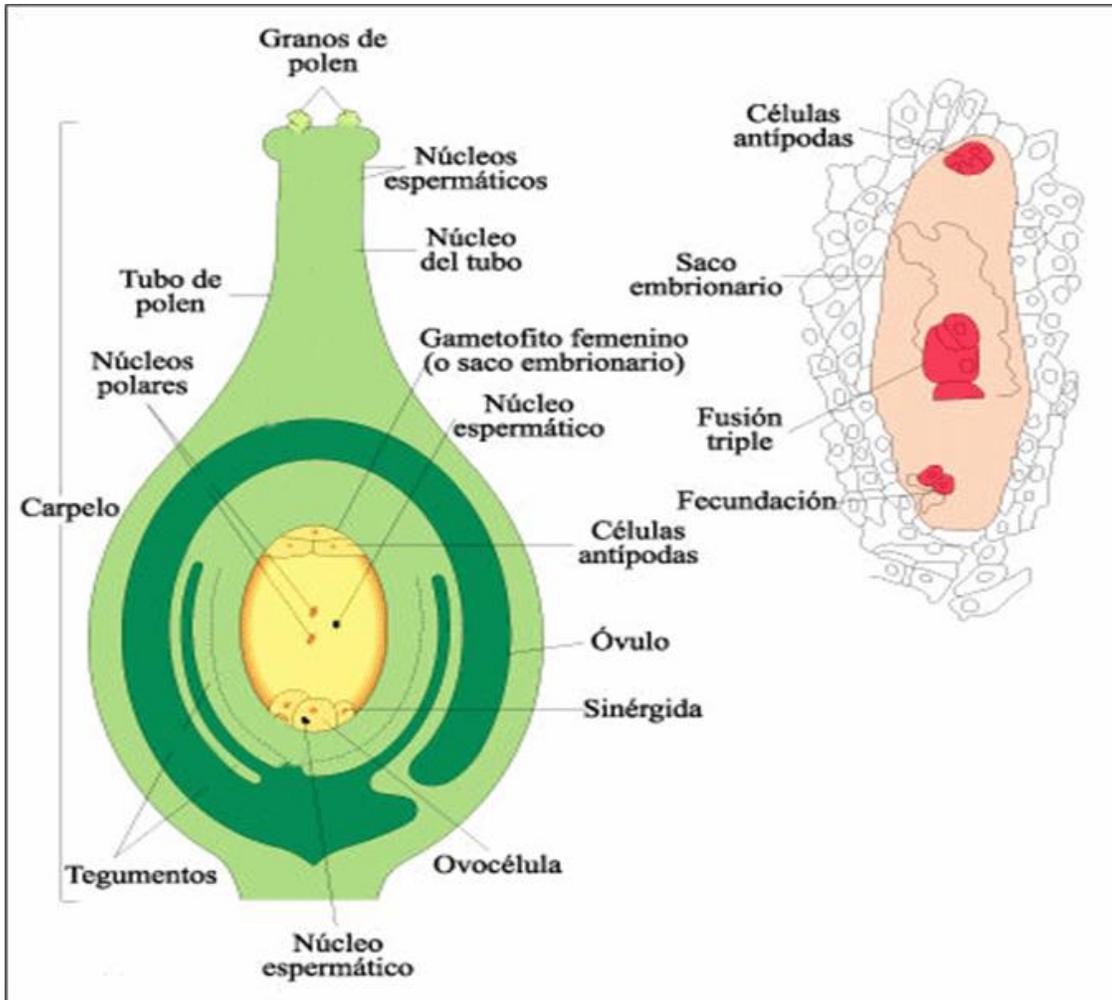


Figura 11. Reproducción sexual de las plantas.



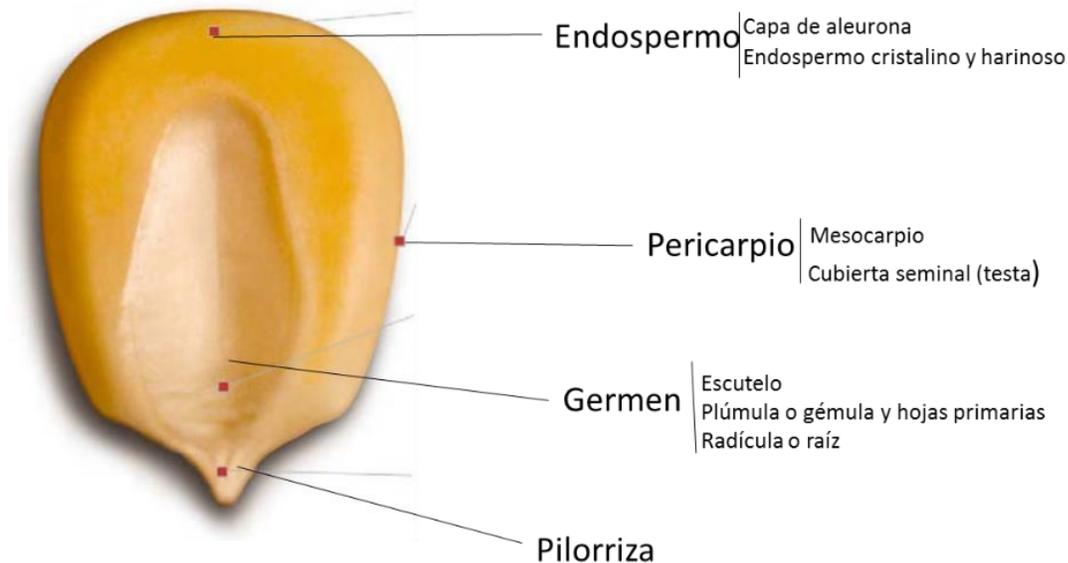
**Figura 12.** Doble fecundación en el maíz.

### 1.2.6. Ciclo de desarrollo del maíz.

Tras la doble fecundación, se produce el desarrollo del cigoto hasta transformarse en el embrión del núcleo endospermático que formará el endospermo o albumen. Este es un tejido nutricional cuyas células acumulan sustancias de reserva, que servirán de alimento al embrión (nueva planta). El resultado final es la semilla, por tanto, el óvulo o rudimento seminal transformado y maduro después de la fecundación de la oosfera y de los núcleos polares.

El grano o fruto del maíz es una cariósida; esto significa que 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 consiste en tres partes principales: la pared, el embrión diploide (2n) y el endospermo triploide (3n). La parte más externa del endospermo en contacto con la pared del fruto es la capa aleurona (Figura 13). La estructura del endospermo del maíz es muy variable aportando al grano distintas apariencias. Es un fruto seco que no se cae de su soporte y proviene de un ovario compuesto (Esau 1977; Ritchie *et al.*, 1992; Hanway *et al.*, 1987; citado por Morales, 2012).



**Figura 13.** Partes de un grano de maíz.

La duración total del ciclo del cultivo desde que se siembra hasta que se cosecha es de aproximadamente 180 días refiriéndose a los híbridos, para el caso particular de razas de maíces nativos y/o criollos podemos encontrar razas de ciclo corto (breves) y de ciclo largo (tardías). En general, no todas las plantas en el campo llegan a una etapa en particular, al mismo tiempo por lo que los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa específica cuando al menos el 50 % de las plantas presentan las características correspondientes (Ritchie *et al.*, 1992; citado por Morales, 2012). El

desarrollo del cultivo consiste en una sucesión obligatoria de etapas o fases dadas en un orden riguroso e irreversible, correspondiendo a la iniciación de órganos nuevos. Llamamos ciclo de desarrollo al conjunto de fases que van desde la germinación de la semilla hasta la floración y formación del fruto. Este ciclo comprende dos etapas bien definidas: desarrollo vegetativo y desarrollo reproductivo (Fassio *et al.*, 1998).

En la etapa de desarrollo vegetativo se presenta el desarrollo de hojas y los órganos de reproducción finalizando con la emisión de los estigmas. Las subdivisiones del estadio vegetativo (V) son designadas como V1, hasta V(n), siendo (n) la última hoja antes de la emisión de las flores masculinas (VT) para el cultivar considerado (Cuadro 4 y Figura 14 A). El número de hojas varía de acuerdo al cultivar y el efecto ambiental (Ritchie *et al.*, 1986; citado por Fassio *et al.*, 1998).

La fase de desarrollo reproductivo ocurre inmediatamente después a la polinización de los estigmas, donde el óvulo receptible fué fecundado por el polen para dar origen al grano (Tanaka *et al.* 1972; citado por Morales, 2012). En esta fase se presentan las etapas: (R1) sedas en el jilote, (R2) ampollamiento, (R3) grano lechoso, (R4) grano masoso, (R5) llenado del grano y (R6) madurez fisiológica (Cuadro 5, Figura 12 B).

**Cuadro 4.** Etapas vegetativas del maíz

Etapa	Características
VE	Emerge la radícula, y el coleóptilo con la plúmula encerrada (planta embrionaria), se presentan de 3 a 4 raíces seminales.
V1	Disminución del crecimiento de radícula y raíces seminales laterales, presentándose la elongación de raíces nodales convirtiéndose en el principal proveedor de agua y nutrimentos. Aparición de la primera hoja verdadera.
V2	Segunda hoja.
V3	Continúa el crecimiento de las raíces nodales y se reduce el sistema radicular seminal. Todas las hojas y primordios de

mazorca que se producirán eventualmente se han iniciado en esta etapa.

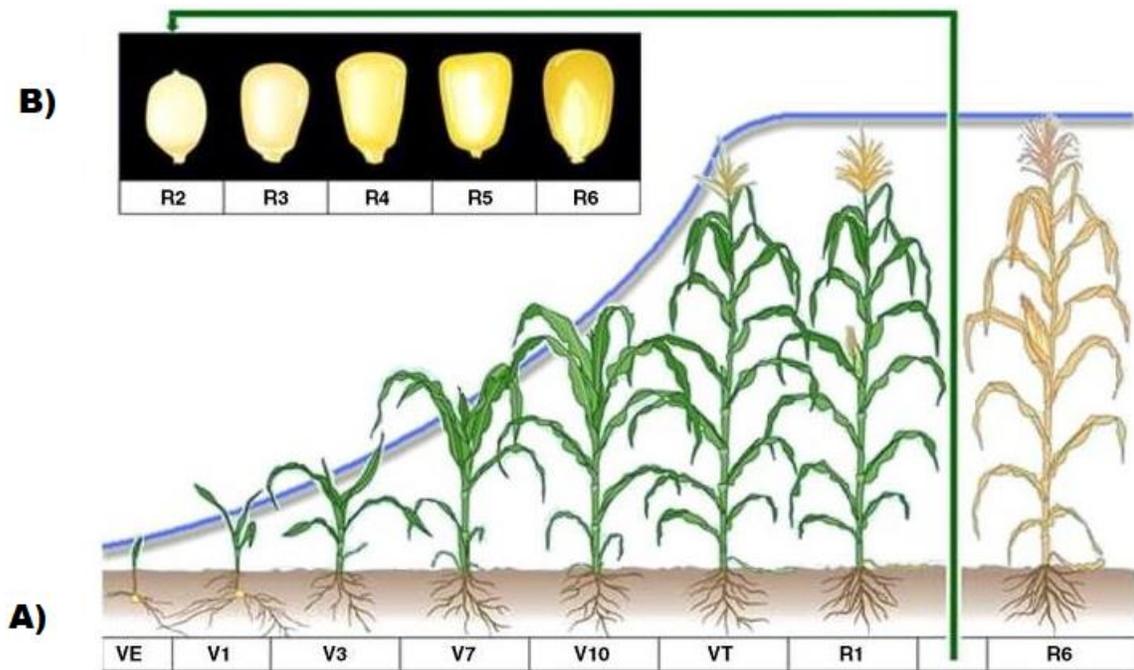
- V5 Inicia una inflorescencia microscópica en la punta del ápice del tallo. Quinta hoja.
- V6 Inicia la elongación del tallo. Formación de brotes (chupones o mamones) en los nudos originados debajo de la superficie del suelo. Sexta hoja.
- V8 Se presenta la pérdida de las primeras dos hojas. Octava hoja.
- V9 Visibilidad del o los jilotes dependiendo de cuantos se desarrollen en la planta. La inflorescencia se desarrolla rápidamente y el tallo se alarga con rapidez, esto se da por el alargamiento de sus entrenudos.
- V12 Se da la determinación de óvulos (granos) finales en cada mazorca eso dependerá de cuantos estigmas sean receptivos.
- V15 Inicio del periodo donde se dará la determinación del rendimiento de grano. Se presenta una etapa foliar cada 1 a 2 días. Se presentan en promedio 14 hojas. Transcurrieron 56 días después de la emergencia.
- V17 Se completa la determinación del número de granos por hilera.
- V18 Se presenta el crecimiento de las raíces de anclaje (raíces nodales o adventicias) desde los nudos arriba de la superficie del suelo ayudando a soportar a la planta en el suelo para evitar su acame y estas raíces obtienen agua y nutrimentos durante las etapas reproductivas. En esta etapa no debe presentarse ninguna deficiencia porque se retrasaría el desarrollo de las flores femeninas provocando una desincronización entre el inicio de la caída del polen y la emergencia de las barbas del jolote presentándose problemas de fertilidad.
- VT (Espigamiento) La planta alcanza su altitud final. Inicio de la liberación de polen.
-

### **Cuadro 5.** Etapas reproductivas del maíz

---

Etapa	Características
R1	Sedas en el jilote. Algunos estigmas de los jilotes son visibles fuera de las brácteas. Se da el proceso de la polinización. Los estigmas crecen de 2.5 a 3.8 cm aproximadamente cada día y continúa su elongación hasta que son fertilizados. Los granos presentes en esta etapa tienen muy poco líquido con color claro. Los Pedúnculo y brácteas que cubren a la mazorca alcanzan su tamaño completo en R1 y R2.
R2	Ampollamiento del grano. Esta etapa se encuentra de 10 a 14 días después del jiloteo. Los granos en R2 son blancos por fuera. El endospermo y su ahora abundante fluido interno es de color claro y el embrión tiene visibilidad. Inician a secarse los estigmas que ya fueron polinizados. Se da el llenado de grano e inician la acumulación de materia seca.
R3	Grano lechoso. Esta etapa se presenta de 18 a 22 días después del jiloteo. El grano presenta color amarillo en su exterior o dependiendo del color que presente su genética. El líquido en su interior es lechoso blanco por la acumulación de almidón y los estigmas presentan coloración café.
R4	Grano masoso. Esta etapa se presenta de 24 a 28 días después del jiloteo. El líquido interno del grano es más espeso con consistencia pastosa, se reduce el contenido líquido para pasar a sólido produciendo una consistencia masosa.
R5	Estado dentado. Etapa presente de 35 a 42 días después del jiloteo. La mayor cantidad de granos están dentados e inician a secarse empezando por la punta.
R6	Madurez fisiológica. Etapa presente de 55 a 65 días después del jiloteo. Todos los granos alcanzan su máximo peso seco. La capa dura de almidón avanza completamente hasta el olote y una capa negra o café se ha formado. La planta se torna color café por la pérdida de humedad.

---



**Figura 14.** Fases vegetativas (A) y reproductivas (B) del maíz.

### 1.2.7. Cultivo del maíz.

El cultivo de maíz se adaptó al cultivo en una amplia variedad de regiones climáticas (tropicales, subtropicales y templadas), como consecuencia, el ciclo vegetativo puede variar entre 100 y 180 días en promedio dependiendo de la variedad y del lugar de cultivo. El maíz tiene un comportamiento C4 en relación con su sistema fotosintético y su fotoperiodo es de día corto (<10 hrs), aunque muchos cultivares se pueden comportar indiferentes a la duración del día. De la misma forma, el maíz se puede producir en altitudes que van de 0 a 3300 msnm (Morales, 2012).

El cultivo de maíz se puede desarrollar adecuadamente en regiones con nubosidad alta, aunque requiere de alta insolación para obtener máximos rendimientos. La intensidad óptima de luz en para el cultivo está entre 32.3 y 86.1 lux. La temperatura óptima para la germinación se sitúa entre 18 y 21 °C, valores de 13 °C o menos reducen significativamente la tasa de germinación (Ruiz *et al.*, 1999).

Según Ruiz y colaboradores (1999) tanto la fotosíntesis como el desarrollo de maíz son muy lentos a 10 °C y alcanzan su valor máximo de 30 a 33 °C, a este rango de temperaturas se le conoce como temperaturas óptimas de desarrollo del maíz. No es recomendable sembrar maíz donde la temperatura media es menor a 19 °C o donde la temperatura media nocturna durante los meses de verano cae por debajo de los 13 °C; se debe de permanecer un periodo libre de heladas de 120 a 180 días. La temperatura media óptima de desarrollo del cultivo se encuentra entre 18 y 24 °C y la máxima entre 32 y 35 °C. El maíz es esencialmente una especie de clima cálido y semicálido, si se combinan temperaturas mayores de 38 °C, más estrés hídrico durante la formación de mazorca y espigas no habrá formación de grano. Por otro lado, temperaturas inferiores a 15.6 °C retrasan significativamente la floración y la madurez (Ruiz *et al.*, 1999). La temperatura es el elemento principal que influye sobre el desarrollo del maíz, de hecho, es común que los cultivares se clasifiquen de acuerdo al proceso de madurez como materiales tempranos, precoces, tardíos de ciclo largo o corto.

