

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Ensayo de Rendimiento y Comportamiento Agronómico de 26 Cruzas  $F_1$  que  
Contienen Genes de Poliembriónía en Maíz (*Zea mays L.*)

Por:

**EDGAR LEVI GONZÁLEZ VERDUGO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Ensayo de Rendimiento y Comportamiento Agronómico de 26Cruzas F<sub>1</sub> que  
Contienen Genes dePoliembrionía en Maíz (*Zea mays*L.)

Por:

**EDGAR LEVI GONZÁLEZ VERDUGO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Espinoza Velázquez  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_

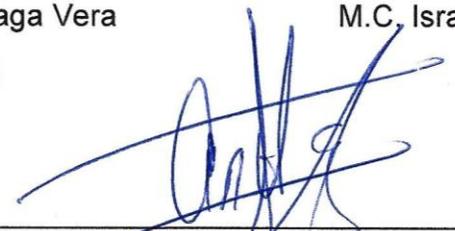
Ing. Gustavo Alfonso Burdaga Vera

Coasesor

  
\_\_\_\_\_

M.C. Israel Maceda Sánchez

Coasesor

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

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por acompañarme y darme la fortaleza, la salud, por la oportunidad de culminar mis estudios y por guiarme en el camino del bien.

A mi querida **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios, así también por haberme preparado en el ámbito personal y profesional por inculcarme en el camino de las bien gracias y dejarme ser parte de ti.

A los maestros por compartirme sus conocimientos en todo momento y por participar durante mi formación académica.

Al **Dr. José Espinoza Velázquez** por brindarme su confianza y apoyo para elaborar este trabajo, también por las asesorías, conocimientos y comprensión, consejos durante la formación de mi carrera; así como su amistado incondicional que siempre me ha mostrado dentro y fuera de la universidad; reconociendo su capacidad profesional y reiterando mis más sinceras gracias.

Gracias a mi “Alma Terra Mater”

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con gran amor, respeto, gratitud y admiración.

**A mis Queridos Padres:**

**Sr. Pedro González Moreno      Y**

**Sra. Francisca Verdugo Roblero**

Por haberme regalado algo muy valioso la vida también por brindarme incondicional su apoyo necesario en mi formación y desarrollo profesional que con tanto sacrificio hicieron posible mí sueño realidad y la de ellos en convertirme en un profesionalista y hacer de mí un hombre de bien. Gracias por su apoyo y su confianza sobre todo por el gran amor y cariño que me han regalado los amos.

**A mi Esposa e Hija:**

Dedico este trabajo a mi esposa **Cándida Emilia Vázquez Morales** y en especial a mi hija **Montserrat González Vázquez** por mí mayo motivación de seguir adelante en esta vida. Gracias por apoyarme en los momentos difíciles y darme amor, la felicidad que todo ser humano necesita para seguir adelante en este mundo lleno de esperanza.

**A mis Hermanos:**

**Edilma, Martin, Marta, Lourdes, Pedro, Josué, Maynor, Yandra, Carmina**, por su confianza y amistad y comprensión hicieron posible la culminación de mis estudios y tener un triunfo más de la familia, Por su apoyo incondicional que me han brindado durante el transcurso de mis estudios.

**A mis Sobrinos:**

**Daniela, litzy, Dorian, Jonatán, Fernando, Yailin, Guadalupe, William** ojalá y sea un ejemplo para ellos y les sirva como estímulo para su formación personal.

**A mi suegra:**

**Sra. Flor Morales Días** por su apoyo moral que me brindo cuando lo necesitaba y darme palabras de aliento para seguir adelante.

**A mis Amigos y Parientes** que conocí en los diferentes niveles de mi formación académica, profesional por su apoyo y amistad que me brindaron.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>I.INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.2. Objetivo general.....	4
1.3. Objetivos específicos.....	4
1.4.Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Origen del maíz.....	5
2.2. Descripción de la planta de maíz.....	6
2.3. Producción de maíz.....	7
2.3.1. Importancia del maíz para grano.....	8
2.4. Rendimiento y sus componentes.....	9
2.4. Semillas mejoradas de maíz.....	11
2.5. Hibridación.....	12
2.5.1. Heterosis o vigor híbrido.....	12
2.5.2. Híbridos.....	13
2.5.3. Línea pura.....	13
2.5.4. Híbrido simple.....	14
2.5.5. Híbrido doble.....	15
2.5.6. Híbrido triple.....	15
2.6. Poliembrionía.....	16
2.6.1. Poliembrionía en Maíz.....	16
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>

3.1. Localización geográfica del sitio del ensayo .....	19
3.2. Material genético.....	19
3.3. Formación de grupos F <sub>1</sub> .....	20
3.4. Manejo Agronómico .....	21
3.5. Evaluación de los grupos F <sub>1</sub> .....	22
3.6. Variables agronómicas .....	23
3.6.1. Días a floración masculina (DFM).....	23
3.6.2. Días floración femenina (DFF).....	23
3.6.3. Altura de planta (AP) .....	23
3.6.4. Altura de mazorca (AM).....	23
3.6.5. Índice de inserción de mazorca (IIM).....	24
3.6.6. Acame de raíz (AR) .....	24
3.6.7. Acame de tallo (AT).....	24
3.7. Mala cobertura (MCOB).....	24
3.7.1. <i>Fusarium</i> en la mazorca (FMA) .....	24
3.8. Prolificidad (PROL).....	24
3.8.1. Humedad de grano (HUM) .....	24
3.8.3. Rendimiento (REND) .....	25
3.8. Diseño y parcela experimental.....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
Características agronómicas destacables de los genotipos .....	32
Días a Floración Masculina (DFM).....	32
Días a Floración Femenina (DFF) .....	32
Altura de Planta (AP) .....	32
Altura de la Mazorca (AM) .....	33
Índice de Inserción de la Mazorca (IIM) .....	33
Acame de Raíz (ACR) .....	33
Acame de Tallo (ACT) .....	33
Mala Cobertura (MC) .....	34
<i>Fusarium</i> en la Mazorca (FMA) .....	34
Prolificidad (PROL) .....	34