El promedio de agua por ciclo de siembra es de 650 mm a pesar de que se suele producir en regiones donde la precipitación anual va de 700 a 1100 mm. Es necesario que cuente con un promedio de 6-8 mm/día desde la iniciación de la mazorca hasta el grano en estado masoso. En las etapas de germinación, primeras tres semanas de desarrollo, el espigamiento, la formación de la mazorca y el llenado de grano no se permite el estrés hídrico en el cultivo. Otro periodo crítico por el requerimiento hídrico es el que abarca 30 días antes de la polinización, ahí la demanda hídrica crece de 100 a 125 mm. Con menos de esta humedad y con altas temperaturas se puede presentar una asincronía floral y pérdida parcial o total de la viabilidad del polen. La deficiencia de humedad provoca reducción en el rendimiento de grano en función de la etapa de desarrollo que se presente y como consecuencia una baja producción (Ruiz *et al.*, 1999).

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos, antes de cualquier actividad es importante realizar un análisis de suelos con el objetivo de conocer y analizar las condiciones físicas, químicas y biológicas donde se realizará el cultivo (Torín, 2007) y así diseñar un programa de fertilización adecuado. En general, los suelos (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua (Deras, 2014) son los más adecuados para el cultivo. El rango óptimo de pH va de 5.0 a

8.0, siendo el óptimo de 6.0 a 7.0 (Ruiz *et al.*, 1999). Cuando el pH es inferior a 5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8 tiende a presentarse carencia de hierro, manganeso y zinc. Se requiere de un suelo con buen drenaje, ya que no tolera encharcamientos, suelos inundados por más de 36 horas suelen dañar a las plantas y su rendimiento final (Ruiz *et al.*, 1999).

La preparación del terreno se realiza con el objetivo de remover la tierra y prepararla para la siembra, este proceso también forma parte del manejo integrado de plagas y enfermedades (Figura 15). Con una buena preparación se logra la destrucción de las malezas que normalmente son hospederas de plagas y enfermedades y se destruyen (o exponen al sol y depredadores) insectos plaga o sus larvas (Torín, 2007). El rastreo se debe efectuar cuando el suelo haya recibido suficiente humedad que permita sellar la superficie del terreno. En siembras de riego se necesita mantener el suelo nivelado (Bonilla, 2009). En algunas zonas de temporal para la preparación del terreno se usa el arado jalado con animales.



**Figura 15.** Preparación del terreno para la siembra de maíz.

En el manejo agronómico se incluyen todas las etapas de la producción del cultivo: la siembra, la distancia de planta y de surco, la nutrición implementada, el control de malezas, plagas y enfermedades, la cantidad de lámina de riego y la cosecha.

Los dos tipos de siembra que se realizan pueden ser: manual y mecánica. La primera se realiza depositando el grano dentro del surco a una profundidad de 10 a 20 cm aproximadamente tapando el grano con la tierra para su germinación, para ello se

puede utilizar un sistema de siembra donde se usa el arado jalado con animales (Figura 16 A). Este sistema se utiliza principalmente para las siembras de temporal, donde los suelos son irregulares y con pendientes pronunciadas. Un ejemplo en Sinaloa de este tipo de siembra es conocido como “siembra de piquete”, en el cual la semilla se deposita en el suelo cavado con un aditamento con una punta de hierro llamado chuzo (Figura 16 B). Por último, la siembra mecánica se realiza con maquinaria agrícola (tractor), la maquinaria se encarga de realizar los surcos, trae consigo tolvas que contienen granos y abonos (Figura 16 C), tiene integrado un mecanismo que se encarga de tapar el grano (Bonilla, 2009; citado por Morales, 2012). Para Sinaloa, en suelos de barrial, la siembra puede realizarse en seco o en húmedo, en el lomo del surco; mientras que en suelos de aluvión debe sembrarse en surcos o en plano. En ambos casos la distancia entre surcos que se recomienda es de surcos a 50 cm y surcos de 75 a 80 cm en siembras con una hilera. La densidad de siembra recomendada es de 100 mil plantas por hectárea independientemente del método de siembra que se utilice.



**Figura 16.** Siembra con arado (A), siembra a piquete con chuzo (B) y mecánica (C).

Uno de los factores más importantes para la obtención de buenos rendimientos en maíz es la fecha de siembra (Borbón *et al.*,2011). Para Sinaloa, existen dos épocas de siembra, la primera es la realizada bajo condiciones de riego; en el área norte se sugiere sembrar del 15 de octubre al 15 de diciembre, mientras que para el centro del estado se recomienda del 15 de noviembre al 31 de diciembre. La segunda se realiza bajo condiciones de temporal que se establece una vez iniciada la temporada de lluvias por

lo general de junio hasta agosto (Borbón *et al.*, 2011). La fecha de siembra es un factor determinante en el rendimiento de grano ya que las temperaturas influyen en el desarrollo del cultivo. Si la siembra es demasiado temprano las plantas sufrirán temperaturas bajas propias del invierno durante las primeras etapas de su desarrollo, ocasionando el retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta. Si la siembra es muy tardía las plantas estarán expuestas a altas temperaturas diurnas y nocturnas en la etapa de llenado de grano aumentando como consecuencia sus tasas respiratorias y reduciendo el rendimiento de grano (Ojeda *et al.*, 2006; citado por Borbón *et al.*, 2011).

La fertilización es una práctica que consiste en aportar desde una fuente externa al suelo los elementos nutricionales necesarios para que las plantas tengan un óptimo desarrollo. Los fertilizantes comúnmente empleados son nitrógeno, fósforo y potasio. Las dosis y la frecuencia de aplicación depende de las etapas fenológicas de la planta, del tipo de suelo, del sistema de humedad que se maneje, de la composición de nutrientes disponibles y faltantes en el suelo y de la disponibilidad de recursos económicos del productor. Esta es una de las razones principales para realizar un análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo.

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales que más limitan el rendimiento del maíz. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reducen la captación de la radiación fotosintéticamente activa. Las deficiencias de este elemento se aprecian por amarillamiento (clorosis) de las hojas más viejas, en las etapas de activo crecimiento y asincronía floral entre la liberación de polen y la aparición de los estigmas (Otegui, 1992). Borbón en 2011 dice que el maíz requiere alrededor de 20 a 25 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno por cada tonelada de grano producida. Por ello, para producir 10 t ha<sup>-1</sup> de grano, el cultivo debería disponer alrededor de 200 a 250 kg de N /ha absorbidos por el cultivo. (Uhart, 1995). Mientras que la revista mensual del campo "Panorama Agropecuario" en una entrevista realizada por Carlos Reyes el 28 de diciembre del 2015 al productor de maíz Jesús Lozoya de Guanajuato, demuestra que se puede producir hasta 20 toneladas por ha<sup>-1</sup> con una mezcla de fertilizantes a porción de 200 kilos de fosfato diamónico (DAP), 100 kilos de cloruro de potasio, 100 kilos de

solub 45 (nitrógeno de lenta liberación), 100 kilos de sulfato de amonio, 25 kilos de ácidos húmicos y fúlvicos, 25 kilos de sulfato de zinc, 25 kilos de sulfato ferroso, 25 kilos de magnesio y 10 kilos de boro. El maíz comienza su mayor consumo de nitrógeno a partir de seis a ocho hojas completamente expandidas, por lo que antes de comenzada esta etapa fenológica, el cultivo debería disponer de una oferta de nitrógeno adecuada para satisfacer su demanda para el crecimiento. Se recomiendan las aplicaciones fraccionadas, donde se garantice una gran parte de la necesidad total de nitrógeno en 6 hojas, regulando luego la cantidad de nitrógeno restante previo a la aparición de la espiga (Borbón *et al.*, 2011).

El fósforo es vital para el crecimiento inicial de la planta y su sistema radicular, el nitrógeno influye favorablemente en la absorción de fósforo (Uhart y Andrade, 1995). Las deficiencias de fósforo generan tonalidades morado o púrpuro en hojas y tallos, iniciando la coloración en hojas basales ya que es un elemento móvil dentro de la planta. La merma de este elemento disminuye la translocación de asimilados acumulándose azúcares en hojas y tallos, los que a su vez generan antocianinas, que son los pigmentos que producen las tonalidades señaladas. El fósforo es más disponible para la planta cuando se aplica con nitrógeno, que cuando se aplica solo.

El potasio es absorbido intensamente durante la etapa juvenil de la planta de maíz. En la mayor parte de los suelos las pérdidas de potasio son relativamente pequeñas. A menos que se trate de suelos con texturas muy gruesas, se recomienda la aplicación de fertilizantes potásicos totalmente en la siembra, en forma de bandas enterradas a un lado y por debajo de la semilla.

El riego consiste en aplicar agua suficiente al cultivo cuando este lo demande. Los riegos varían de acuerdo con la época del año, disponibilidad de agua, variedad y región (Doorenbos y Pruitt, 1977). Existen diferentes métodos de riego, pero el más usado es el de riego por gravedad (Figura 17 A); sin embargo, existen otros métodos con más uso de tecnología para mejor distribución del agua y un mayor ahorro de la misma, como lo son el riego por goteo (Figura 17 B) y el de aspersion (Figura 17 C).

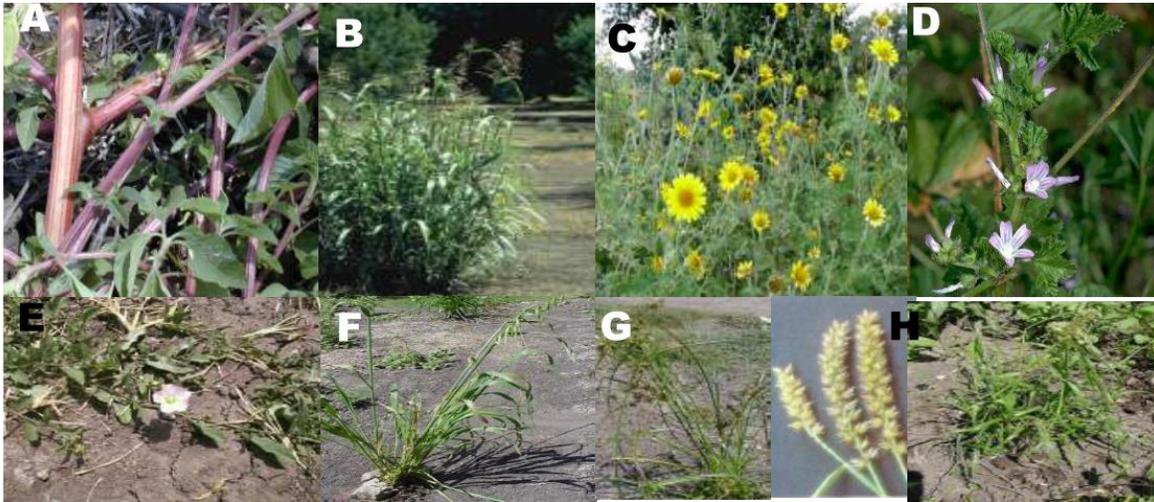


**Figura 17.** Riego rodado o por gravedad (A), goteo (B) y aspersión (C).

Asegurar una humedad adecuada en la zona de raíces durante las etapas críticas es esencial para obtener rendimientos óptimos. Las etapas más críticas del maíz, desde el punto de vista hídrico, son durante la floración y el jiloteo (Shaw y Newman, 1987).

Para el caso particular en Sinaloa se aplica el primer riego llamado riego de germinación que es aplicado inmediatamente después de la siembra (en seco), el primer riego de auxilio se realiza aproximadamente a los 67 días después de la siembra en húmedo (en la etapa de octava hoja verdadera), el segundo riego de auxilio se realiza a los 89 días después de la siembra (en la etapa de hoja bandera), el tercer riego de auxilio se aplica a los 109 días después de la siembra, cuando la planta se encuentra en grano acuoso y el cuarto riego se realiza a los 134 días, dependiendo del material sembrado (SAGARPA a, 2010). En la agricultura de temporal no se manejan los riegos ya toda el agua que requiere el cultivo la obtiene de las lluvias (Flores *et al.*, 2006).

Dentro del manejo agronómico nos encontramos con factores que reducen los rendimientos del maíz por estar en continua competencia; uno de ellos, son las malezas que son referidas como plantas indeseables que crecen junto con las plantas cultivadas (Figura 18). Las malezas interfieren en el desarrollo normal de los cultivos, provocando la disminución en la calidad del producto cosechado, el aumento en los costos de cosecha y la mayor incidencia de plagas y enfermedades (Stoller *et al.*, 1987). Las pérdidas de rendimiento son ocasionadas principalmente por la competencia entre maleza y cultivo por luz, agua y nutrientes (Chandler *et al.*, 1984; Trenbath, 1976; citado por Morales, 2012).



**Figura 18.** Principales malezas que afectan la producción del maíz. *Amaranthus hybridus* (A), *Sorghum halepense* (B), *Helianthus annuus* (C), *Malva parviflora* (D), *Convolvulus arvensis* (E), *Avena fatua* (F), *Cyperus sp* (G) y *Cenchrus incertus* (H).

De acuerdo con Deras (2014), el desarrollo del cultivo de maíz en los primeros 30 días es crítico, por lo que se debe asegurar que crezca libre de la competencia de malezas, puesto que llegan a reducir el rendimiento de la producción de grano del 10 al 84 % cuando el control no se realiza a tiempo. En el Cuadro 6 se presentan las principales malezas que afectan al maíz en México.

Una plaga en la agricultura se define como todo ser vivo que tiene un efecto negativo sobre la producción agrícola de un cultivo. Desde el momento de la siembra, el maíz está expuesto a los ataques de numerosas plagas y entre los factores principales que favorecen o dificultan la aparición de plagas y enfermedades encontramos: condiciones de clima, labores preparatorias del terreno, rotación de cultivos y el control de malas hierbas, entre otros (Deras, 2014).

**Cuadro 6.** Principales malezas que afectan el cultivo de maíz en México (Deras, 2014).

<b>Tipo de maleza</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Hoja ancha	<i>Amaranthus hybridus</i>	Quelite- bledo
Hoja angosta (gramínea)	<i>Sorghum halepense</i>	Zacate Johnson
Hoja ancha	<i>Helianthus annuus</i>	Girasol
Hoja ancha	<i>Malva parviflora</i>	Malva
Hoja ancha	<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela
Hoja angosta (Gramínea)	<i>Avena fatua</i>	Avena silvestre
Ciperáceas	<i>Cyperus sp</i>	Coquillo
Hoja ancha	<i>Cenchrus incertus</i>	Cadillo

Los gusanos de alambre son larvas de un grupo de escarabajos comúnmente llamados mayates saltadores o mayates tronadores. Las larvas de gusanos de alambre son alargados, cilíndricos y duros (cutícula esclerosada brillante), como alambres o resortes y de color amarillo hasta café rojizo (Figura 19). Estos pueden variar en tamaño desde 1.0 a 3.5 cm de longitud cuando se desarrollan completamente (Molina, 2000). El gusano de alambre tiene un ciclo de vida prolongado de aproximadamente 6 años. El mayor daño se presenta en las semillas en germinación y plántulas durante las primaveras frías y húmedas, las larvas se alimentan y barrenan la semilla provocando fallas en la germinación y crecimiento de raíces (CESAVEG, 2008). Como estrategias de manejo se recomienda realizar un laboreo de la tierra en los meses de verano por ser una plaga sensible a las altas temperaturas y al ambiente seco, con esta práctica se logrará un porcentaje de mortandad de larvas. Otra estrategia puede ser la utilización de feromonas para captura de adultos, con esta práctica se puede reducir las poblaciones de gusano de alambre año con año. Como última opción se puede aplicar el control químico con insecticida Clorpirifos 5 % a dosis de 40-50 kg/ha<sup>-1</sup>.



**Figura 19.** Larva y adulto del gusano de alambre (*Elatér spp.*)

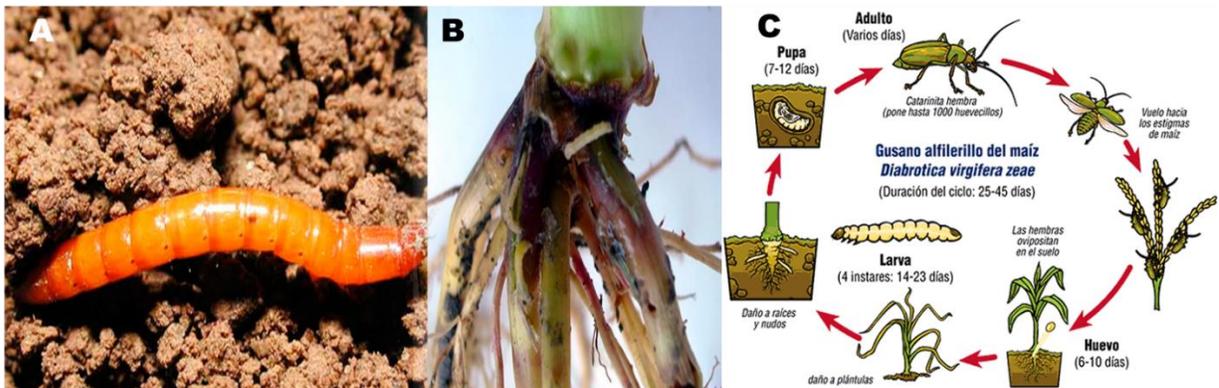
La larva de gallina ciega *Phyllophaga spp* es conocida como gusano blanco o yupo, mientras que los adultos son conocidos como mayates de junio. La larva es de hábitos subterráneos y se alimenta de las raíces (Figura 20 A). El adulto consume follaje de arbustos, pero el daño más importante lo causan las larvas (Bonilla, 2009). El adulto es un escarabajo robusto de color café claro a oscuro de 1.5 a 2.0 cm de longitud (Figura 20 B) que emerge del suelo tres días después de que se establece el temporal de lluvias. La larva es de color blanco lechoso con la cabeza café y de cuerpo encorvado en forma de “C” (CESAVEG, 2008). Los daños causados por las larvas al maíz son el retraso del crecimiento y muestran un amarillamiento, seguido de marchitez, debido a la destrucción del sistema radicular. Cuando el daño es severo en plantas chicas, estas pueden morir. Las plantas desarrolladas cuando son atacadas se acaman (Figura 20 C), debido a que tienen un desarrollo radicular deficiente. El daño es generalmente en manchones, antes que sea uniforme a través del campo. Áreas pequeñas pueden ser destrozadas por completo en tanto que otras no son afectadas (Molina, 2000).