Rendimiento (REND) .....	34
Correlaciones fenotípicas .....	35
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1.	Material genético de maíz, tomado como base para la formación de los grupos $F_1$ .....	20
Cuadro 3.2.	Diferentes combinaciones entre las dos poblaciones poliembriónicas (NAP y BAP) y los materiales de condición normal.....	22
Cuadro 4.1.	Cuadrados medios de cinco variables para características agronómicas y rendimiento en 26 cruzas $F_1$ de maíz evaluados en Rio Bravo Tamaulipas, 2017.....	27
Cuadro 4.2.	Cuadrados medios de seis variables para características agronómicas y rendimiento en 27 cruzas $F_1$ de maíz en Rio Bravo Tamaulipas, 2017.....	28
Cuadro 4.3a.	Prueba de medias para las variables floración y porte de planta ordenadas en relación al rendimiento de grano.....	29
Cuadro 4.3b.	Prueba de medias para las variables de prolificidad y sanidad, ordenadas en relación al rendimiento de grano.....	30
Cuadro 4.4.	Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas.....	36

## RESUMEN

La gran importancia que tiene el cultivo de maíz a nivel mundial ha requerido de la implementación de programas de mejoramiento para incrementar el rendimiento de grano por unidad de superficie. Una de las líneas de acción es la utilización de mutantes de alto impacto fenotípico para potenciar la capacidad productiva de las variedades de maíz. Una mutación natural promisorio es la denominada poliembrionía (PEm) la cual tiene efectos múltiples, ya que dicta la capacidad de generar dos o más tallos por semilla germinada, e incrementar los contenidos de aceites y lisina en grano. Por lo cual es de gran interés estudiar el comportamiento agronómico de genotipos poliembriónicos en hibridación con diversas fuentes de germoplasma de maíz común, no-poliembriónico (normal). El presente trabajo se llevó a cabo en el campo experimental (INIFAP), en Río Bravo, Tamaulipas, durante el ciclo agrícola otoño-invierno, 2017. El objetivo fue determinar el comportamiento productivo de 26 cruza  $F_1$ , comparadas con rendimiento de grano de maíz de dos híbridos uno comercial de Pioneer, y otro experimental, generado en UAAAN. Los resultados fueron evaluados bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, Inc; SAS.B. 2009). Las variables evaluadas fueron: días a floración masculina (DFM), días floración femenina (DFF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), índice de inserción de mazorca (IIM), Prolificidad (PROL) acame de raíz (ACR), acame de tallo (ACT), mala cobertura (MC), fusarium en la mazorca (FMA) y rendimiento de grano (REND). De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para AP y PROL, y altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ), para DFM, ACR, FUSMA. La cruza radial que presentó mayor rendimiento de grano, resultante de la cruza entre la población de porte Normal de Alta Poliembriónia (NAP) y la línea endocriada denominada AN-Tep-3, fue la identificada como CH (NAP x Tep-3) la cual presentó un rendimiento de  $14.4 \text{ t ha}^{-1}$ ; mientras que la cruza varietal con NAP, que presentó alto rendimiento fue la Q (NAP x DK-4060) con  $13 \text{ t ha}^{-1}$ . En las cruza con la población de porte Bajo con Alta Poliembriónia (BAP), sobresale la cruza radial identificada como genotipo Y (BAP x CML-334) que obtuvo un rendimiento de  $13.4 \text{ t ha}^{-1}$ . De las cruza varietales con BAP

destaca el genotipo T (DK-4060 x BAP) que presentó un rendimiento de 14.9 t ha<sup>-1</sup>. La comparación entre las cruzas F<sub>1</sub> y los testigos se observó que las cruzas CH y T fueron nominalmente superiores a los dos testigos de maíz normal W1 (30P49) y W2 (Experimental HCM, trilineal) los cuales tuvieron rendimientos de 14.3 y 11.3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La prolificidad afectó positivamente el rendimiento obteniéndose una correlación positiva y altamente significativa entre las dos variables ( $r= 0.691^{**}$ ). Los genotipos que presentaron características agronómicas deseables fueron las cruzas identificadas como: C, la cual tuvo valores bajos en AP, AM, bajo porcentaje de IIM, ACT y ACR y alta prolificidad PROL. La cruz Q fue la que presentó mejor sanidad con bajos porcentajes de ACR, ACT y FUSMA. El genotipo Y además de su buen rendimiento, tuvo buena cobertura. Los resultados obtenidos en este ambiente de prueba mostraron evidencia del potencial agronómico en cruzamientos entre genotipos de maíces poliembriónicos y maíz común.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., Poblaciones poliembriónicas, cruzas radiales y varietales, comportamiento agronómico, rendimiento de grano.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes para la alimentación humana y para uso industrial, y es uno de los más investigados en todo el mundo. La producción mundial del grano ha ido en aumento por décadas, como ejemplo, en 2006 se reportó una producción global de 708 millones de toneladas (M de t), y en 2016, el reporte señaló de una producción mundial de maíz de 1060 M de t, lo cual significa un incremento anual en el periodo de 32 M de t, a través de los años el potencial productivo ha ido aumentando. Sin embargo, en varios países, como México, la producción global anual presenta incrementos mínimos, y el rendimiento medio por hectárea está todavía muy por debajo del promedio mundial. Con datos de FIRA (2015), la producción anual de maíz grano en el periodo de 2008 a 2015 presenta fluctuaciones que van de 24 a 25 M de t.

Relativo a los casos de niveles bajos de producción regional o nacional, y / o bajos rendimientos por hectárea, existen diversas causas; dos de ellas pueden ser referidas como sigue, 1) la utilización de materiales (variedades) criollos que por lo general presentan bajos rendimientos por unidad de superficie, y 2) el manejo agronómico limitado aplicado al cultivo, principalmente por dependencia de temporales o suministro insuficiente de agua para riego, y / o la aplicación de bajos insumos de producción. El rendimiento de grano en el cultivo de maíz es uno de los problemas que aquejan la producción y tiene repercusiones en la alimentación y la exportación de granos básicos. En la actualidad, la situación en la producción mundial de cereales demanda mayor alternativa en los referentes a genotipo con amplia adaptación a las condiciones agroecológicas de las diferentes regiones del país y con un alto nivel de producción (Ivan Cruz, 2012).

Tomando en cuenta el reporte de la producción mundial de maíz en 2004, el cual es indicado como de 614 M de t, las estimaciones y proyecciones de producción de maíz por la FAO (2005) señala que la demanda de este cereal en el mundo para el año de 2020 se incrementará en 50 %, hasta alcanzar las 837 M de t. De acuerdo a los datos actuales, estas predicciones quedaron cortas, ya que desde 2014 la producción de maíz se ubica en cifras superiores a 1000 M de t, y se ha determinado que la tasa de crecimiento en la producción de maíz se ubica entre 3 y 4 % anual. (FIRA, 2016).

El maíz es uno de los cultivos con mayor demanda a nivel mundial y superficie sembrada por ciclos de producción incluyendo también como importantes al trigo y el arroz. Como uno de los alimentos principales a nivel mundial, es un cultivo prácticamente cosmopolita, producido en la mayoría de los países, en todos los continentes del planeta. Y en ello, los principales países productores de este grano de manera indiscutible son: Estados Unidos (337.5 M de t) y China (224.9 M de t), seguidos por países como Brasil (83.0), India (42.3), Argentina (40.0), Ucrania (39.2), y México (26.4). Toda esta información fue la reportada para 2014, según la fuente localizable en: <https://www.worldatlas.com/articles/world-leaders-in-corn-maize-production-by-country.html>

En México, el maíz es el cultivo más importante, sea por la superficie dedicada a su cultivo, o por el valor de la producción, o por la ocupación que provee, ya que involucra al 20% de la población económicamente activa. Dos grandes sectores de productores agrícolas llevan a cabo la producción de maíz en el país, 1) el que corresponde al sector que utiliza insumos mínimos, enclavados en tierras de temporal, que depende de la precipitación pluvial, y representa alrededor de 80 % de los 7.5 a 8 millones de hectáreas dedicadas al cultivo, y 2) el sector de agricultores que disponen de tierras con facilidades de irrigación, y el uso de insumos de producción como semillas mejoradas, maquinaria agrícola, sistema de riego, fertilizantes, agroquímicos para el combate de plagas y malezas, y acceso a créditos bancarios para apoyar los procesos de producción. El año 2015, el rendimiento nacional promedio para la modalidad (1) fue de 2.3 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en la modalidad (2) fue de 8.0 t ha<sup>-1</sup>. La producción

nacional, en números redondeados, para (1) fue de 13 M de t, y la de la modalidad (2) fue de 12 M de t. (FIRA, 2016).

Considerando que una componente que puede influir positivamente para incrementar rendimientos por unidad de superficie es el uso de materiales mejorados (sean variedades o híbridos) apropiados para la vocación agrícola de los terrenos, condiciones climáticas, y medios de producción, por lo tanto, la actividad de los fitomejoradores toma su lugar. En esto, el principal objetivo del mejoramiento genético es generar variedades e híbridos que tengan un alto potencial de rendimiento y estabilidad, características agronómicas deseables basadas en el interés del agricultor, además de producir semillas de alta calidad con respecto a sus componentes genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios relacionados prácticamente con los apropiados manejos agrícolas del cultivo (Mora, 2011). También, es posible y de utilidad el uso de ciertos mutantes en maíz que puedan auxiliar en los incrementos de producción, y en el aumento de la calidad nutrimental del grano. Uno de estos mutantes es la poliembriónía (PEm) en las poblaciones de maíz, fenómeno que tiene el efecto de producir dos o más tallos por semilla germinada, propiciando una mayor cantidad de materia seca por semilla, además de la probada influencia de este mutante en el incremento del contenido de aceites y lisina en los granos de maíz (Espinoza *et al.*, 1998; Rebolloza *et al.*, 2011; González *et al.*, 2011; Alcalá *et al.*, 2018).

En México, el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN) ha desarrollado dos poblaciones de maíz PEm que concentran la Poliembriónía en frecuencia promedio de 60 %, las cuales son denominadas UA-IMM-BAP (población de maíz de porte enana y alta frecuencia poliembriónica), y UA-IMM-NAP (población de porte normal y alta frecuencia poliembriónica), y que son utilizadas como fuente donadora de la Poliembriónía (PEm) y son la base para generar nuevas variantes germoplásmicas de maíz al cruzarlas con diversas fuentes de maíz común, generar progenies híbridas y manipularlas en ciclos subsecuentes para derivar grupos segregantes de la poliembriónía, y evaluarlas en sus capacidades agronómicas (Díaz, 2013; Domínguez, 2014; Alcalá *et al.*, 2018; Maceda, 2016).

Estas características favorables de la poliembrionía justifican el uso de este fenómeno en la integración de poblaciones de maíz especializadas en calidad nutricional (más aceite y lisina que el maíz común) y en producción de forraje, al acumular mayor contenido de materia seca por planta y disminuir el número de semilla por unidad de superficie (Espinoza *et al.* 1998; Valdez, 2005; Espinoza *et al.*, 2008; González *et al.*, 2011; Pérez, 2013).

## **1.2. Objetivo general**

Determinar el comportamiento productivo de 26 cruza  $F_1$ , híbridos resultantes de cruzamientos de dos poblaciones de maíz de alta frecuencia de Poliembrionía con una serie de fuentes germoplásmicas de maíz común, sin-poliembrionía.

## **1.3. Objetivos específicos**

1. Identificar la capacidad productiva de las cruza  $F_1$  experimentales en base a su rendimiento de grano y característica agronómicas deseables.
2. Seleccionar las mejores cruza  $F_1$  que logren superar al promedio de los testigos.