La larva de gusano alfilerillo (*Diabrotica spp.*) es de color blanco cremosa, alargada y de cabeza color café (Figura 21 A). El adulto mide de 4 a 6 mm de longitud con coloración verde con amarillo (Bonilla, 2009). El daño principal lo realiza la larva al alimentarse de las raíces (Figura 21 B) por lo que la planta se marchita y puede provocar la muerte. Los síntomas de las plantas afectadas son apariencia de falta de agua, aun cuando el suelo tenga la humedad adecuada, disminución de la capacidad de soporte de la planta, lo que ocasiona que el tallo se desarrolle de manera deforme formándose lo que se conoce como “cuello de ganso”. El ciclo de vida de este insecto dura alrededor

de 45 días aproximadamente (Figura 21 C) por lo que el daño que causa es muy severo (CESAVEG, 2008).



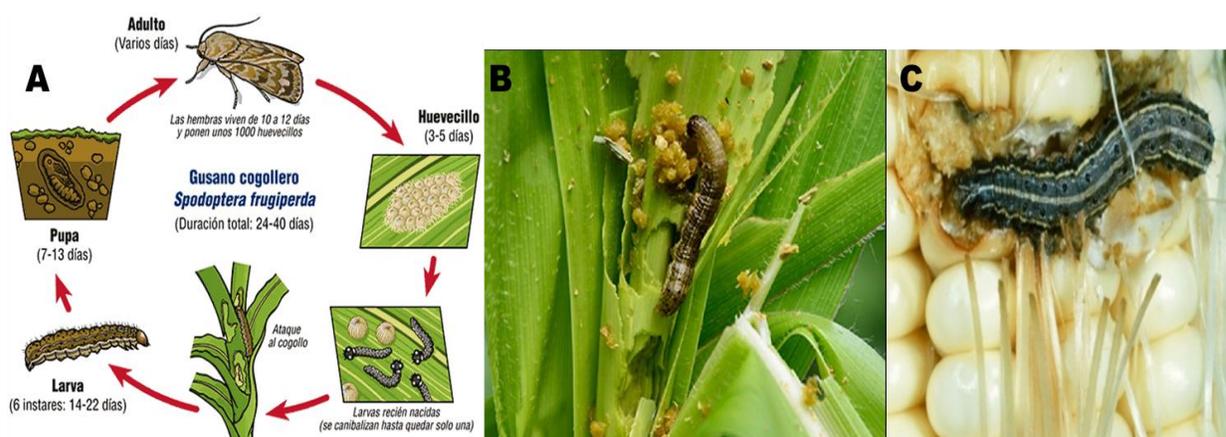
**Figura 20.** Larva de gallina ciega (A), adulto (B) y daños provocados al maíz (C).



**Figura 21.** Larva del gusano alfilerillo (A), daño a la raíz (B) y ciclo de vida (C).

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es la plaga de mayor importancia económica para el cultivo del maíz dependiendo de algunos factores como, la edad de la planta, etapa de crecimiento de la plaga y condición del clima es la severidad del ataque. Cuando las condiciones ambientales son de altas temperaturas y ambiente seco, las larvas completamente desarrolladas, que han caído al suelo antes de convertirse en pupas, empiezan a alimentarse de la base de la planta y se comportan como barrenador, perforando el tallo tierno. En períodos de sequía la presencia de este insecto puede ser devastador para el maíz (Deras, 2014). El adulto de gusano cogollero es una palomilla

color café y las larvas recién emergidas son amarillentas, cuando avanzan de instar larval son de color café presentan características para su fácil reconocimiento como lo son las tres bandas longitudinales de color claro en el dorso, cuatro puntos que forman un cuadro en el antepenúltimo segmento abdominal y la sutura epicraneal en forma de “y” invertida. Su ciclo biológico dura aproximadamente 40 días (Figura 22 A). El mayor daño es causado por las larvas que al alimentarse de hojas tiernas y del cogollo (Figura 22 B) puede provocar una defoliación total; otro daño es cuando ataca los estigmas, dando como resultado una mala fecundación y consecuentemente no hay formación de granos. En menor severidad opta por perforar la mazorca tierna (Figura 22 C) por lo que se conoce como gusano elotero (Deras, 2014). Para el control de este insecto-plaga se pueden utilizar alternativas, entre las que se pueden mencionar prácticas culturales como el barbecho; eliminación de malezas para evitar la infestación de larvas; aplicar riegos pesados cuando el cultivo lo requiera. El control con insecticidas se puede realizarse de manera preventiva, mediante el tratamiento de la semilla con thiodicarb 350 SA (3-4 L/100 Kg de semilla), carbofuran 300 TS (3-5 L/100 Kg de semilla) o acefate 80 TS (600-1000 g/100 Kg de semilla). Algunos productos se pueden aplicar en aspersión, como por ejemplo clorpirifos 480 E (1-1.25 L ha<sup>-1</sup>), permetrina 34 CE (300-500 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), lambda cyhalotrina (200-300 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), diflubenzuron (200 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), entre otros (Negrete *et al.* , 2003; citado por Morales, 2012).



**Figura 22.** Ciclo biológico del gusano cogollero (A), daño en el cogollo (B) y daño en el lote o mazorca (C).

Los adultos de trips (*Frankliniella spp.*) son muy pequeños, miden alrededor de 1 mm de largo; de color amarillo pálido a café claro (Figura 23 A). Este insecto se presenta en las primeras etapas vegetativas del maíz provocando daños causados por larvas (ninfas del primer y segundo instar) y adultos que se alimentan de las yemas terminales (cogollo) de las plantas chicas y primeras hojas (Figura 23 B), a las cuales les chupan los jugos que brotan de las heridas que les causan. Durante la alimentación inyectan toxinas en los tejidos, mismas que provocan un amarillamiento y distorsión severa del cogollo, dando como resultado un retraso en el desarrollo de la planta, en infestaciones altas pueden llegar a causarle la muerte (Molina, 2000). Para el control de este insecto se puede optar por la eliminación de plantas hospederas silvestres presentes dentro y fuera de la parcela. Se recomienda la aplicación de insecticidas cuando se encuentren 5 o más trips por hoja en planta chica. Algunos productos que se pueden aplicar son metamidofos 600 (0.75-1.0 L ha<sup>-1</sup>), ometoato LM 84 (0.4-0.5 L ha<sup>-1</sup>), dimetoato 40 (0.75-1.0 L ha<sup>-1</sup>), entre otros insecticidas (Morales, 2012).



**Figura 23.** Adulto de trips (A) y daño en hoja del maíz (B)

El adulto de gusano elotero (*Helicoverpa zea*) es una palomilla de color pajizo, mide 2.5 cm de largo y 3.0 cm de expansión alar, tiene manchas irregulares oscuras en las alas anteriores (Figura 24 A). Las larvas pasan por 6 instares larvarios, alcanzan un tamaño de 4 cm (Bonilla, 2009). Los daños son efectuados por las larvas que se alimentan de las plantas jóvenes del maíz dañando las hojas y se desarrollan sobre las inflorescencias. Estas larvas pueden alimentarse y hacer túneles dentro de las mazorcas (Figura 24 B) sin dañarla completamente. Cuando los pelos del jilote frescos están

disponibles, los huevos son depositados sobre las sedas o pelos del jilote, y las larvas primero se alimentan sobre las hojas o barrenan directamente dentro de la seda (Molina, 2000).

Los adultos de la mosca pinta del maíz (*Euxesta stigmatias*) tienen el cuerpo de color oscuro o verde metálico y ojos de color café rojizo (Figura 24 C). Las larvas son de color blanco a amarillo pálido, miden 5.4 mm de longitud (Bonilla, 2009). Las hembras depositan sus huevos en los estigmas de los elotes del maíz, o en orificios de la misma. El daño se presenta en los elotes afectando los estigmas y esto obstruye el flujo de polen bajando la densidad de grano por elote y por ende el rendimiento. Los últimos instares larvales pueden dañar otros puntos del elote originando una deformación (Figura 24 D), así como la introducción de hongos bajo la capa protectora de las hojas causando que esta se pudra (Molina, 2000). Dentro de las estrategias de manejo de esta plaga, se reporta como depredador de huevecillos a la chinche pirata. Los huevos, larvas y pupas de este insecto se encuentran protegidos dentro de las hojas del elote; por lo tanto la estrategia de control convencional debe ser enfocada al adulto. Algunos productos químicos que se pueden aplicar son cipermetrina, clorpirifos y metamidofos. Las aplicaciones deben realizarse de preferencia muy de mañana o al atardecer, durante las horas más activas de los adultos (CESAVEG, 2008).



**Figura 24.** Adulto (A) y daño de gusano elotero (B) así como adulto (C) y daño por la mosca pinta del maíz (D).

La irregularidad del establecimiento de las lluvias y consecuente retraso en la época de siembra, la introducción de cultivares y el cambio climático entre otros factores, han provocado que las enfermedades tomen importancia económica (Deras, 2014). Entre las enfermedades más importantes que afectan al cultivo del maíz se encuentran:

Roya común (*Puccinia sorghi*), Carbón común o Huitlacoche (*Ustilago maydis*), Virus del rayado fino del maíz (MRFV) y la Pudrición de mazorca por *Stenocarpella* (*Stenocarpella maydis*).

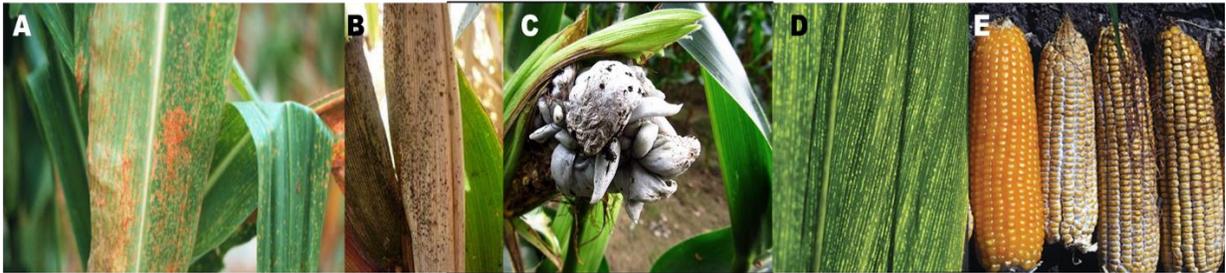
La roya común, se manifiesta principalmente en las hojas de la planta (Figura 25 A), a pesar de que puede afectar el tallo y las brácteas u hojas que cubren la mazorca (Figura 25 B). Se presenta en forma de pústulas circulares o elongadas de color pardo o amarillentas, esparcidas sobre las hojas y cuando esporulan se tornan de color café, rojizas o casi negras; en su fase final emiten un polvillo de color ladrillo o café. El daño generalmente se inicia en las hojas inferiores (Morales, 2012).

Según Varón *et al.* (2006-2007), el carbón común es causado por *Ustilago maydis* y se le conoce comúnmente como Huitlacoche. Es endémico en todas las zonas donde se cultiva maíz. Este hongo ataca principalmente las inflorescencias, desarrollando en los tejidos afectados agallas de tamaño variable y de color verde a grisáceo. El interior de estas agallas es de color oscuro por la presencia de una masa de esporas de color negro, que constituyen la fuente de diseminación del patógeno. Los daños provocados por este patógeno son deformación de la mazorca (Figura 25 C) y si el cultivo tiene una infestación mayor puede producir enanismo o causar la muerte de la planta afectada (Varón *et al.*, 2006-2007; citado por Morales, 2012).

El virus rayado fino del maíz (MRFV) se caracteriza inicialmente por puntos cloróticos ubicados ordenadamente paralelos a la nervadura central y en la base de las hojas jóvenes, inician su aparición 3 o 4 días después de que ocurre la infección. Con el avance de la infección los puntos se unen y originan un rayado muy fino que puede llegar a cubrir toda la lámina foliar (Figura 25 D). En cultivares muy susceptibles hay necrosis de células con ruptura de la lámina foliar, acompañada a veces de marchitamiento, lo cual provoca reducción en el rendimiento. Si la infección ocurre después de floración, los síntomas no son muy evidentes y algunas veces no se manifiestan (Varón *et al.*, 2006-2007). Este virus es transmitido por el insecto Cicadellidae *Dalbulus maidis* (Bonilla, 2009).

La pudrición de mazorca (*Stenocarpella maydis*) se encuentra con más frecuencia en zonas o regiones cálidas y húmedas. Las mazorcas presentan áreas necróticas e

irregulares en las brácteas, las cuales, al desprenderse, muestran las mazorcas disecadas y con moho blanquecino entre los granos (Figura 25 E).



**Figura 25.** Hoja de planta de maíz afectada por roya (A), hoja de mazorca afectada por roya (B), carbón común del maíz o Huitlacoche (C), virus del rayado fino del maíz (D) y pudrición de mazorca por *Stenocarpella* (E).

### 1.2.8. Conservación de los recursos genéticos de maíz

El interés general para los recursos genéticos se basa en las posibilidades que ofrece su utilización. Los recursos genéticos son un 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 mantienen con el tiempo el estado genético inicial de las poblaciones y les confieren la vida más larga posible. En este sistema, las características importantes de la conservación de los recursos genéticos son la estabilidad, disponibilidad y permanencia del recurso y de la diversidad (Berthaud, 1997).

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 maíces nativos, además de ser parte del patrimonio biocultural que México ha dado al mundo y sus habitantes, son el sustento de miles de familias en zonas rurales

principalmente; por lo que, su protección y conservación es de suma importancia (Fernández, 2013).

A pesar de los esfuerzos que, en diferentes épocas, y en parte a que pocas organizaciones, han realizado para la conservación de los recursos genéticos de maíz y las comunidades en las que se encuentran, no se ha podido lograr un mayor impacto en el conjunto del sector agrícola. Este problema se agrava en el caso del maíz, porque en México los recursos destinados a los productores de zonas de temporal son cada vez más escasos e inclusive en algunas zonas es nulo (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).

Se ha desarrollado a partir de 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 (Figura 26) y utilizar la variabilidad genética de las plantas de interés en diferentes programas de mejoramiento (CONABIO, 2008). 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, 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*.



**Figura 26.** Conservación *ex situ* en Banco de Germoplasma Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FAUAS).

La conservación *in situ* es una alternativa complementaria a la conservación *ex situ*, donde se promueve conservar el paisaje, los agroecosistemas y los recursos fitogenéticos en el sitio en que se han desarrollado por los agricultores o campesinos (Figura 27). Sus alcances y beneficios son mayores, ya que no solamente están relacionados con la diversidad genética en sí. Particularmente, la conservación de la agrobiodiversidad contribuye al mantenimiento de los procesos de adaptación y evolución de los cultivos que permiten el desarrollo de germoplasma nuevo; a 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 (Jarvis *et al.*, 2006). Esta conservación es realizada por los productores de maíces nativos que según Cárco (2011) el número de productores de maíz nativo en México son alrededor de 3 millones.



**Figura 27.** Conservación *in situ* de maíces nativos en el municipio de Concordia.

En el proceso de dispersión del maíz, impactado principalmente por el ambiente, por la selección aplicada por grupos antiguos mesoamericanos, se han ido formando las razas definidas, 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 y col, (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 con recursos fitogenéticos, especialmente maíz. Esto se ha denominado mejoramiento participativo.

Son diferentes modelos que utilizan los agricultores para resguardar y conservar la semilla cosechada, para utilizarla en el siguiente ciclo de siembra. Muchas de las formas que se utilizan, han sido una tradición heredada por muchos años y que actualmente la siguen practicando. Algunos modelos usados por los agricultores de la zona de temporal de Sinaloa son, resguardo de la mazorca en troja; el cual consiste en guardar la mazorca sin hojas en un espacio que el productor crea a base de madera (Figura 28 A), tallos secos (cañajotes) de la planta de maíz (Figura 28 B); otras formas son, resguardándolo en contenedores grandes de plástico o aluminio (Figura 28 C), en el que las mazorcas se colocan en el contenedor (bote) con tapadera para evitar la entrada de algún insecto; después de depositar las mazorcas, algunos agricultores optan por colocar una pastilla para controlar las plagas de almacenamiento del grano, por último se aseguran de tapar el contenedor (bote); y uno de los métodos más antiguos,

es formando mancuernas con las mazorcas sin humedad y colocarlas cerca del humo para evitar la entrada de las plagas (Figura 28 D).