## **1.4. Hipótesis**

Del conjunto de las 26 cruza  $F_1$ , al menos uno de estos presentará un comportamiento agronómico y rendimiento igual o mejor a los testigos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del maíz

Existen varias teorías sobre el ancestro del maíz, pero la más aceptada por varios investigadores es la teoría del teocintle, ya que muestran una similitud entre ambos, tales como, por ejemplo, los cromosomas paquiténicos son similares, ya que tienen la misma longitud, la misma relación de brazos, segmentos cromométricos semejantes, las mismas posiciones de nudos cromosómicos y variación en tamaño de estas estructuras heterocromatinas, etc. Estos hechos hacen improbable que los genomas tan similares hayan sido el producto de origen y evolución diferentes (Agrobiodiversidad, 2009).

Mesoamérica es considerado uno de los sitios de domesticación de este cultivo, ya que alrededor del cual crecieron diferentes sociedades, en donde se han encontrado fósiles de maíz en cavernas, principalmente en los estados de Tamaulipas, Chihuahua, Chiapas y Puebla, específicamente Tehuacán. Las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica, en donde tuvo lugar el centro de origen secundario, hace más de 5 mil años. De México se dispersó hacia el norte y del continente, y posteriormente hacia Europa y Asia.

Son cuatro factores principales que han incidido en la evolución del maíz, las cruces interraciales, inter-específicas, las mutaciones; el impulso genético; y la selección natural y artificial.

De acuerdo con la publicación de Kato *et al.* (2009) que trata sobre el origen y diversificación del maíz – una revisión analítica, se plantea que la especie maíz se originó en Mesoamérica, la cual “es una región que comprende una línea irregular desde el estado de Nayarit a la porción media de Veracruz en México, y hasta Nicaragua”. Los autores también plantean que el maíz actual “es la forma cultivada del

genero *Zea* y los investigadores involucrados en su estudio han reconocido que el teocintle es su ancestro”, refiriéndose a un grupo grande de investigadores que han trabajado sostenidamente sobre el origen y domesticación del maíz desde los años 1930´s hasta nuestros días.

En la publicación sobre “el Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y producción” Paliwal *et al.* (2001) señalan que “muchos investigadores creen que el maíz se habría originado en México donde el maíz y el teosinte han coexistido desde la antigüedad y donde ambas especies presentan una diversidad muy amplia (Wheatherwax, 1955; Iltis, 1983; Galinat, 1988; Wilkes, 1989). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas en zonas arqueológicas apoyan seriamente la posición de que el maíz se había originado en México”. Los casos de polen fósil de maíz fueron encontrados en excavaciones profundas (70 a 80 m) en el centro histórico de Ciudad de México por Barghoorn, 1954, (citados por Sodi, 2006), y las mazorcas de maíz fueron encontradas por MacNeish, 1967, citado también por Sodi, 2006) en cuevas localizadas en la región de Tehuacán.

## **2.2. Descripción de la planta de maíz**

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie herbácea anual, pertenece a la familia poaceae (gramínea), de condición reproductiva tipificada como monoica, de polinización cruzada. El número de mazorcas por lo general es una por tallo que es donde se desarrolla el grano (fruto cariósipide), es un número variable de pares de hileras. Los granos de maíz pueden ser de color blanco, amarillo, azul-negro, rojo o jaspeado. Las hojas son larga y extensas, con terminación en forma de lanza, o lanceoladas, de extremos cortantes y vellosidades en la parte superior. Sus raíces son fasciculadas, o sea, todas presentan más o menos el mismo grosor, y su misión es soportar un perfecto anclaje a la planta, así como también; absorber agua y nutrientes minerales (Alcalá, 2016).

En la obra de Paliwal *et al.* (2001) sobre maíz en los trópicos, una generalidad sobre la morfología del maíz señala que “La planta de maíz tropical es alta, con abundantes hojas y un sistema radical fibroso, normalmente con un solo tallo que tiene hasta 30

hojas. Algunas veces se desarrollan una o dos yemas laterales en la axila de las hojas en la mitad superior de la planta; estas terminan en una inflorescencia femenina la cual se desarrolla en una mazorca cubierta por hojas que la envuelven; esta es la parte de la planta que almacena reservas. La parte superior de la planta termina en una inflorescencia masculina o panoja; esta tiene una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales con flores masculinas, todas las que producen abundantes granos de polen”.

### **2.3. Producción de maíz**

En la actualidad el maíz es uno de los tres cereales con mayor importancia a nivel mundial (además del trigo y arroz) ya sea como alimento o como fuente de un gran número de productos industriales y es considerado el cultivo agrícola más diseminado a nivel global por la diversidad de los ambientes bajo los cuales se desarrolla con éxito productivo (FAO, 2015).

Los principales países productores de maíz del año 2016 al 2017 fueron: Estados Unidos que ocupó el primer lugar, China el segundo, Brasil el tercero, y la Unión Europea en 4° (aquí destaca Francia con un tercio de la producción global europea), presentándose fluctuaciones entre el quinto y séptimo lugar entre Argentina, Ucrania y México (CNPAMM, 2016-2017). El cultivo de maíz en México es uno de los más importantes, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Este grano se produce principalmente en dos ciclos agrícolas: primavera/verano y otoño/invierno, en diferentes condiciones agroclimáticas de humedad, temporal y riego. Se siembra en 7.4 a 8 millones de hectáreas, esto representa aproximadamente 27% de la superficie agrícola nacional (SIAP, 2015), de las cuales, el 82.8% maneja una tecnología de temporal, lo que implica áreas muy susceptibles a condiciones climáticas adversas, con posibilidades de afectación en los niveles de producción.

En el 2014 el 68% de la producción de maíz bajo riego en México se generó en los estados de Sinaloa, Chihuahua, Guanajuato, y Michoacán, los cuales tuvieron un rendimiento promedio de 9.5 t ha<sup>1</sup>. En siembra de temporal, el 52.7% de la producción

presentaron los estados de Jalisco, México, Veracruz, y Guerrero con un rendimiento general promedio de 3.7 t ha<sup>1</sup>, aunque el promedio para Jalisco solo es de 6.3 t ha. La superficie nacional sembrada bajo riego en ese año fue de 1.27 millones de hectáreas, y de 6.16 millones de hectáreas bajo el régimen de temporal. A pesar de esto el país no es autosuficiente ya que fue necesario importar 10.3 millones de toneladas, principalmente de maíz amarillo, destinado a la producción de alimentos balanceados para animales pecuarios (SIAP, 2016).

En los últimos 60 años (a partir de los años 1950's) los incrementos en el rendimiento se han logrado principalmente gracias al Fitomejoramiento (60%) y a la utilización de mejores tecnologías (40%) en el cual se incluyen, la aplicación de mayores dosis de fertilización, eficiente control de malezas, aumento en densidad de población y manejo de híbridos superiores (Tollenaar y Lee, 2011).

La producción de grano es una de las razones principales del cultivo de maíz, todas las partes de la planta hoja, tallos, y elotes son utilizados para diversos fines (Watson, 1988; Fussell, 1992). Paliwal *et al.* (2001) mencionan que el maíz puede ser usado en distintas formas más que cualquier otro cereal; las formas principales en las que se utilizan son como alimentación humana, ya sea doméstico o industrial; así también, para la alimentación de animales y fermentado para varios productos industriales.

### **2.3.1. Importancia del maíz para grano**

El cultivo del maíz destinada para grano, es por tradición la base para la alimentación de la sociedad mexicana, y su producción se lleva acabo prácticamente en todas las entidades federativas de la república, bajo diferentes formas y procedimientos productivos y con diferentes grados de tecnificación y utilización de una amplia gama de variedad de semilla, que se reflejan en las características del producto.

En México la producción de maíz es destina principalmente para el consumo humano y en menor medida, aunque con volúmenes crecientes, para el consumo pecuario e industrial. El consumo humano del grano se observan dos variantes: 1) el consumo propiamente de los productores y sus familias (autoconsumo); y 2) el consumo cuya

premisa es su industrialización que permite la generación de productos elaborados. En el proceso industrial del maíz se genera un abanico de productos que van desde la tortilla hasta los cereales para el desayuno, aceites comestibles, frituras, almidones y fructosa, etc. (Ruiz, 2010).

En estudios realizados durante dos años en maíces bajo riego y fertilización, se pudo observar un incremento en el promedio de producción de grano por hectárea al aumentar la aplicación de nitrógeno; así mismo, se observó un incremento en el contenido de triptófano en el grano. El aumento en la densidad de plantas por unidad de superficie también condujo a altos incrementos en la producción de grano. En forma general se puede decir que el rendimiento de grano se incrementó en forma lineal a medida que se aumentan las densidades, hasta que la competencia por nutrientes, agua y luz produce efectos múltiples que, combinados, causan una drástica reducción de los rendimientos tales como mazorcas más pequeñas, escasa formación de semilla, mazorca mal desarrolladas, mayor acame, sea de raíz o tallo. En campos muy grandes de maíz y en áreas donde no hay viento, incluso el bióxido de carbono puede ser un factor limitante. A medida que la población aumenta, el contenido de proteínas del grano disminuye y también el triptófano, normalmente deficientes en el maíz (Mariani, 1985).

#### **2.4. Rendimiento y sus componentes**

El rendimiento de una planta está determinado por la eficiencia de los procesos metabólicos y fisiológicos que interviene en la captación, transformación, translocación y almacenamiento de energía disponible. Los componentes de rendimiento, aunque sean cuantificados en plantas individuales, influyen sobre los rendimientos de la comunidad de la planta por unidad de superficie. El número de plantas por unidad de un área tendrá efecto en eficiencia de producción por planta (Pérez, 2002).

El rendimiento del maíz es el producto del número de granos producidos por una planta y el peso de los mismos. Se conoce que existen diversos factores ambientales que afectan al número de granos producidos, mientras que el peso individual del grano

depende del potencial de la planta y de la competencia entre plantas y así también de los factores ambientales que inciden sobre la etapa de llenado del grano; uno de ellos es la competencia entre plantas, la cual es el resultado de la densidad de la población y determina la disponibilidad de radiación, nutrientes y humedad (López *et al.*, 2004).

El rendimiento de grano del maíz puede calcularse con el producto del número de granos por unidad de superficie por el peso promedio de grano; el número de granos es el principal componente del rendimiento, ya que el peso del grano ha mostrado ser un componente poco afectado por el ambiente (Andrade *et al.*, 1999; Borrás y Otegui, 2001). Sin embargo (Fisher y Palmer, 1985) mencionan que un componente principal e importante en el rendimiento del maíz es el número de mazorcas por planta.

Uno de los componentes del rendimiento importante es el número de mazorcas por planta. Una planta prolífica es aquella que desarrolla más de una mazorca en el tallo principal, característica deseable para el arquetipo del maíz. Los genotipos prolíficos establecidos en densidades altas han permitido incrementar el rendimiento de grano por unidad de superficie, puesto que muestra mayor tolerancia a la competición entre plantas, y por lo tanto se presenta menor porcentaje de plantas sin mazorca u horras.

El incremento de rendimiento de maíz en respuesta a la disminución de la distancia entre surco y plantas se ha relacionado con un aumento en la producción de biomasa y en la asignación a los órganos de reserva (Bullock *et al.*, 1988), así como a una mayor producción de granos por metro cuadrado (Barbieri *et al.*, 2000).

El número de grano formado en maíz está determinado por el número potencial de ovulo polinizados y la producción de óvulos abortados. El estrés producido por una alta densidad de población o el sombreado artificial durante el periodo crítico de formación de grano, incrementa el porcentaje de óvulos abortados como consecuencia de un inadecuado suministro de foto-asimilados al grano en desarrollo (Reed *et al.*, 1988).

#### **2.4. Semillas mejoradas de maíz**

De acuerdo con Copeland y McDonald (2001), las semillas de variedades mejoradas son una opción para incrementar el rendimiento, y calidad de las cosechas, sirviendo como puente entre el mejoramiento genético y el productor, las cuales, en países en desarrollo permiten alcanzar niveles competitivos en la producción. Para satisfacer la producción de maíz, es necesario la utilización de semilla mejorada de buena calidad, que sea capaz de adaptarse a las condiciones climáticas de cada región, sin embargo, la producción de semilla no satisface las necesidades del país en cantidad y calidad (SNICS, 1998).