**Figura 28.** Conservación del maíz en troja de madera (A), troja de tallos secos (B), contenedor de aluminio (C) y en mancuernas cerca de la hornilla (D).

### 1.2.9. Genética del maíz.

El maíz (*Zea mays*) es una de las especies que han recibido más atención en lo que se refiere a los estudios citogenéticos. Tiene un juego básico de diez cromosomas, es decir  $2n=20$ . 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 de 40. Ciertas razas de maíz poseen uno o más cromosomas adicionales (cromosomas B) por encima del juego básico de diez 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 *et al.*, 2001).

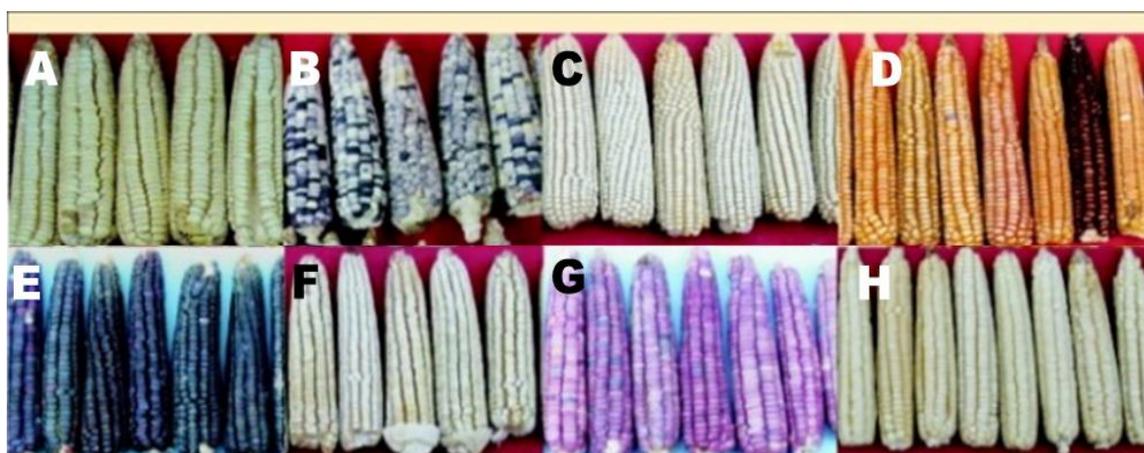
A nivel cromosómico es posible encontrar estructuras más condensadas a lo largo del cromosoma llamadas nudos cromosómicos (knobs en inglés) y son bloques de heterocromatina (Kato, 1976; McClintock, 1978) y pueden estar en 34 posiciones diferentes (Kato, 1976). Por otro lado, Bárbara McClintock, en 1950, 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 Bárbara McClintock revolucionaron el concepto del genoma en el sentido, que hasta entonces era interpretado como un conjunto de instrucciones estático 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).

Muchos trabajos en genética del maíz circulan en las redes científicas especialmente aquellos utilizados para caracterizar molecularmente sus poblaciones. Uno de los primeros conceptos de raza en maíz fue formulado por Anderson y Cutler (1942), quienes la describieron como “un grupo de individuos relacionados, con suficientes características en común como para permitir su reconocimiento como tal”. Posteriormente, Hernández y Alanís (1977) la definieron como “una población con un conjunto sustancial de características en común que la distinguen como grupo y la diferencian de otras poblaciones, con capacidad de transmitir con fidelidad dichas características a las generaciones posteriores y que ocupa un área ecológica específica”. Con respecto a esta definición, Ortega (2003) señala que sería más correcto referirse a una raza como un conjunto de poblaciones en vez de una población. De acuerdo con lo anterior en el presente documento se entenderá por población o maíces nativos al conjunto de individuos que se reproducen en un ambiente local, aunque su origen evolutivo no sea la localidad o región donde actualmente se reproducen. Este grupo de individuos es el resultado de un proceso de selección empírica dirigida por el agricultor para satisfacer sus necesidades de consumo y para enfrentar sus particulares condiciones socioeconómicas y naturales de producción. Las características presentan una amplia variación en su estructura genética, aunque esta variación no es aleatoria, sino que es el producto del proceso de selección natural y artificial que las originó (López, 2011).

La biodiversidad del maíz en México está ligada a la vida y condición de los pueblos indígenas y campesinos. Su clasificación pudiera basarse en una taxonomía

autóctona, basada en la forma y en los diferentes usos, incluso en los rituales. Pero también existe en México una completa clasificación del maíz basada en la convención universal de razas y variedades (Cárcamo, 2011). Los primeros estudios sobre clasificación del maíz datan del siglo pasado, cuando Chávez, 1913 logro describir 58 diferentes tipos de maíz en función de formas, tipos y nombres que se les daban en los lugares de colección. Posteriormente, se inician los trabajos de caracterización a partir del concepto de raza, descrita anteriormente por Anderson y Cutler (1942). A partir de esto, el primer trabajo de clasificación racial de los maíces se realizó en México hace aproximadamente 70 años por Wellhausen, Roberts y Hernández, en colaboración con Manglesdorf, y los resultados de la misma fueron publicados en 1951 en la obra titulada “ Razas de maíz en México; su origen, características y distribución”. Utilizando este documento se realizaron clasificaciones raciales de maíz en Cuba, Colombia, Brasil, Bolivia, Indias Occidentales, Perú, Chile, Ecuador, Argentina, Venezuela, Paraguay, Uruguay, Estados Unidos de América, El Salvador y Guatemala. Con 47 razas de Argentina, 8 de Uruguay, 10 de Paraguay y 16 de Estados Unido de América, 11 de Cuba, 23 de Colombia, 44 de Brasil, 77 de Bolivia e Indias Occidentales, 66 de Perú, 29 de Chile, 31 de Ecuador, 11 de El Salvador, 33 de Guatemala y 59 de México (Figura 27, Cuadro 7).



**Figura 29.** Razas de maíces mexicanos: Ancho (A), Bofo (B), Celaya (C), Tabloncillo (D), Elotero de Sinaloa (E), Tuxpeño (F), Elotes Occidentales (G) y Tabloncillo Perla (H).

Existen en total 484 razas de maíz en el continente Americano, las cuales se originaron a partir de un proceso evolutivo y las selecciones realizadas por los pueblos

indígenas que datan de 10,000 años aproximadamente (Serratos, 2009). La caracterización de las razas arriba descritas se realiza tomando como base las características agro-morfológicas de las poblaciones de maíz; sin embargo, existen otros tipos de caracterización.

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. Una ventaja es que los rasgos morfológicos se pueden registrar independientemente del mecanismo de herencia que estos tengan (Bretting y Widrechner, 1995) como los utilizados para caracterizar las poblaciones mexicanas, América Central y 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; Paterniani y Goodman, 1977).

**Cuadro 7.** Razas de maíz en el continente americano catalogadas por país (Serratos, 2009)

País	Razas catalogadas
<b>Argentina (47)</b>	Amarillo Ocho Hileras, Amarillo de Ocho, Altiplano, Amargo, Avatí Morotí, Avatí Morotí Mita, Avatí Morotí Ti, Avatí Pichingá, Azul, Blanco Ocho Hileras, Calchaqui, Camelia, Canario de Formosa, Capia Blanco, Capia Garrapata, Capia Rosado, Capia Variegado, Catete Oscuro, Chaucha Amarillo, Chaucha Blanco, Chulpi, Colita Blanco, Complejo Tropical, Cravo, Cristalino Amarillo, Cristalino Amarillo Anaranjado, Cristalino Blanco, Cristalino Colorado, Cristalino Naranja, Cristalino Rojo, Culli, Cuzco, Dentado Blanco Rugoso, Dentado Amarillo, Dentado Blanco, Dentado Amarillo Marlo

---

Fino, Dentado Blanco Marlo Fino, Dulce, Marrón, Morochito, Negro, Pericarpio Rojo, Perla, Perlita, Pisingallo, Socorro, Tuzón, Venezolano.

**Bolivia (77)** Achuchema, Amarillo Subtropical, Altiplano, Aperlado, Argentino, Ayzuma, Bayo, Blanco Mojo, Blanco Yungueño, Blando Amazónico, Blando Blanco, Blando Cruceño, Camba, Canario, Cateto, Chake Sara, Checchi, Cholito, Chuncula, Chuspillu, Concebideño, Colorado, Cordillera, Confite Puneño, Coroico, Coroico Amarillo, Coroico Blanco, Cubano Amarillo, Cubano Blanco, Cubano Dentado, Cuzco Boliviano, Cuzco Huilcaparú, Duro Amazónico, Duro Beniano, Enano, Harinoso de Ocho Hileras, Huaca Songo, Hualtaco, Huilcaparu, Jampe Tongo, Janka Sara, Kajbia, Karapampa, Kcello, Kellu, Kellu Huilcaparu, Kepi Siqui, Kulli, Morado, Morochillo, Morocho, Morocho Chaqueño, Morocho Chico, Morocho Grande, Morocho Ocho Hileras, Morocho Catorce Hileras, Niñuelo, Oke, Parú, Pasankalla, Patillo, Patillo Grande, Perla, Perla Amarillo, Perla Primitivo de los Llanos, Perola, Pisankalla, Pojoso Chico, Pororo, Pura, Purito, Reventón, Tuimuru, Uchuquilla, Yungueño.

**Brasil (44)** Caiano, Caingang, Canario de Ocho, Caribe Precoz, Cateto, Cateto Sulino, Cateto Sulino Precoce, Cateto Sulino Escuro, Cateto Sulino Grosso, Cateto Assis Brasil, Cateto Grande, Cateto Nordista Precoce, Chavantes, Cravo, Criollo de Cuba, Cristal Semidentado, Cristal Sulino, Cravo Riograndense, Cravo Paulista, Dente Amarelo, Dente Riograndense, Dente Riograndense Rugoso, Dente Riograndense Liso, Dente Paulista, Dente Branco, Dente Branco Riograndense, Dente Branco Paulista, Dente Colorado, Entrelazado, Guaraní Popcorns, Hickory King, Indígena, Lenha, Morotí Precoce, Morotí Guapí, Perola, Pinha, Pipoca, Saint Croix, Semidentado Riograndense, Semidentado Paulista, Semidente Amarelo, Semidente Azul, Tusón.

- Colombia (23)** Amagaceño, Andaquí, Cabuya, Cacao, Capiro, Cariaco, Chococeño, Clavo, Común, Costeño, Güirua, Imbricado, Maíz Dulce, Maíz Harinoso Dentado, Montaña, Negrito, Pira, Pira Naranja, Pollo, Puya, Puya Grande, Sabanero, Yucatán
- Cuba (11)** Cubano Amarillo, Chandelle, Coastal Tropical Cristalino, Cuban Flint, Maíz Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, White Pop, Yellow Pop, White Dent.
- Chile (29)** Amarillo Malleco, Amarillo Ñuble, Araucano, Capiro Chico Chileno, Capiro Grande Chileno, Capiro Negro Chileno, Camelia, Choclero, Chulpi, Chutucuno Chico, Chutucuno Grande, Cristalino Chileno, Cristalino Norteño, Curagua, Curagua Grande, Dentado Comercial, Diente Caballo, Dulce, Harinoso Tarapaqueño, Limeño, Maíz de Rulo, Marcame, Morocho Blanco, Morocho Amarillo, Negrito Chileno, Ocho Corridas, Pisankalla, Polulo, Semanero.
- Ecuador (31)** Canguil, Sabanero Ecuatoriano, Cuzco Ecuatoriano, Mishca, Patillo Ecuatoriano, Racimo de Uva, Kcello Ecuatoriano, Chillo, Chulpi Ecuatoriano, Morochón, Huandango, Montaña Ecuatoriano, Blanco Harinoso Dentado, Cónico Dentado, Uchima, Clavito, Pojoso Chico Ecuatoriano, Tusilla, Gallina, Candela, Maíz Cubano, Tuxpeño, Chococeño, Blanco Blandito, Cholito Ecuatoriano, Yunga, Enano Gigante, Yunquillano, Yungueño Ecuatoriano.
- Guatemala (33)** Criollo, Huesillo, Nal-Tel, Nal-Tel Amarillo, Nal-Tel Amarillo Tierra Baja, Nal-Tel Blanco Tierra Baja, Nal-Tel Amarillo Tierra Alta, Nal-Tel Blanco Tierra Alta, Nal-Tel Ocho, Imbricado; Serrano, San Marceño, Quiché, Quicheño Rojo, Quicheño Grueso, Quicheño Ramoso, Negrita, Negro, Negro Chico, Negro Chimaltenango Tierra Fria, Negro Chimaltenango Tierra Caliente, Salpor, Salpor Tardío,

Salvadoreño, San Marceño, Olotillo, Olotón, Comiteco, Dzit Bacal, Tehua, Tepecintle, Tusón, Tuxpeño.

**El Salvador,** Nal Tel Blanco, Nal Tel Amarillo, Nal Tel Rojo, Nal Tel Panamá,  
**Honduras,** Clavillo, Salvadoreño, Negro, Chocoseño, Cariaco, Huesillo, Cubano  
**Costa Rica,** Amarillo Cristalino.

**Nicaragua y  
Panamá (11)**

**Paraguay (10)** Avatí Mita, Avatí Morotí, Avatí Ti, Avatí Guapí, Opaco, Pichinga Redondo, Sape Moroti, Sape Pyta, Tupí Morotí, Tupí Pyta.

**Perú (66)** Ajaleado, Alazán, Alemán, Amarillo Huancabamba, Ancashino, Arequipeño, Arizona, Arizona Mochero, Blanco Ayabaca, Cabaña, Capiro, Chancayano, Chancayano Amarillo, Chancayano Blanco, Chancayano Pintado, Chaparreño, Chimlos, Chullpi, Chuncho, Colorado, Confite Introducido, Confite Morocho, Confite Puneño, Confite Puntigudo, Coruca, Cubano Amarillo, Cubano Amarillo Piricinco, Cuban Yellow Dent, Cuzco, Cuzco Cristalino Amarillo, Cuzco Gigante, Enano, Granada, Hibrido Amarillo Duro, Huachano, Huancavelicano, Huarmaca, Huayleño, Jora, Kculli, Maraño, Mochero, Mochero Pagaladroga, Morocho Cajabambino, Morocho Canteño, Morocho, Opaco, Pagaladroga, Pardo, Pardo Amarillo, Paro, Perla, Perlilla, Piricinco, Piscorunto, Rabo de Zorro, Rienda, Sabanero, San Gerónimo Huancavelicano, Sarco, Shajatu, San Gerónimo, Tambopateño, Tumbesino, Tuxpeño, Uchuquilla.

**Uruguay (8)** Cateto Sulino, Cristal, Dentado Branco, Dentado Rugoso, Morotí Amarillo, Morotí Blanco, Pisingallo, Semidentado Rugoso.

<b>Estados Unidos de América (16)</b>	Argentino, Canilla, Cariaco, Chapalote, Confite Morocho, Corn Belt Dent, Creole, Early Caribbean, Haitian White, Northern Flint, Northern Flour, Palomero Toluqueño, Saint Croix, Southern Dent, Tuson y White PopCorn.
<b>Venezuela (19)</b>	Aragüito, Cacao, Canilla Venezolano, Cariaco, Chandelle, Chirimito, Común, Costeño, Cuba Amarillo, Guaribero, Huevito, Negrito, Pira, Pollo, Puya, Puya Grande, Sabanero, Tusón, Tuxpeño.
<b>México (65:59 cotejadas; 6 imprecisas)</b>	Ancho, Apachito, Arrocillo Amarillo, Arrocillo, Azul, Blandito, Blando Sonora, Bofo, Bolita, Cacahuacintle, Carmen, Celaya, Chalqueño, Chapalote, Clavillo, Comiteco, Conejo, Cónico, Cónico Norteño, Coscomatepec, Cristalino Chihuahua, Complejo Serrano Jalisco, Cubano Amarillo, Dulce de Jalisco, Dulcillo Noroeste, Dzit Bacal, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Elotero de Sinaloa, Fasciado, Gordo, Harinoso, Harinoso de Ocho, Jala, Lady Finger, Maíz Dulce, Maizón, Motozinteco, Mushito, Nal Tel, Nal-Tel de Altura, Olotillo, Olotón, Onaveño, Palomero de Chihuahua, Palomero Toluqueño, Pepitilla, Ratón, Reventador, San Juan, Serrano de Jalisco, Tablilla, Tablilla de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Tehua, Tepecintle, Tunicata, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Vandeño, Xmejenal, Zamorano Amarillo, Zapalote Chico, Zapalote Grande.

---

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 utilizados 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 realizados por McClintock y colaboradores (1981), los cuales llevaron a cabo una extensa

investigación utilizando este tipo de caracteres para estudiar 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.

El método de más reciente para caracterización de poblaciones es la caracterización molecular en donde se incluyen la calificación a base de enzimas y caracterización utilizando el ADN de los individuos. Este método ha ido ganando aceptación como una forma para determinar la diversidad genética de las poblaciones. La electroforesis de isoenzimas favorece el empleo de marcadores genéticos, que generalmente son más eficientes que los morfológicos, a pesar de estar ligeramente influidas por la acción ambiental y depender del tejido y estadio de desarrollo de la planta que se evalúa; asimismo, son relativamente sencillos, poco costosos y codominantes; permiten distinguir los genotipos homocigóticos y heterocigóticos (Álvarez, 2005), lo que hacen ser una técnica muy adecuada sobre todo cuando se trata de revelar relaciones sistemáticas entre muchos grupos de poblaciones de maíz (Sánchez *et al.*, 2000). 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 es, la del polimorfismo en la longitud de los fragmentos de restricción, mejor conocida como RLFPs (por sus siglas en inglés) (Smith *et al.*, 1997). La introducción de la técnica 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 mini satélites, 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 (Clark *et al.*, 2005), serán los marcadores de elección para muchas aplicaciones genéticas; sin embargo, varios tipos de marcadores

como las repeticiones de inter-secuencias simples (ISSRs) Staub et al. (1996), la técnica de la secuencia caracterizada de regiones amplificadas (SCARs) (Akopyanz et al., 1992, la posible utilización de las etiquetas de secuencias expresadas (EST) Reisch (2000), miniatura transponibles con terminal invertida (MITEs) Casa et al. (2001), son muchas de las técnicas que se utilizan para caracterizar molecularmente a las poblaciones de maíz.

#### **1.2.10. Razas de maíz en México.**

Los estudios de caracterización racial de maíces mexicanos se inician con Welhausen y colaboradores, en 1953, después de 7 años de recolección y habiendo reunido aproximadamente 2000 muestras. los cuales agruparon toda la variación del maíz en México en 25 grupos raciales. Las razas fueron ordenadas en cinco grupos, el de las indígenas antiguas (cuatro razas), indígenas precolombinas (Cuatro razas), mestizas prehistóricas (13 razas), modernas incipientes (cuatro) y el grupo de las no bien definidas (siete) Cuadro 8.

Esta clasificación racial hasta la fecha continúa vigente y han sido las bases para aportaciones subsecuentes. Como los realizados por Hernández y Alanís en 1970 quienes describen cinco razas nuevas. Ortega Paczka en 1979 propone 10 razas más y de las 7 subrazas (Palomero Jalisiense, Palomero Poblano, Elotes Occidentales, Elotes Cónico, Tabloncillo Perla y Dzit-Bacal) descritas por Wellhausen, Roberts y Hernández y Manglesdorf (1951) que las identifica como razas, dando como total hasta de 45 razas. Posteriormente Benz en 1986 aumento cinco razas y Sánchez y colaboradores en 2000 incluyeron una raza más (Cuadro 9), lo que da un total de 59 razas (Figura 30). Aragón y colaboradores en 2002 a partir de la base de datos de CIMMYT e INIFAP mencionan la existencia de 2 razas más, dando un total de 61 razas.

Es de esperarse que nuevos estudios de evaluación agronómica y caracterización actualizarán la clasificación racial en México (Sánchez, 2011). Esto ha sido confirmado en año 2012, ya que en el proyecto global: recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México, se informa que además de las 59 razas de maíz confirmadas por

Sánchez y colaboradores, 2000, se incluyen otras cinco razas, una derivada de materiales mejorados y consignada como Cubano Amarillo y cuatro con muy baja representatividad identificadas como Nal-Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño. Estas últimas, asociadas a razas de maíz de Guatemala (Serrato, 2012).

Diversos estudios realizados en México reportan una gran riqueza genética regional en las razas mexicanas de maíz. En este sentido, en el año 2008, Hortelano y colaboradores evaluaron 58 muestras de maíces nativos de la región del Valle de Puebla y reportaron que la diversidad morfológica para los 21 caracteres analizados, presentan diferencias significativamente en las muestras poblacionales evaluadas. Guillén-de la Cruz y colaboradores, 2014, caracterizaron y clasificaron la variabilidad morfológica de 71 colectas de maíces criollos del estado de Tabasco, evaluando 17 variables morfológicas, encontrando diferencias estadísticas en 14 de las 17 variables, y en el análisis de Componentes Principales (CP), determinaron que los primeros tres CP explican el 92.3 % de la variación, aportando la mayor variabilidad de esta variación las variables, peso de mazorca, peso de marlo (olote) y días a floración femenina.

Estudios de mayor especificidad en las razas de maíz en México también documentan variación dentro de razas. En este sentido y dado la importancia que tienen la raza Bolita para la elaboración de Tlayudas, Ramírez y colaboradores, 2013, estudiaron 108 poblaciones de maíz obtenidas en 17 localidades de los Valles Centrales de Oaxaca, con el objetivo de estudiarlas para nueve caracteres de la mazorca y grano y cinco relaciones entre estos. Los autores encuentran variación dentro de la raza al reportar tres grupos principales; sin embargo, a pesar de encontrar mayor preponderancia de la raza Bolita, también encuentran la presencia de la raza Pepitilla y en menor grado de la raza Tuxpeño.

La diversidad genética del maíz es relevante para la agricultura mexicana la principal razón es que el 85 % de la superficie maicera del país se cultiva con maíces nativos. En esta fracción se encuentra la diversidad genética como un recurso estratégico en la producción del sustento alimenticio de nuestro país. El futuro de su cultivo en el contexto nacional e internacional puede depender de esa diversidad genética que aún se encuentra ahora en el campo (Preciado *et al.*, 2011). Cabe mencionar que la

diversidad generada a través del tiempo responde tanto a las condiciones de los numerosos nichos ecológicos existentes en nuestro país, como a las necesidades de uso de los campesinos (Muñoz, 2005; Ortega *et al.*, 2011).

Los recursos genéticos de cultivos tradicionales no son solo colección de genes, incluyen sistemas de interacciones ecológicas, selección y manejo guiados por sistemas de prácticas y conocimiento que ha permitido su adaptación a ecosistemas heterogéneos. En esto consiste la riqueza de la biodiversidad del maíz, ya que las condiciones que favorecen su diversificación se deben por una parte a la amplia variación ambiental del territorio mexicano y por otra, a que es una especie de polinización abierta y presenta la mayor variación genética conocida dentro de los cultivos agrícolas. Estos aspectos han sido explotados por los agricultores para conservar materiales nativos, así como, adaptar y generar germoplasma nuevo (CONABIO, 2008).

**Cuadro 8.** Clasificación de las razas de maíz en México por Wellhausen, Roberts y Hernández X y Manglesdorf (1951)

<b>Grupo</b>		<b>Raza</b>
<b>Razas Indígenas antiguas</b>		1-Palomero Toluqueño *Palomero Jaliscience *Palomero Poblano 2-Arrocillo Amarillo 3-Chapalote 4-Nal-Tel.
<b>Razas Precolombinas</b>	<b>Exóticas</b>	1-Cacahuacintle 2-Harinoso de Ocho. *Elotes Occidentales 3-Olotón 4-Maíz Dulce
<b>Razas Mestizas Prehistóricas</b>		1-Cónico *Elotes Cónicos 2-Reventador 3-Tabloncillo *Tabloncillo Perla 4-Tehua 5-Tepecintle 6-Comiteco 7-Jala 8-Zapalote Chico 9-Zapalote Grande 10-Pepitilla 11-Olotillo *Dzit-Bacal 12-Tuxpeño 13-Vandeño

**Razas Modernas Incipientes** 1-Chalqueño  
2-Celaya  
3-Conico Norteño  
4-Bolita

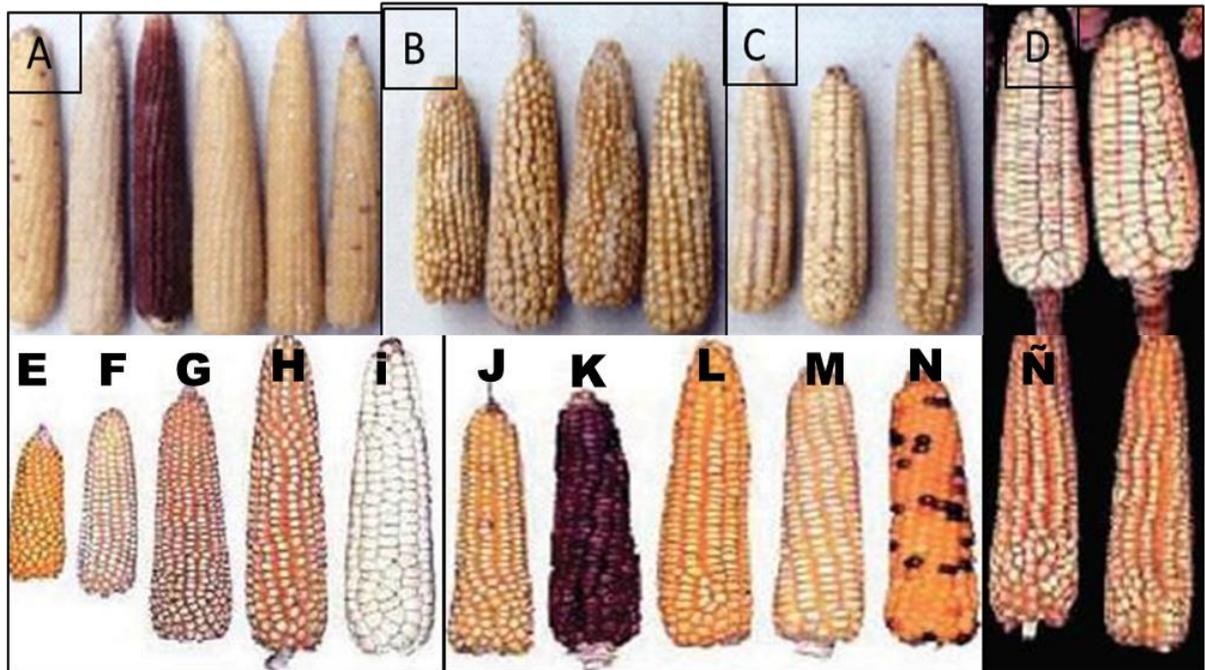
**Razas no bien Definidas** 1-Conejo  
2-Mushito  
3-Complejo Serrano de Jalisco  
4-Zamorano Amarillo+  
5- Maíz blando de Sonora  
6-Onaveño  
7-Dulcillo del Noroeste+

---

**Cuadro 9.** Nuevas razas de maíces de México descritas de 1979 a 2000.

<b>Autores</b>	<b>Razas descritas</b>
Hernández y Alanís (1970)	1-Apachito 2-Azul 3-Bofo 4-Gordo 5-Tablilla de ocho
Ortega Pacska (1979)	1-Ancho 2-Coscomatepec 3-Cristalino de Chihuahua 4-Elotero de Sinaloa 5-Motozinteco 6-Nal-Tel de Altura 7-Negro de Chimaltenango 8-Palomero de Chihuahua 9-Ratón+ 10-Tuxpeño Norteño *Palomero Jalisciense *Palomero Poblano *Elotes Occidentales *Elotes Cónicos *Tabloncillo Perla
Benz (1986)	1-Chatino Maizón 2-Choapaneco 3-Mixeño 4-Mixteco 5-Serrano Mixe
Sánchez <i>et al.</i> (2000)	1-Negrito

La existencia de esta diversidad biológica especialmente en centros de origen, son importantes para mantener y mejorar los cultivos agrícolas, especialmente en América Latina (Asturias, 2004).



**Figura 30.** Razas de maíz de México. Reventador (A), Arrocillo Amarillo (B), Tabloncillo (C), Chalqueño (D), Arrocillo (E), Palomero Toluqueño (F), Cónico (G), Chalqueño (H), Cacahuacintle (I), Serrano Jalisciense (J), Occidentales (K), Mixteco (L), Serrano Mixe (M), Olotón (N), Zapalote Chico (Ñ).

### 1.2.11. Razas de maíz en Sinaloa.

El mayor volumen de producción de grano en Sinaloa es el de maíz blanco para la industria de la tortilla. Los recursos agroclimáticos e hídricos son favorables para la producción intensiva de semilla de híbridos comerciales de alto rendimiento. Durante los últimos veinte años, este cultivo ha observado un crecimiento acelerado en cuanto a la superficie, volumen de producción y rendimiento gracias las condiciones de riego y a la utilización de materiales genéticos híbridos comerciales. Por otro lado, las condiciones de producción de temporal, modalidad en la que se cultivan los maíces nativos, se ha

observado una continua reducción de superficie. (Doebley, 1990; Serratos *et al.*, 1995; Bellon y Berthaud, 2004; Kato, 2004; Berthaud y Gepts, 2004; Turrent y Serratos, 2004; Snow, 2002; Wise, 2007, Fernández y Fernández, 2004).

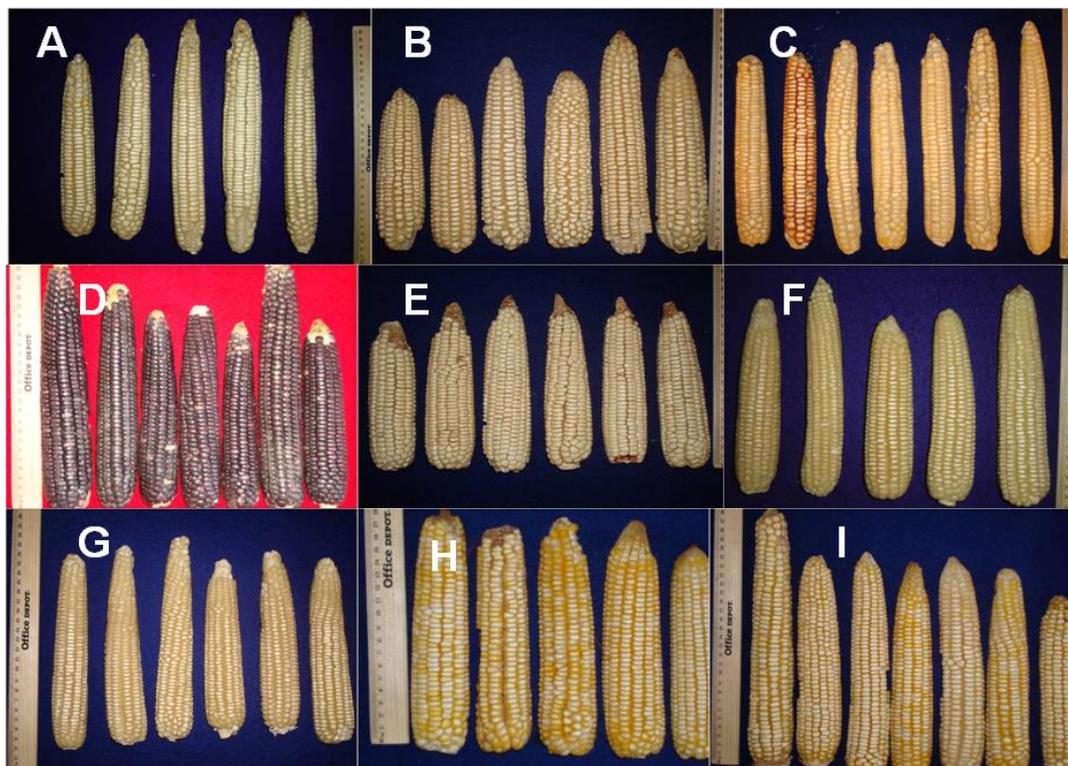
El maíz de temporal se siembra en 15 de los 18 municipios de Sinaloa. Los de mayor importancia en cuanto a área sembrada son: Sinaloa de Leyva, Culiacán, Badiraguato, San Ignacio y Cosalá que en conjunto cultivan el 69% del total en el estado. Los municipios donde el cultivo de temporal es imperceptible son Ahome, Guasave y Navolato, debido principalmente por su ubicación en planicies costeras, donde predominan las zonas irrigadas en el estado (Palacios *et al.*, 2008).

Los trabajos de investigación oficial en maíz en el estado de Sinaloa se iniciaron en 1962 con el objetivo de determinar las fechas de siembra para el cultivo de maíz en el Valle de Culiacán. En veinte años de investigación, el centro de investigaciones agrícolas del Pacífico Norte (CIAPAN), se enfocaron a obtener variedades e híbridos de maíz, logrando derivar tres variedades [V-420 (Perla Mejorado), VS-450 (Costeño Culiacán), VS-453 (Costeño Culiacán Mejorado)] y dos híbridos (H-451 y H-452), pero sin tener ningún trabajo que implicara estudiar la diversidad de los maíces nativos de Sinaloa (INIA, 1981).

Los estudios de diversidad de maíces para una región necesariamente deben de iniciar con la colección de estos. Tres trabajos de colección de materiales nativos de Sinaloa destacan por su naturaleza. La primera realizada de 1987-1989, la segunda de 1999-2000, ambos con fondos provenientes de CONACYT, y ambas efectuadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. En la última, se logró coleccionar 180 poblaciones de maíces nativos en el estado de Sinaloa que se encuentran en resguardo en el banco de germoplasma de INIFAP (Cuadro 10).

Los análisis de diversidad de materiales nativos en nuestro estado son pocos y escasos, destacan los realizados por Parente (2005) y Gutiérrez (2005) que caracterizaron en un ambiente común a materiales nativos de Sinaloa, y encontraron diferencias significativas para las variables de mazorca. De la misma manera, Sánchez-Peña *et al.* (2008), al analizar la variación fenotípica para características de mazorca en 17 poblaciones de maíces nativos de Sinaloa encuentran alta variación entre las poblaciones estudiadas. En el 2008 Palacios y colaboradores reportaron 152 colectas de

maíz realizadas en 15 de los 18 municipios del estado de Sinaloa, las muestras pertenecían principalmente a nueve razas: Tabloncillo, Tuxpeño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo Perla, Blando de Sonora, Reventador, Vandefío, Onaveño y Jala (Figura 31). Indicando que, en Sinaloa, persisten maíces nativos de la mayoría de las razas reportadas en los antecedentes de investigación, pero en algunas razas la frecuencia es demasiado baja como es el caso de las razas Reventador, Onaveño y Vandefío, y en otras, están prácticamente desaparecidas, como es el caso de la razas Chapalote, Dulcillo y Bofo.