Las semillas mejoradas, es el producto de los programas de mejoramiento genético, son un insumo clave de la estrategia alimentaria de un país, el resultado en la utilización de estas es el surgimiento y consolidación de una nueva generación de agricultores capaces de hacer del campo agrícola más rentable.

Por consiguiente, es necesario contar con semillas de alta calidad en donde se involucren los componentes genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios, así como buenas características agronómicas. Es por ello que algunas instituciones privadas y públicas del país a través de los años han generado programas de mejoramiento genético, de tal forma que es aprovechada las bondades de la especie (Mora *et al.*, 2013).

La eficiencia de los programas de mejoramiento está basada en el acopio de una gran variabilidad genética de la especie, el uso de la metodología más adecuada de acuerdo a las características genéticas del material, y a un criterio de selección eficiente. La conjugación de estos tres factores da como resultado la obtención de híbridos, y variedades genéticamente superiores (Castillo, 1994). El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades e híbridos comerciales; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica, y la importancia de estos en la determinación de interés económico es básico para lograr avances rápidos.

## **2.5. Hibridación**

La hibridación es un método de mejoramiento genético que utiliza la polinización cruzada entre progenitores genéticamente distintos con el propósito de obtener recombinación genética. Después de llevarse a cabo la polinización cruzada, se cultivan generaciones segregantes, se seleccionan líneas puras una vez que se ha alcanzado la homocigosidad. Las líneas seleccionadas se evalúan mediante pruebas de progeñe para identificar la presencia de una combinación de genes deseable (Poehlman y Allen, 2005).

El objetivo de la hibridación es el aprovechamiento de la generación  $F_1$  proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones ( $P_1$  y  $P_2$ ) con cualquier estructura genotípica, las cuales, pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedad sintética o las poblaciones  $F_1$ , misma en el caso de las cruza dobles (Quemé *et al.*, 1991).

### **2.5.1. Heterosis o vigor híbrido**

En el tratado sobre el maíz, Jugenheimer (1981) menciona que la heterosis es un fenómeno en el cual el cruzamiento de dos variedades produce un híbrido, con características de vigor superiores a las de sus progenitores. El vigor híbrido generalmente se determina para caracteres como tamaño o rendimiento, pero estos son sólo productos finales de los procesos metabólicos, cuyos patrones están en los genes (Poehlman y Allen, 2005).

Poehlman (1979), indicó que los efectos del vigor híbrido se manifiestan en diversas formas. El mayor crecimiento y vigor son con frecuencia considerados como indicaciones de heterosis. Otras características que reflejan este carácter en el maíz, son las mazorcas más grandes, más hileras de grano por mazorca, mayor número de nudos por planta, más peso total por planta o un mayor rendimiento de grano.

El tema de heterosis en maíz, ha sido abordado desde un inicio (Shull, 1908; 1909; e East, 1908; East y Jones, 1919, citados por Crown, 1998) por un número grande de investigadores científicos. Uno de los investigadores mexicanos de trayectoria en el

mejoramiento del maíz fue F. Márquez S., quien en uno de sus artículos más sencillos del tipo divulgación de la ciencia escribió: “La heterosis o vigor híbrido es, entonces, la superioridad del valor genético de una progenie con respecto a sus progenitores.

En el lenguaje del mejoramiento genético, nos referiremos entonces a los progenitores como las líneas, y a la progenie como el híbrido de la primera generación. También agregó que Falconer (1967) demostró que la cantidad de heterosis de las cruzas entre pares aleatorios de líneas es igual a la depresión endogámica de éstas, pero de signo contrario. Esto significa que el vigor híbrido será mayor conforme sus líneas progenitoras tengan mayor endogamia; es decir, que de esta forma la endogamia se aprovecha para generar poblaciones mejores que los progenitores.

### **2.5.2. Híbridos**

Un híbrido es la primera generación de una crusa entre dos progenitores no emparentados. Generalmente, el híbrido obtiene un aumento de tamaño o vigor con respecto a sus progenitores. Todas las líneas endogámicas de maíz son inferiores a las variedades de polinización libre de donde se obtienen, tanto en vigor como en rendimiento, pero al realizar las cruzas entre líneas que no estén emparentadas el resultado son progenies superiores. El uso final de las líneas es la producción de híbridos.

Rimache (2008), indica que el maíz híbrido procede de una semilla obtenida de un cruzamiento controlado de líneas seleccionadas por su alta capacidad productiva. Las semillas resultantes dan origen a plantas que demuestran un gran vigor híbrido, que se traduce en mayor rendimiento por hectárea que pueden ser superiores en 20 a 30% a los visualmente obtenidos con las semillas de variedades comunes.

### **2.5.3. Línea pura**

Las líneas de alta endogamia comúnmente utilizadas en maíz son producto de dos procesos, 1) el clásico, como el señalado por Shull (1908) e East (1908), que es por medio de una serie de autofecundaciones sucesivas y evaluación de las mismas,

comúnmente llevadas hasta seis o siete generaciones, y 2) el método de producción de di-haploides, muy utilizado por las compañías productoras y comercializadoras de semillas para siembra. Esta tecnología es ampliamente utilizada en la actualidad; una fuente que la describe, entre otras, es la publicada por Prasanna *et al.* (2012).

Además de los procesos de endogamia por autofecundación en varias generaciones, se cuenta con otros sistemas regulares de endogamia, es decir otros procedimientos utilizados para aumentar en tasas variables los niveles de endogamia; estos pueden ser descritos de manera simple, como lo señala Márquez (2007), “También se pueden obtener líneas homocigóticas mediante otros sistemas, como el apareamiento entre hermanos completos (por polinización fraternal) y entre medios hermanos, al cruzar una planta macho con varias plantas hembra (por polinización meso fraternal), que son los más conocidos”. Estos esquemas de apareamiento que se llevan a cabo dentro de cada línea en la que se fracciona a la población se llaman “sistemas regulares de endogamia”.

Finalmente, se consigna aquí una descripción sencilla de “línea pura” es aquella que es autofecundada por varias generaciones y se seleccionan las plantas de interés hasta obtener plantas homogéneas, el tiempo para obtener una línea pura va de cinco a siete generaciones sucesivas. Cuando esto sucede se dice que las líneas son altamente homocigotas o sea que todas las plantas de estas líneas tienen la misma constitución genética en lo referente a las unidades de herencia (Chávez, 1995).

#### **2.5.4. Híbrido simple**

Esta modalidad de cruce híbrida de maíz, puede definirse como un híbrido creado mediante el cruzamiento de dos líneas puras, la semilla del híbrido  $F_1$  es la que se vende a los agricultores para la siembra, por lo que comúnmente los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento cuando son producidos bajo condiciones favorables. Tiene el inconveniente de producir un rendimiento muy bajo de semillas si son establecidos en terrenos bajos en nutrientes, o condiciones ambientales adversas; sin embargo, producen plantas y mazorcas más uniformes, en comparación con otros tipos de híbridos.

### **2.5.5. Híbrido doble**

EL híbrido doble se forma a partir del cruzamiento entre dos híbridos simples. Por lo tanto, en su composición intervienen cuatro líneas puras diferentes, la semilla es más barata que la del híbrido simple, ya que se obtiene sobre las plantas de híbrido simple con alto rendimiento y muy vigorosas. Su variabilidad al ser un cruzamiento entre dos  $F_1$  puede ser un inconveniente. Los híbridos dobles no son tan uniformes como los híbridos simples, por lo que éstos presentan mayor variabilidad, es importante señalar que un híbrido simple presenta mayor rendimiento que una triple y esta a su vez más que una doble, pero estas presentan una mayor adaptación (Ramírez, 2006).

### **2.5.6. Híbrido triple**

Este se forma con tres líneas endogámicas, es decir que son el resultado de un cruzamiento entre un híbrido simple y una tercera línea endogámica. La cruza simple como hembra y la tercera línea como macho. Con frecuencia se puede obtener mayor rendimiento con una cruza triple, pero no son tan uniformes como las de una cruza simple. Representan una alternativa, ya que aprovecha las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz, cruzan líneas de relativa divergencia genética con cruza simples de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2005).

## **2.6. Poliembrionía**

La Poliembrionía es un fenómeno que consiste en la emergencia simultánea de dos o más plántulas por semilla a la germinación, y por lo tanto, es un fenómeno de interés agronómico. Se le atribuye a Leeuwenhoek (1719), como el primer investigador en observar en cítricos la emergencia de dos plantas en la misma semilla (mencionado por Batygina y Vinogradora, 2007, citados por Aleza *et al.*, 2010). La manifestación de esta característica en plantas, se ha documentado por años, lo cual es común en varias especies y diferentes cultivos de importancia económica. Una revisión amplia y en detallada fue publicada por Weber (1940), lo cual significa que el fenómeno ha sido de interés por décadas, aunque desde entonces y en los últimos cuarenta años las publicaciones en el tema son esporádicas.

### **2.6.1. Poliembrionía en maíz**

La Poliembrionía en maíz es la condición en que la semilla al germinar manifiesta dos o más plúmulas simultáneamente, las cuales se mantienen hasta la terminación del ciclo de vida de la planta, lo que significa que los dos o más tallos producen su propia mazorca o mazorcas. Los primeros reportes de semillas de maíz que presentaban más de una plúmula por semilla al germinar se remonta a publicaciones de finales del siglo XIX, y los primeros 40 años del siglo XX, tal como se puede documentar en Schrenk (1894); Weatherwax (1921); Kiesselbach (1926); Randolph (1936); y Skovsted (1939). Destaca la propuesta de Kiesselback quien consideró que la manifestación de tallos múltiples por semilla de maíz era una manifestación irregular de la germinación, y la denominó “poliembrionía falsa”.

La poliembrionía en el caso de la semilla de maíz es una característica natural que puede ser utilizado como vía alterna en el diseño de estrategias agronómicas, en el mejoramiento del cultivo, ya que además del potencial de rendimiento de grano se puede seleccionar por su valor nutritivo, ya que la poliembrionía influye para incrementar el contenido de aceite y calidad de proteína en el grano (Espinoza *et al.*, 2008).

La poliembrionía en maíz es un tema de investigación básica y aplicada en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN). Inicialmente, el fenómeno fue ubicado en una población de maíz denominada “Selección Súper Enana (SSE 301)” y se determinó que la condición de “Plantas gemelas” se presentó en una frecuencia de 1.5 % (Castro y Rodríguez, 1979). Los grupos iniciales de plantas gemelas se separaron del resto de la población SSE, y se constituyeron en una población donde se inició un proceso de selección para incrementar la frecuencia de esa característica.

La población de plantas gemelas fue enriquecida en su base germoplásmicas a través de una serie de cruzamientos con un grupo amplio de líneas endogámicas del programa del IMM-UAAAN. El proceso de recombinación subsecuente, dio origen a dos poblaciones, una de porte enano y otra de porte normal (Gómez, 1982).

En las dos poblaciones resultantes se siguió el esquema de selección recurrente con el objetivo de aumentar la frecuencia de la característica, y son la base de las poblaciones actuales, denominadas UA-IMM-BAP (porte enano con alta frecuencia de poliembrionía), y UA-IMM-NAP (planta de porte normal con alta frecuencia de poliembrionía). Durante 1996 se inició un proceso de restablecimiento de las dos poblaciones (enana y normal), y en dos ciclos de selección se alcanzó el 60 % en la frecuencia de la poliembrionía (Espinoza *et al.*, 1998).