**Figura 31.** Razas de maíz reportadas en el estado de Sinaloa por Palacios *et al.*, (2008). Tabloncillo (A); Tuxpeño (B); Tabloncillo Perla (C); Elotero de Sinaloa (D); Blando de Sonora (E); Onaveño (F); Reventador (G); Vandefío (H); Jala (I).

Lugo en el 2009 al analizar la variación fenotípica para características de mazorca en 11 poblaciones de maíces criollos de Culiacán reportó que las 10 variables evaluadas presentaron diferencias significativas entre poblaciones; situación similar a lo reportado por Leyva (2009) en 10 poblaciones de maíces criollos de San Ignacio. Morales (2012) reporta variación entre en caracteres de planta en 21 poblaciones analizadas y sugiere

que debido a la gran diversidad encontrada en tan reducido número de poblaciones se tienen que continuar con los estudios de este importante recurso en Sinaloa.

**Cuadro 10.** Presencia de maíces nativos en el estado de Sinaloa.

<b>Referencia</b>	<b>Razas</b>
Wellhausen <i>et al.</i> , 1951	Chapalote, Reventador, Tabloncillo
Ortega P., 1985 (Hernández, 2006)	Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Intervención de Tuxpeño
Sánchez, 1989 (Hernández, 2006)	Elotero de Sinaloa
Sánchez y Goodman, 1992 (Turrent, 2004)	Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Reventador, Blando de Sonora
Cárdenas, 1995 (Turrent, 2004)	Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Blandito de Sonora, Reventador, Tuxpeño, Dulcillo del Noroeste, Onaveño, Maíz Dulce, San Juan, Lady Finger, Harinoso
Ortega <i>et al.</i> , 2006, 2005 y 2002	Tabloncillo, Azul, Onaveño
Base de Datos INIFAP	Chapalote, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Blandito, Reventador, Elotero de Sinaloa, Tuxpeño, Dulcillo, Bofo, Onaveño

Fuente: Palacios *et al.*, 2008. CONABIO-INIFAP.

No obstante el reporte de la diversidad racial de maíz mencionada, existen reportes no oficiales de la presencia de más razas (Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Ratón y Ancho) colectadas y conservadas (*in situ* y *ex situ*) en investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Sinaloa (Figura 32). Con esto se podría incrementar el número de razas de maíz en Sinaloa para encontrar más de la cuarta parte de la diversidad del maíz en México.



**Figura 32.** Otras razas de maíz existentes en Sinaloa: Chapalote (A), Dulcillo del Noroeste (B), Bofo (C), Ratón (D) y Ancho (E).

## CAPITULO 2.

### 2. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DE MAÍCES (*Zea mays* ssp. *mays* L.) NATIVOS DE SINALOA, MÉXICO

### 3. PHENOTYPIC AND AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF MAIZE LANDRACES (*Zea mays* ssp. *mays* L.) FROM SINALOA, MÉXICO.

#### 2.1 Introducción.

El maíz (*Zea mays* ssp. *mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, centro de origen de esta especie, el cultivo con el mayor volumen de producción (23.2 x 10<sup>6</sup> millones de toneladas), la superficie cultivada (7.4 millones ha) y la demanda nacional anual (30 x 10<sup>6</sup> millones de toneladas), por sus más de 600 formas diferentes de cocinar y por el aporte nutricional promedio a la dieta del mexicano (59 % de energía y 39 % de proteína diaria) (Sánchez *et al.*, 2000; Muñoz, 2003; Sánchez, 2011; SIAP, 2014).

Desde su domesticación hace 9 a 10 mil años (Matsuoka *et al.*, 2002; Doebley, 2004) y hasta hoy, el maíz se ha mejorado genéticamente para satisfacer las necesidades humanas. Como consecuencia, la diversidad del maíz en México es tan amplia que se pueden encontrar diferentes variedades adaptadas a regiones, parcelas y nichos específicos en casi todas las condiciones ambientales (Gil y Muñoz, 1994; Santacruz-Varela *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2008; Kato *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2013; Perales y Golicher, 2014). Esta enorme diversidad ha sido motivo de varios estudios en nuestro país, la mayoría se ha enfocado en conocer las poblaciones y las razas existentes con distintos objetivos: para la utilización en el mejoramiento de líneas comerciales, para comprender los procesos evolutivos que le dieron origen, para explicar su distribución en los diferentes ambientes y para registrar su biodiversidad. La riqueza genética del maíz, al igual que otras especies de explotación agrícola, representa una oportunidad para mejorar las características agroalimentarias de las variedades cultivadas y resolver problemas propios del cultivo, tales como resistencia a enfermedades, a estrés hídrico y de otros factores climatológicos (Cervantes *et al.*, 1978; Ruiz *et al.*, 2008, 2011; Hellin *et al.*, 2014). El conocimiento de esta diversidad en el maíz, así como la relación de este cultivo desde un punto de vista antropocéntrico, determina qué estrategias de

conservación y aprovechamiento seguir (Ortega, 1985; Ortega *et al.*, 1991; Castillo, 1993; Pressoir y Berthaud, 2004). La información de la variación fenotípica y agronómica de la diversidad dentro y entre razas nativas (parte de la diversidad genética del maíz) es una fuente potencial de características que se pueden utilizar sistemáticamente en el mejoramiento genético regional.

El estudio pionero de la descripción de la diversidad del maíz en México fue realizado por Chávez en 1913 quien describió 57 variedades. Sin embargo, la descripción de la variación de poblaciones de maíces en razas, surge con los estudios de Anderson y Cutler (1942), quienes además de concebir a una raza como un conjunto de individuos que comparten características en común que permiten su reconocimiento como grupo y que ocupan un ambiente específico, también señalaron que los caracteres reproductivos son los de mayor importancia para la clasificación racial. A partir de esto, uno de los registros más importantes de la diversidad de maíz en México fue desarrollado por Wellhausen *et al.* (1951), quienes describieron 25 razas diferentes, tres “subrazas” y siete tipos no definidos, basándose en características fisiológicas y morfológicas. Este reporte fue complementado por los estudios de Hernández y Alanís (1970) así como los de Ortega en 1985. Con el desarrollo de la computación y métodos estadísticos avanzados, se incorporaron otras variables a los análisis numéricos taxonómicos como la interacción genotipo ambiente y más recientemente estimaciones de la diversidad genética utilizando marcadores moleculares, como aloenzimas, microsatélites o polimorfismos de un nucleótido (SNPs por sus siglas en inglés) (Castillo, 1993; Pejic *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2000; Pressoir y Berthaud, 2004; Santacruz-Varela *et al.*, 2004; González *et al.*, 2013; Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014, Arteaga *et al.*, 2016; Caldu-Primo *et al.*, 2016; Herrera-Saucedo *et al.*, 2019). Con estos estudios se puede afirmar que México contiene alrededor del 17 % de la diversidad de maíz descrita para América: 59 de las 300 razas existentes (Sánchez *et al.*, 2000 y Aragón-Cuevas *et al.*, 2002).

A pesar de los antecedentes mencionados, el registro de la diversidad de maíz en México no ha sido generalizado en todo el territorio nacional. La mayoría de los estudios centran su atención en las zonas centro y sur de la nación. En regiones norteañas como Chihuahua, Sonora y Sinaloa existen pocos estudios en comparación con el resto del país. El primer registro para Sinaloa lo realizó Wellhausen en 1951 con sólo tres razas, desde entonces y hasta el año 2006 con las investigaciones de Ortega y colaboradores,

esto cambió a un total de 10 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega, 1985; Sánchez y Goodman, 1992; Ortega, 2003; Turrent y Serratos, 2004).

En Sinaloa, la investigación oficial en maíz se inició en 1962 con el objetivo de determinar las fechas de siembra para el cultivo de maíz en el Valle de Culiacán. En 20 años de investigación, el Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte (CIAPAN) del INIA se enfocó a obtener variedades e híbridos de maíz, y derivaron las variedades V-420 (Perla Mejorado), VS-450 (Costeño Culiacán), VS-453 (Costeño Culiacán Mejorado) y los híbridos H-451 y H-452 (INIA, 1981). Sin embargo, no se estudió la diversidad de sus maíces nativos. En décadas recientes, Sinaloa se posicionó como el principal productor nacional de maíz y ante la posibilidad de la siembra comercial de maíz transgénico en México, se han iniciado estudios para caracterizar los maíces nativos. Aquí se ha logrado identificar la presencia de varias razas de maíz (nueve) en las zonas de temporal del estado (Palacios *et al.* 2008) y una gran diversidad en sus poblaciones (Pineda-Hidalgo *et al.*, 2013). La información hasta el año 2008 indicaba que Sinaloa contiene el 23% de las razas de maíz de México. Sin embargo, hasta el momento las zonas exploradas cubren regiones accesibles del territorio sinaloense, pero no aquellas zonas que se encuentran adentradas en la sierra y que suelen ser de difícil acceso o de riesgo para la seguridad de los investigadores. Esto ha contribuido a un desconocimiento de la diversidad de maíz en Sinaloa y otras regiones (Wellhausen, 1951; Perales y Golicher, 2014).

El objetivo del estudio fue evaluar caracteres morfológicos y agronómicos de las razas nativas de maíz de Sinaloa, identificando las variables que permitan describir mejor la diversidad, determinar su valor agronómico y conocer su estado actual en una de las zonas productoras de maíz más importantes de México.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1 Material genético**

En este estudio se obtuvieron 144 accesiones de maíz representativas de diferentes zonas del territorio sinaloense, incluyendo zonas cercanas al estado de Durango (Figura 1). Las accesiones fueron colectadas en parcelas y trojes, identificadas de manera visual, georreferenciadas, almacenadas en costales para su traslado, identificadas de forma

racial con base a características de mazorca (Rafael Ortega Paczka, comunicación personal) y resguardadas en las instalaciones del banco de germoplasma de maíz de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa con los identificadores de la colección MCS14 (números de control 01-150).

### **2.2.2 Experimentos**

Los experimentos fueron establecidos en los campos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa ubicados a 24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O, a 38 m de altitud. El suelo es tipo vertisol crómico. La humedad aprovechable es del 25 % con base en el peso de suelo seco. El contenido de materia orgánica es menor al 1 %; con menos de 0.002 % de nitrógeno, y con 17.5 y 300 mg kg<sup>-1</sup> de P y K. El pH con valores entre 7.5 y 8, y la conductividad eléctrica menor de 1 dS m<sup>-1</sup>. El clima [BS1 (h') w (w) (e)] en este sitio es de tipo semi seco, muy cálido, extremoso, con lluvias en verano, temperatura media anual de 25.9 °C y precipitación media anual de 672 mm (García, 2004).

Las siembras se realizaron de forma manual en los dos ambientes (ciclo de siembra de invierno) de los años 2013-2014 y 2014-2015. Los experimentos se desarrollaron bajo condiciones de riego con un diseño experimental de látice simple 12 × 12. En cada parcela se sembraron 26 plantas (parcelas de dos surcos con una longitud de 5 m con cinco plantas por metro lineal y una distancia entre surcos de 80 cm). Se aplicaron tres riegos de auxilio y se realizó una fertilización con la mitad de la dosis recomendada para cultivos híbridos (135N–50P–00K) en la etapa fenológica V-6. La toma de datos se realizó desde el establecimiento de los cultivos hasta las cosechas manuales de mayo a junio en cada ciclo de siembra.

### **2.2.3 Variables evaluadas.**

En cada parcela experimental se seleccionaron 13 plantas con competencia completa en las cuales se determinaron las variables descritas a continuación y de acuerdo con el manual del IBPGR (IBPGR, 1991). La floración masculina y femenina fueron determinadas desde el día de siembra hasta el momento en el que el 50 % de las plantas liberaran polen y mostraran estigmas expuestos, respectivamente.

Durante el ciclo biológico fueron registradas las siguientes variables: altura de la planta y de la mazorca, medida en cm desde el suelo hasta la punta de la espiga, y al nudo de

inserción de la mazorca superior, respectivamente; número total de hojas por planta y número de hojas arriba de la mazorca, contadas al momento de la antesis.

Después de la antesis se evaluaron: longitud del pedúnculo de la espiga, desde el nudo superior hasta la primera ramificación; longitud del tramo ramificado de la espiga, desde la primera hasta la última ramificación; longitud de la rama central de la espiga, desde la última ramificación hasta la punta de la espiga; longitud total de la espiga, desde el nudo superior hasta la punta de la espiga; todos los anteriores medidos en cm. También se cuantificó el número de ramificaciones primarias de la espiga.

En la cosecha se recolectaron las 13 mazorcas de las plantas evaluadas. En ellas se midió longitud del pedúnculo (cm), longitud y diámetro medio de la mazorca (cm), peso total de la mazorca (g) y número de hileras de granos por mazorca.

Las mazorcas fueron desgranadas y se midió el diámetro (cm). De cada una de las mazorcas se tomaron 10 granos (parte central de la mazorca) para medir el promedio de la longitud, anchura y espesor (mm) del grano. Se formó una muestra de 100 granos de todas las mazorcas de cada unidad experimental y se obtuvo su peso (g) y su volumen (cm<sup>3</sup>). Se generaron variables compuestas a partir del cociente de dos variables como la del peso/volumen de 100 granos; altura de la mazorca/altura de la planta; diámetro/longitud de la mazorca; espesor/longitud de 10 granos; anchura/longitud de 10 granos y porcentaje del peso de granos de la mazorca.

#### **2.2.4 Análisis estadístico**

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza combinado como bloques completos al azar, debido a que los promedios de cada unidad experimental de los dos ambientes para cada una de las variables, no mostraron eficiencia con respecto al diseño experimental en látice propuesto inicialmente. Se determinó la interacción genotipo x ambiente y los componentes de varianza, utilizando SAS V.9.0 (SAS Institute, 2002). Las variables se seleccionaron desde la matriz de correlaciones y de la dispersión de los valores y vectores en una gráfica de Gabriel, con el objetivo de observar la estructura de correlaciones entre las variables y su efecto sobre la varianza global (Pla, 1986; Rawlings, 1998).

La matriz de correlaciones entre las variables seleccionadas se usó para realizar un análisis de componentes principales con el método no paramétrico de agrupación de MODECLUS, para estimar el número adecuado de agrupaciones en las que la cantidad

de elementos de cada grupo se basa en un valor de partida (*kernel*). Este valor corresponde a un radio (R) de una esfera multidimensional expresado en términos de distancias euclidianas, sobre la que se explora el número de elementos que caen dentro de la esfera con un alcance determinado por R (SAS Institute, 2002).

Un análisis de conglomerados se realizó con datos estandarizados a la distribución normal (0,1), usando distancias euclidianas y el método UPGMA. La altura de corte para definir el número de grupos se determinó con un análisis de Pseudo  $f^2$ , usando SAS V.9.0. (SAS Institute, 2002). Se realizó un análisis de varianza (univariado) para cada variable y se compararon las diferencias de medias con la prueba de Gabriel ( $p \leq 0.01$ ) de los grupos formados por el análisis de conglomerados utilizando SPSS V. 24.0. de IBM.

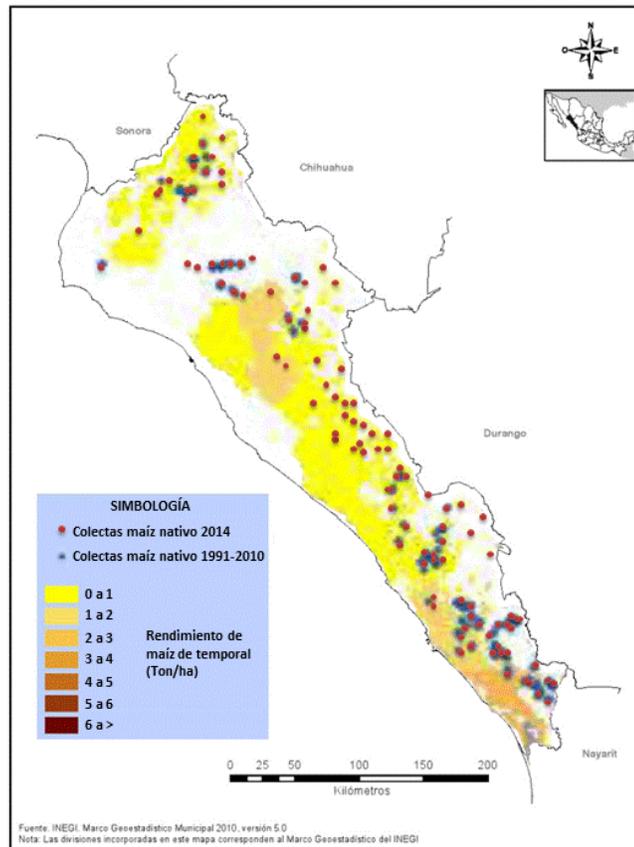
## **2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.3.1 Material genético**

Las accesiones se pudieron clasificar en dos grandes grupos; aquellas cuyas características raciales eran conservadas y las que mostraban la influencia de dos o más razas. Los grupos raciales que se identificaron fueron: 1) Chapalote, 2) Reventador, 3) Tabloncillo, 4) Tabloncillo Perla, 5) Dulcillo del Noroeste, 6) Elotero de Sinaloa, 7) Bofo, 8) Tuxpeño Norteño, 9) Vandeno, 10) Onaveño, 11) Jala, 12) Blando de Sonora y 13) accesiones que contenían características de dos o más grupos raciales (Tabloncillo-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perla-Jala, Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño, Onaveño-Tuxpeño Norteño, Tuxpeño Norteño-Tabloncillo, Tuxpeño Norteño-Ratón, Bofo-Tabloncillo Perla). Este último grupo y sus características puede ser consecuencia del flujo genético que se presenta entre poblaciones que son sembradas juntas en las zonas de temporal de Sinaloa, de tal manera que, al seleccionar el material para la siembra de ciclos venideros, muchos materiales mantienen características de diferentes grupos raciales.

En nuestra investigación encontramos la raza Ratón en hibridación con la raza Tuxpeño Norteño. Sin embargo, en años posteriores al estudio, se lograron identificar y coleccionar accesiones pertenecientes a la raza ratón, mismas que se encuentran resguardadas en el Laboratorio de Genética de la Facultad de Agronomía de la

Universidad Autónoma de Sinaloa. Si bien la raza Ratón no había sido reportada con anterioridad en Sinaloa, ya se había registrado que existían las condiciones agroclimáticas que favorecían su presencia (Ortega, 1985 y Ruiz *et al.*, 2013). Dentro de las accesiones se identificaron seis pertenecientes a dos materiales híbridos comerciales (tres blancos y tres amarillos) sin poder identificar la compañía o marca de los mismos.



**Figura 33.** Mapa del estado de Sinaloa. Colectas de maíz en Sinaloa; y rendimiento de maíz de temporal obtenido de Bellon *et al.*, (2018).

### 2.3.2 Análisis de varianza

Detectamos un alto grado de variación entre los genotipos ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables evaluadas, por lo que se infiere una gran diversidad fenotípica y agronómica entre las accesiones. Los resultados entre los ambientes fueron muy similares y sólo se detectaron diferencias significativas en ocho de las 27 variables, por lo que, se deduce que el efecto del ambiente sobre las variables observadas fue mínimo (Cuadro 11). En

este aspecto, cinco de esas ocho se dieron en medidas de la espiga y de la mazorca, lo que probablemente se vio influenciado por un evento atípico tipo “tornado” en el primer ciclo de siembra que ocasionó la pérdida de mazorcas, la caída y atrofia de espigas y el acame de cerca del 70 % de las plantas (la mayoría en la fase final de crecimiento) como lo reflejan los coeficientes de variación para esas variables con valores “altos y muy altos” según la escala descrita por Gordón-Mendoza y colaboradores (2015). Solo para una variable (anchura/longitud de 10 granos) fue significativa la interacción genotipo x ambiente ( $p \leq 0.05$ ). La varianza observada de forma global, es consecuencia de las diferencias genéticas de los materiales colectados y no del efecto del ambiente o de la interacción de los genotipos con los ambientes.

Nuestros resultados contrastan con los de Gordón-Mendoza y colaboradores (2010), quienes encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo ambiente para todas las variables (excepto altura de planta, número de planta, aspecto de la mazorca y posición de las mazorcas) o con los de Cervantes y colaboradores (2016), que encontraron efecto del genotipo y de la interacción genotipo x ambiente para todas sus variables.

**Cuadro 11.** Cuadrados medios del análisis de varianza.

Variable	Ambientes		Genotipos (Gen)	Gen x Amb	Error	R <sup>2</sup>	C	GRUPOS (MEDIAS)**											
	(Amb)	(Gen)						V	I	II	III	IV	V						
Altura de la mazorca (cm)	89.5	ns	1646	**	399.67	ns	379	0.79	29	95	a	113	b	114	b	134.8	c	139	c
Altura total (cm)	212	ns	1630	**	543.22	ns	477	0.71	18	180	a	209	b	212	b	228	c	233	c
Número de hojas arriba de la mazorca	0.2	ns	0.47	**	0.25	ns	0.24	0.63	18	5.6	a	5.6	a	5.8	a	6	b	6.1	b
Número de hojas por planta	0.86	ns	4.98	**	1.11	ns	1.35	0.74	17	12	ab	12.2	a	12.6	b	14	c	14	c
Longitud del pedúnculo de la espiga (cm)	0.31	ns	21.58	**	8.62	ns	7.65	0.68	31	19	a	23	c	23.1	c	21.5	b	20.7	ab
Longitud del tramo ramificado de la espiga (cm)	35	**	7.97	**	2.78	ns	3.05	0.65	31	12	ab	11.5	a	12.6	b	13.5	c	13.9	c
Longitud de la rama central de la espiga (cm)	93.7	**	15.89	**	9.53	ns	10.5	0.67	31	20	a	24.4	b	24.2	b	25.3	b	24	b
Longitud total de la espiga (cm)	27.6	ns	38.92	**	22.72	ns	21.9	0.69	19	52	a	58.4	b	59.7	b	60.3	b	58.4	b
Número de ramificaciones primarias de la espiga	27.4	*	27.47	**	7.15	ns	6.92	0.77	39	19	a	13.6	b	14.7	bc	15.6	c	17.6	d
Longitud del pedúnculo de la mazorca (cm)	28.1	**	6.03	**	2.61	ns	2.89	0.63	47	8	a	8.2	ab	8.7	abc	8.9	bc	9	c
Número de hileras de la mazorca	0.03	ns	9.65	**	1.09	ns	1.24	0.81	22	14	e	10.9	c	10.9	a	9.8	b	11.9	d

Longitud de la mazorca (cm)	67	**	13.86	**	3.25	ns	3.45	0.73	23	15	a	18	b	18.8	c	19.13	c	17.7	b
Porcentaje del peso de granos de la mazorca	0	ns	66.12	**	13.02	ns	18.9	0.7	12	83	c	80.5	b	81	bc	77.55	a	79.6	b
Diámetro de la mazorca (mm)	0.04	ns	0.82	**	0.07	ns	0.06	0.88	16	4.2	c	3.48	a	3.9	b	4.12	c	4.5	d
Espesor de 10 granos (mm)	0.64	ns	77.85	**	14.81	ns	17.1	0.73	19	38	a	41.4	b	45.3	c	47.33	d	43.7	c
Anchura de 10 granos (mm)	7.14	ns	350.2	**	17.44	ns	18	0.91	14	83	a	86.7	b	100	c	102.7	cd	105	d
Longitud de 10 granos (mm)	29.8	ns	274.8	**	38.83	ns	31.1	0.84	14	109	c	97.1	a	104	b	106.8	c	113	d
Diámetro del olole (mm)	0.17	ns	0.54	**	0.07	ns	0.07	0.82	23	26	c	21	a	23.7	b	25.72	c	27.9	d
Volumen de 100 granos (cm <sup>3</sup> )	193	*	401	**	57.05	ns	45.5	0.85	22	40	a	40.8	a	54.8	b	60.29	b	57.4	b
Peso de 100 granos (gr)	1.23	ns	168.5	**	46.03	ns	37.1	0.75	24	27	a	27.2	a	36.3	b	38.8	b	37.3	b
Floración masculina (días)	1.83	ns	110.2	**	9.46	ns	10.6	0.85	7	79	a	83.7	bc	81.9	ab	88.63	d	87	cd
Floración femenina (días)	0.01	ns	103.4	**	9.27	ns	9.69	0.86	6	83	a	89.8	bc	87.1	b	94.09	d	91.3	cd
Peso/volumen de 100 granos	0.05	*	0.014	*	0.011	ns	0.01	0.55	16	0.7	ns	0.67	ns	0.67	ns	0.65	ns	0.65	ns
Altura de la mazorca/altura de la planta	0	ns	0.01	**	0.002	ns	0	0.81	20	0.5	a	0.54	a	0.53	a	0.59	b	0.59	b
Diámetro/longitud de la mazorca	0.01	**	0.006	**	0.001	ns	0	0.82	28	0.3	d	0.21	a	0.22	ab	0.23	b	0.27	c
Espesor/longitud de 10 granos	0	ns	0.014	**	0.002	ns	0	0.78	26	0.4	a	0.44	c	0.45	c	0.45	c	0.39	b
Anchura/longitud de 10 granos	0	ns	0.037	**	0.003	*	0	0.9	16	0.8	a	0.9	b	1	c	0.99	c	0.9	b

ns: no significativa; \*: p ( ≤ 0.05 ); \*\*: p ( ≤ 0.01 )

### 2.3.3 Análisis de componentes principales.

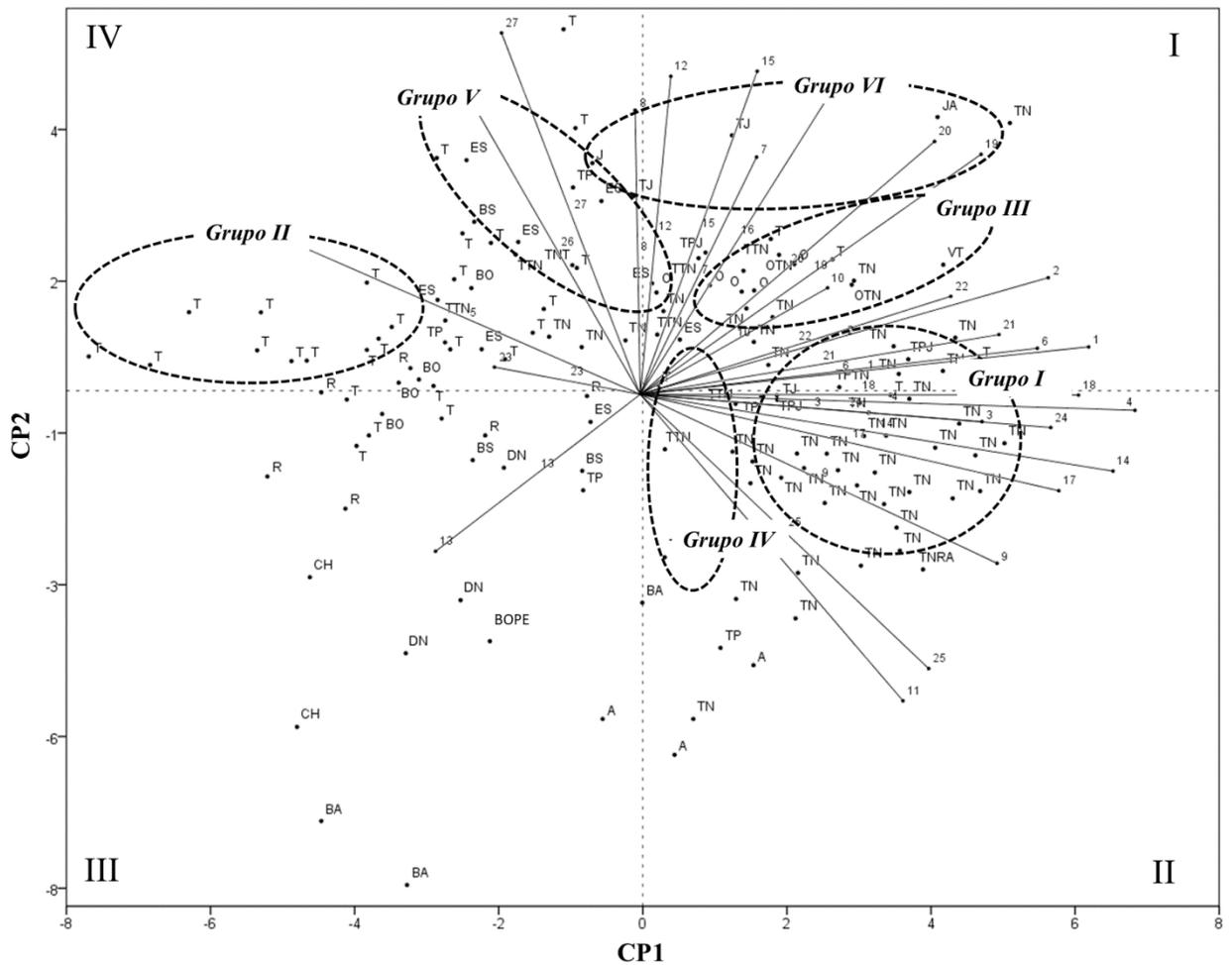
Los tres primeros componentes principales explicaron un 64 % de la varianza (31, 22 y 11 % respectivamente), donde es posible identificar las variables que aportan mayor variación a cada componente (Cuadro 12). De acuerdo con lo anterior, para el CP1 son el número de hojas por planta y el diámetro de la mazorca. En el CP2 las variables que más contribuyen son longitud de la mazorca, espesor de 10 granos, anchura de 10 granos y la relación anchura/longitud de 10 granos. En el CP3 son la floración masculina y femenina. Algunas de estas variables han sido seleccionadas en otros estudios para la descripción de la diversidad genética, sobre todo aquellas relacionadas con caracteres de la mazorca y características de grano (Herrera *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2000 y Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014).

**Cuadro 12.** Vectores, valores propios y proporción de la varianza explicada por los componentes principales.

#	Variable	CP1	CP2	CP3
1	Altura de la mazorca	0.172	0.049	-0.177
2	Altura total	0.247	0.115	-0.171
3	Número de hojas arriba de la mazorca	0.214	-0.023	0.049
4	Número de hojas por planta	0.306	-0.011	-0.114
5	Longitud del pedúnculo de la espiga	-0.221	0.142	-0.004
6	Longitud del tramo ramificado de la espiga	0.248	0.049	0.133
7	Longitud de la rama central de la espiga	0.069	0.230	-0.253
8	Longitud total de la espiga	-0.008	0.273	-0.107
9	Número de ramificaciones primarias de la espiga	0.227	-0.158	0.164
10	Longitud del pedúnculo de la mazorca	0.117	0.105	0.060
11	Número de hileras de la mazorca	0.168	-0.292	-0.100
12	Longitud de la mazorca (cm)	0.017	0.307	-0.032
13	Porcentaje del peso de granos de la mazorca	-0.123	-0.152	0.210
14	Diámetro de la mazorca	0.301	-0.068	0.183

15	Espesor de 10 granos	0.070	0.312	0.061
16	Anchura de 10 granos	0.124	0.301	0.291
17	Longitud de 10 granos	0.266	-0.088	0.192
18	Diámetro del olote	0.278	0.004	0.150
19	Volumen de 100 granos	0.215	0.235	0.241
20	Peso de 100 granos	0.187	0.248	0.269
21	Floración masculina	0.218	0.060	-0.388
22	Floración femenina	0.187	0.096	-0.426
23	Peso/volumen de 100 granos	-0.089	0.026	0.059
24	Altura de la mazorca/altura de la planta	0.249	-0.029	-0.242
25	Diámetro/longitud de la mazorca	0.185	-0.261	0.131
26	Espesor/longitud de 10 granos	-0.108	0.274	-0.061
27	Anchura/longitud de 10 granos	-0.089	0.347	0.136
	Valor propio	8.5	5.8	2.9
	Varianza acumulada	0.31	0.53	0.64

El método de agrupación MODECLUS permitió detectar la presencia de seis grupos ( $R = 1$ ) para los CP1 y CP2, formados principalmente por las accesiones pertenecientes a diferentes razas: I) Tuxpeño Norteño, II) Tabloncillo, III) Onaveño y Vandeño, IV) Zona compuesta por accesiones con características de Tabloncillo y Tuxpeño Norteño, V) Elotero de Sinaloa y VI) Jala y Tabloncillo-Jala (Figura 34). También, cabe destacar la cercanía de las razas Chapalote, Reventador, Dulcillo del Noroeste, Blando de Sonora y Bofo en el cuadrante III; y en el cuadrante II la accesión Tuxpeño Norteño-Ratón. Estas distribuciones y otras como la de Tabloncillo en el IV y Bofo en el cuadrante III, coinciden con las relaciones filogenéticas observadas por Sánchez y colaboradores (2000), para variables morfológicas.



**Figura 34.** Dispersión de los CP1 y CP2 para las accesiones analizadas. A=Amarillo, BA=Blanco, BO=Bofo, BS=Blando de Sonora, CH=Chapalote, DN=Dulcillo del noroeste, ES=Elotero de Sinaloa, JA y J=Jala, O=Onaveño, R=Reventador, T=Tabloncillo, TN=Tuxpeño Norteño, TP=Tabloncillo-Perla, V=Vandeño. Accesiones con dos o más componentes raciales: BOPE=Bofo-Reventador; OTN=Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ=Tabloncillo-Jala; TPJ=Tabloncillo Perla-Jala; TTN=Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN=Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNRA= Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT=Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y VT=Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).

En las accesiones que contienen dos o más componentes raciales, se puede observar que existen características que pertenecen a una u otra raza y que dominan en mayor grado el fenotipo de los materiales. Estas influyen en la distribución que ocupan en el plano, posicionándolas en lugares cercanos a aquellas con quienes comparten más similitud: las accesiones híbridas de Onaveño-Tuxpeño Norteño en el grupo III cuadrante I (donde existen más accesiones de Onaveño que de Tuxpeño Norteño) son un ejemplo.

#### **2.3.4 Agrupamiento de accesiones**

El método UPGMA permitió reconocer cinco grupos (Figura 35). Detectamos diferencias significativas entre las medias de los grupos formados para todas las variables excepto para Peso/volumen de 100 granos.

En el grupo I se distingue dos materiales, ambos híbridos comerciales (blanco y amarillo). Estas plantas se caracterizan por tener una altura promedio cercana a los 180 cm con 12 hojas por planta, cuentan con las espigas más pequeñas de todos los grupos pero con la mayor cantidad de espigas (19), el mayor número de hileras de la mazorca (14) y el mayor porcentaje del peso de granos de la mazorca, cuentan con el periodo de floración masculina y femenina más corto (79 y 83 días respectivamente), el mayor valor entre la relación peso/volumen de 100 granos y de diámetro/longitud de la mazorca, sus granos son los que tienen el menor espesor y anchura situación reflejada en las variables compuestas de espesor/longitud y anchura/longitud de 10 granos, la longitud de los granos es equiparable al del grupo IV de las tropicales dentadas. Todas las características mencionadas reflejan el interés productivo y comercial de los mejoradores genéticos: plantas con mazorcas de alto rendimientos en grano, con una altura moderada (accesible para la maquinaria agrícola) que tengan ciclos cortos de floración pero que produzcan una gran cantidad de polen que permita una fertilización elevada de la mazorca.

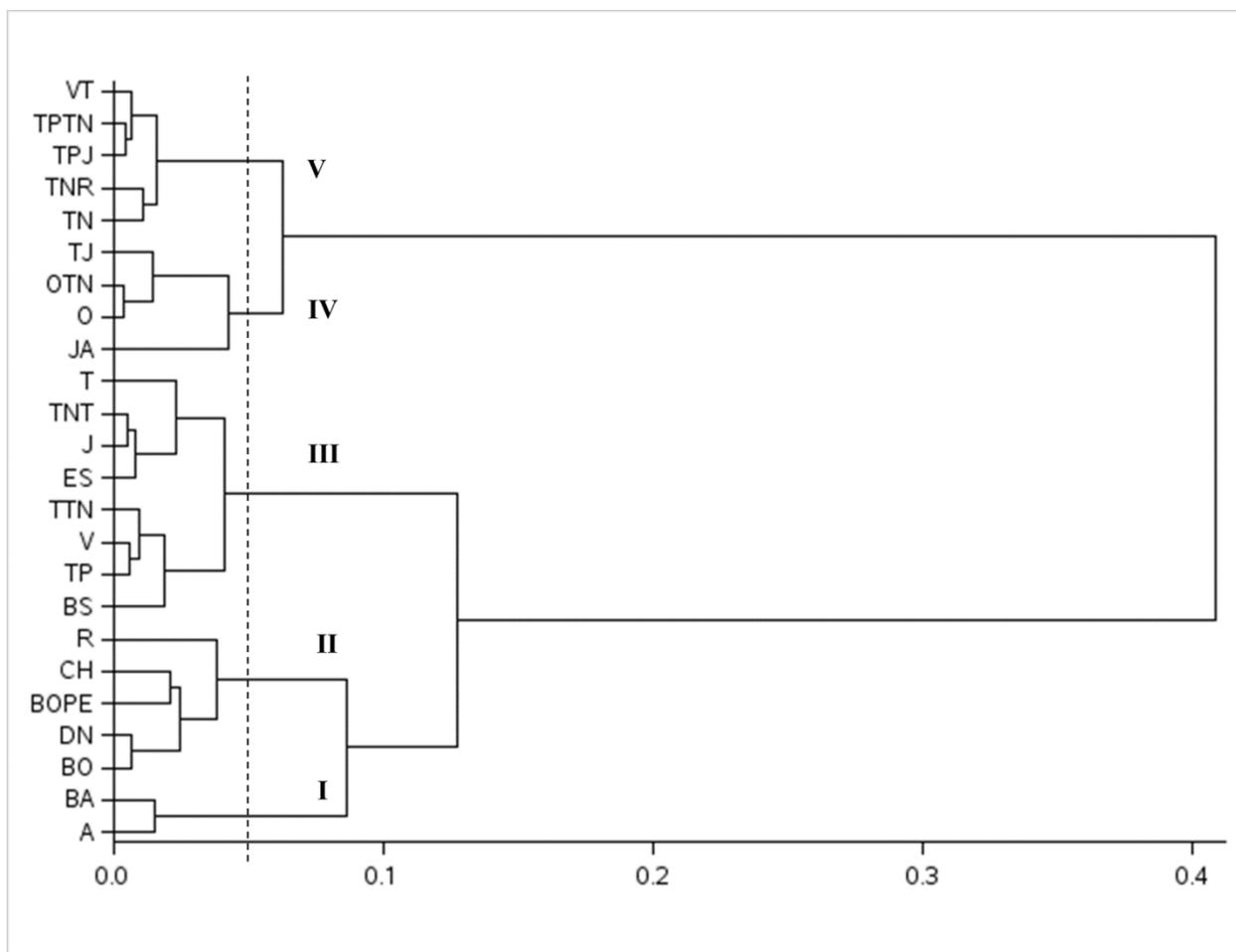


Figura 35. Dendrograma de las razas colectadas, construido mediante UPGMA con distancias euclidianas derivadas de 27 variables morfológicas. A=Amarillo, BA=Blanco, BO=Bofo, BS=Blando de Sonora, CH=Chapalote, DN=Dulcillo del noroeste, ES=Elotero de Sinaloa, JA y J=Jala, O=Onaveño, R=Reventador, T=Tabloncillo, TN=Tuxpeño Norteño, TP=Tabloncillo-Perla, V=Vandeño. Accesiones con dos o más componentes raciales: BOPE=Bofo-Reventador; OTN=Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ=Tabloncillo-Jala; TPJ=Tabloncillo Perla-Jala; TTN=Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN=Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNR= Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT=Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y VT=Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).

Los grupos IV y V contienen accesiones identificadas por Sánchez y colaboradores (2000) en el grupo de Tropicales dentadas (análisis de características morfológicas). Ambos grupos cuentan con plantas que superan los 220 cm de altura total y los 130 cm

para sus mazorcas ambas con 14 hojas por planta con características de la espiga muy similares excepto por el número de ramificaciones primarias de la espiga (15 y 17). En cuanto a características de la mazorca sus pedúnculos son prácticamente iguales, existen diferencia respecto al número de hileras (10 y 12) y a la longitud de las mazorcas donde el grupo IV cuenta con las más grandes de todos los grupos (19.3 cm), en este sentido, el grupo V cuenta con las mazorcas con el mayor diámetro (4.5 cm). El grupo IV tiene los granos con mayor espesor (4.7 mm) y el V con la mayor anchura y longitud de todos los grupos (10.4 y 11.3 mm respectivamente). Ambos grupos contienen los granos más pesados y con mayor volumen de todos los grupos y los periodos de días a floración más largos.

Durante el muestreo se colectaron accesiones pertenecientes a la raza Jala (J y JA), ambas aparecen en el grupo IV en el análisis de CP a diferencia del dendrograma (grupos III y IV). Esto se puede explicar analizando el origen de dichas poblaciones; mientras que unas accesiones pertenecen a poblaciones establecidas durante décadas en Sinaloa (J), las otras pertenecen a una población proveniente de Jala Nayarit introducida a Sinaloa por un agricultor hace no más de 5 años (JA), obtenidas a partir de tres mazorcas como consecuencia de una visita a una feria de maíz en Jala, Nayarit. Las medias de las alturas para los grupos que contienen ambos casos coinciden con lo observado en campo, aquellas poblaciones establecidas en Sinaloa durante más tiempo cuentan con un promedio de altura menor a aquellas que fueron introducidas poco tiempo atrás (211 vs 228 cm respectivamente). En el grupo III se encuentran aquellas accesiones que junto al II tienen el pedúnculo de la espiga más largo 23 cm en promedio y; las espigas, mazorcas y anchura de grano más grandes junto con el IV.

En el grupo II se encuentran razas indígenas antiguas, prehistóricas mestizas de acuerdo con la clasificación propuesta por Wellhausen y colaboradores. (1951). Este grupo contiene accesiones identificadas por Sánchez y colaboradores (2000) dentro del grupo Chapalote, así como Arteaga y colaboradores (2016) con una ligera diferencia, aparece la raza Bofo y no Elotero de Sinaloa. Ruiz y colaboradores (2011) ubican la raza Bofo-cercana al grupo de Chapalote igual que Perales y colaboradores (2014), sin embargo, ambos trabajos son producto del análisis de variables agroclimáticas, ecológicas y/o biogeográficas por lo que la posición de la raza Bofo y Elotero de Sinaloa en nuestro estudio deben considerarse con precaución. En promedio, este conjunto de

accesiones tiene la longitud del tramo ramificado de la espiga más corto de todos los grupos (11.5 cm) y como consecuencia el número de ramificaciones primarias de la espiga menor. Tienen en promedio 10 hileras de granos por mazorca, el diámetro de mazorca más pequeño (3.48 cm) así como el del olote (2.1 cm) por lo tanto sucede lo mismo con la relación diámetro/longitud de mazorca. Estas accesiones cuentan con los granos de menor longitud (9.7 mm) y de menor peso.

## **CAPÍTULO 4.**

### **4.1 CONCLUSIONES**

Doce razas de maíz nativo fueron identificadas: Bofo, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa, Jala, Onaveño, Reventador, Tabloncillo, Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perla, Vandeño y sus hibridaciones Bofo-Reventador, Onaveño-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo-Jala, Tabloncillo Perla-Jala, Tabloncillo-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño, Tuxpeño Norteño-Ratón, Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y Vandeño-Tabloncillo), contenidas en cinco grandes grupos raciales en el estado de Sinaloa. Existen poblaciones híbridas que contienen características fenotípicas compartidas con una u otra raza progenitora, algunas de ellas ejercen mayor influencia en la caracterización. La variabilidad observada se debe a las características fenotípicas de los materiales utilizados determinadas por su genotipo, donde el número de hojas por planta, el diámetro de la mazorca, la longitud de la mazorca, el espesor y anchura de grano, la relación anchura/longitud de grano, la floración masculina y femenina son las variables que aportan mayor información.

## CAÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Anderson E, Cutler HC (1942) Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69-88.
- Aragón-Cuevas F, Castro FH, Dillanes N, Ortega JF, Hernández JM, Paredes E, Montes S, Muruaga JS, Taba S (2002) Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de la "milpa" en Oaxaca, México. In: *Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales*. J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. pp: 124-130.
- Arteaga CM, Moreno-Letelier A, Mastretta-Yanes A, Vázquez-Lobo A, Breña-Ochoa A, Moreno-Estrada A, Eguiarte L, Piñero D (2016) Genomic variation in recently collected maize landraces from Mexico. *Genomics Data*. 7: 38-45.
- Caldu-Primo JL, Mastretta-Yanes A, Wegier A and Piñero D (2017) Finding a Needle in a Haystack: Distinguishing Mexican Maize Landraces Using a Small Number of SNPs. *Frontiers in Genetics*. 8:45
- Castillo GF (1993) La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia, Revista de la Academia de la Investigación Científica, México*. Núm. Especial: 69-70.
- Cervantes ST, Goodman MM, Casas DE, Rawlings JO (1978) Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of Mexican races of maize. *Genetics* 90: 339-348.
- Cervantes A, Castillo C, Carapia R, Andrade R, Núñez V, Villegas T, Perdomo R, Suárez R, López S (2016) *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(8):1919-1931.
- Chávez E (1913) Cultivo del maíz. *Secretaría de Fomento, Dirección General de Agricultura, Est. Agr. Cent., México*. Boletín No. 74. 815p.
- Doebly JF (2004) The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38:37-59.
- García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 5a ed. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 252 p.
- Gil MA, Muñoz O (1994) Variabilidad en la floración en colecciones de maíz de la Sierra Tarasca. In: *Memorias del XV Congreso Nacional de Fitogenética*. Ramírez V., P.,

- F. Zavala G., N. Treviño H., E. Cárdenas C., M. Martínez R. *Sociedad Mexicana de Fitogenética. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp: 25-30.*
- González C, Palacios RA, Espinoza B, Bedoya S (2013) Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana. 36 (Supl. 3-A): 329-338.*
- Gordón-Mendoza R, Franco-Barrera J, Camargo-Buitrago I (2010) Adaptabilidad y Estabilidad de 20 variedades de Maíz, Panamá. *Agronomía Mesoamericana. 21(1):11-20.*
- Gordón-Mendoza R, Camargo-Buitrago I (2015) Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana. 26(1):55-63.*
- Hellin J, Bellon MR, Hearne SJ (2014) Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement. 28: 484-501.*
- Hernández XE, Alanis F (1970) Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia 5:3-30.*
- Herrera C, Castillo G, Sánchez GR, Ortega P, Goodman MM (2000) Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana 23: 335-354.*
- Herrera-Saucedo V, Santacruz-Varela A, Rocandio-Rodríguez M, Córdova-Téllez L, Moreno-Ramírez YR, Hernández-Galeno CA (2019). Diversidad genética de maíces nativos del norte de México analizada mediante microsatélites. *Agrociencia 53: 535-548.*
- IBPGR (1991). Descriptors for Maize. *International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 88 p.*
- INIA (1981) Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Veinte años de investigación en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte (CIAPAN). Culiacán, Sinaloa. 28 p.
- Kato Y, Mapes SL, Mera OJ, Serratos H, y Bye B (2009) Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. *Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.*

- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman M, Sánchez J, Buckler E, Doebley J (2002) A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- Muñoz O (2003) Centli Maíz. *Colégio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco, Estado de México*. 211 p.
- Ortega PR (1985) Recursos genéticos para el mejoramiento del maíz en México. Primera parte: Análisis General. *Germen, Boletín de intercambio técnico y científico de la SOMEFI* 3:19-36.
- Ortega PR, Sánchez G, Castillo F, Hernández C (1991) Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avance en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Ortega PR, Palomino H, Castillo F, González H, Livera M (eds.). *SOMEFI. Chapingo, México*. pp: 161-185.
- Ortega PR (2003) La diversidad del maíz en México. *In: Sin Maíz No Hay País*. Esteva G, Marielle G (coords). *Culturas Populares de México. México, D. F.* pp: 123-154.
- Palacios VO, Ortega C, Guerrero H, Hernández C, Peinado F (2008) Componente 1: Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sinaloa. *In: Proyecto FZ002. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. CONABIO-INIFAP. México, D.F.* 100 p.
- Pejic I, Ajmone M, Morgante M, Kozumplick, Castiglioni P, Taramino G, Motto M (1998) Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs and AFLPs. *Theoretical and Applied Genetics* 97: 1248-1255.
- Perales H, Golicher D (2014) Mapping the diversity of maize races in México. *PLoS ONE* 9(12): e114657. Doi:10.1371/Journal.pone.0114657.
- Pineda-Hidalgo K, Méndez-Marroquín KP, Vega-Alvarez E, Chávez-Ontiveros J, Sánchez-Peña , Garzón-Tiznado JA, Vega-García MO, López-Valenzuela JA (2013) Microsatellite-based genetic diversity among accessions of maize landraces from Sinaloa in Mexico. *Hereditas* 150: 53-59.
- Pla LE (1986) Análisis Multivariado: Métodos de Componentes Principales. *Organización de Estados Americanos. Washington, D.C.* 94 p.
- Pressoir G, Berthaud J (2004) Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92: 95-101

- Rawlings OL (1998) *Applied Regression Analysis: A Research Tool. Wadsworth and Brooks Cole. Advanced Books and Software. Pacific Grove, California.* 553 p.
- Rocandio-Rodríguez M, Santacruz-Varela A, Córdova-Téllez L, López-Sánchez H, Castillo-González F, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Ortega-Paczka R (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fisiotecnia Mexicana.* 37: 351-361.
- Ruiz C, Durán P, Sánchez G, Ron P, González E, Holland G, Medina G, Holland B (2008) Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Science* 48: 1502-1512.
- Ruiz JA, Ramirez D, Hernandez C, Aragón C, Sánchez G, Ortega C, Medina G, Ramírez O (2011) Las razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas. (Pub. Esp. Num. 2):* 365-379.
- Ruiz C, Hernández C, Sánchez G, Ortega C, Ramírez O, Guerrero H, Aragón C, Vidal M, Cruz L (2013) Ecología y Distribución Actual y Potencial de Razas Mexicanas de Maíz. *Libro Técnico Núm. 5. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco.* 149 p.
- Sánchez G, Goodman MM (1992) Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany.* 46: 72-85.
- Sánchez G, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- Sánchez G. (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. Manuscrito.
- Santacruz-Varela A, Widrlechner M, Ziegler K, Salvador R, Millard M, Betting P (2004) Phylogenetic relationships among North American popcorns and their evolutionary links to Mexican and South American popcorns. *Crop Science.* 44: 1456-1467.
- SAS (2002) *SAS/STAT User's Guide*, Version 9. Cary, N.C., USA. 4424 p
- SIAP (2014) Producción agrícola. SAGARPA. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.* <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (Consulta: julio 2014).

- Turrent A, Serratos JA (2004) Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. *In: Maize and Biodiversity: The effects of Transgenic Maize in Mexico. Commission on Environmental Cooperation of North America.* 55 p.  
<http://www.cec.org/maize/resources/chapters.cfm?varlan=english>  
(Consulta:Agosto 2016).
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández XE (1951) Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. *Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaria de Agricultura y Ganadería. México, D. F.* 237 p.