La investigación en el tema de la poliembrionía en maíz (PEm) por investigadores del IMM-UAAAN e investigadores colaboradores de otras instituciones, se ha extendido en dos líneas de acción, 1) estudios genéticos a través de investigación básica, y 2) investigación aplicada dirigida a la utilización del fenómeno en el desarrollo de germoplasma de utilidad en la generación de variedades, principalmente para la agricultura de productores en pequeño. La primera línea ha logrado propuestas sobre la herencia del carácter y una serie de investigaciones sobre la constitución genética de la PEm (Valdés, *et al.*, 2005; Rebolloza *et al.*, 2011; Espinoza *et al.*, 2012; Monsiváis *et al.*, 2013; Cruz-Requena *et al.*, 2014; Avendaño *et al.*, 2015).

Por otra parte, con la línea de investigación aplicada se han logrado propuestas sobre la combinación de germoplasma de las poblaciones BAP y NAP con diversas fuentes de germoplasma de maíz no-poliembriónico, y el proceso de recombinación para recuperar la poliembrionía (González *et al.*, 2011; Díaz, 2013; Domínguez, 2014; Alcalá *et al.*, 2018; y Maceda, 2018). El presente trabajo de tesis es un tema alineado a este segundo enfoque de estudios de la poliembrionía en maíz.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización geográfica del sitio del ensayo**

La evaluación agronómica de las 26 cruzas F<sub>1</sub> se llevó a cabo en el campo experimental del INIFAP, en Rio Bravo, Tamaulipas, con localización geográfica en las coordenadas 25° 57' de latitud norte, y 98° 02' de longitud oeste, a una altitud de 30 metros sobre el nivel del mar. En el sitio, los días en verano son largos, muy calientes y opresivos, y en invierno los días son cortos, frescos y secos, parcialmente nublado durante todo el año. Durante el año, la temperatura generalmente varía de 11°C a 36°C, y rara vez baja a menos de 4°C o sube a más de 38°C, *sin embargo*, la temperatura media anual es de 23.2 °C, y la precipitación anual es de 653 mm.

#### **3.2. Material genético**

El germoplasma base de maíz utilizado para el desarrollo de este trabajo consistió de 16 materiales diversos, descritos como sigue: dos poblaciones de maíz denominadas UA-IMM-BAP (enana) y UA-IMM-NAP (porte altura normal) que tienen en común el fenómeno de la poliembrionía, en frecuencia promedio de 60 a 65 %; una población de maíz del tipo HOC, de alto contenido de aceite (8.5 % de grasa cruda); ocho líneas de alta endogamia; y cinco híbridos comerciales (Cuadro 3.1).

Las poblaciones de contenido poliembriónico, así como siete de las líneas de alta endogamia y un híbrido comercial fueron generados en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN). Dos de las líneas de alta endogamia y la población TUX-HOC fueron proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); de los cuatro híbridos comerciales restantes, uno fue generado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo (INIFAP-Río Bravo), y tres corresponden a cada una de las

compañías (Dekalb, Garañón, 30P49, de Pioneer; las primeras dos en el consorcio Monsanto).

Con excepción de las dos poblaciones poliembriónicas, todos los materiales son genotipos que representan al maíz común, normal, es decir, No-Poliembriónicos, genéticamente distantes (exóticos) de BAP y NAP.

Cuadro 3.1. Material genético de maíz, tomado como base para la formación de los grupos F<sub>1</sub>.

<b>Población</b>	<b>Líneas UA-IMM</b>	<b>Líneas CIMMYT</b>	<b>Híbridos Comerciales</b>
UA-IMM-NAP <sup>†</sup>	AN-255-18-19	CML-334	H-447 (UA-IMM)
UA-IMM-BAB <sup>‡</sup>	AN-ML-S4-1	CML-216	H-437 (INIFAP-Río Bravo)
TUX-HOC <sup>‡</sup>	AN-TEP-3		DK-4060 (Monsanto)
	AN-CS-8		Garañón (Monsanto)
	AN-RBV-2		30-P-49 (Pioneer)
	AN-Tuxpeñita		

<sup>†</sup> NAP = población de maíz, de porte alto, de alta frecuencia de poliembriónía. <sup>‡</sup> BAP = población de maíz, de porte enano, de alta frecuencia de poliembriónía. <sup>‡</sup> TUX-HOC = población de maíz Tuxpeño de alto contenido de aceite en grano (proporcionado por CIMMYT).

### 3.3. Formación de grupos F<sub>1</sub>

Las dos poblaciones y los 16 materiales que representan al maíz normal fueron establecidos en la localidad de Buenavista, Saltillo en el ciclo agrícola P-V/2016 con el objetivo de generar cruzamientos entre las poblaciones poliembriónicas y los 16 materiales exóticos de maíz común. El proceso consistió en que las dos poblaciones poliembriónicas fueron polinizadas por cada uno de los materiales de condición normal (cruzas directas), y de manera recíproca, polen de cada una de las poblaciones BAP y NAP fecundarán a los otros materiales (cruzas recíprocas), Para cada crusa se practicó mezcla de polen, y lograr con ello la polinización de 10-12 jilotes por cada tipo de cruzamiento. El tamaño de la parcela experimental tanto para NAP como para BAP consistió en 14 surcos de 24 m de longitud. La distancia entre surcos fue de 0.80 m, y distancia entre planta de 20 cm, previendo con esta medida obtener una población adecuada y suficiente de cada población para funcionar como hembra y macho.

Las parcelas donde fueron sembrados los materiales de condición normal tuvieron las siguientes especificaciones, 1) para líneas endogámicas, se utilizaron tres surcos de 10 m de longitud, distancia entre surcos de 80 cm, y una separación entre plantas de 15 cm. 2) para híbridos comerciales y la población Tuxpeño-HOC fueron establecidos en 2 surcos, con una longitud de 8 m, con una separación de 80 cm entre ellos, y distancia entre plantas de 15 cm. Todos los materiales fueron sembrados en la misma fecha, aprovechando al máximo las coincidencias en floración entre ellos.

### **3.4. Manejo Agronómico**

El manejo agronómico de todo el establecimiento fue de acuerdo a los procedimientos técnicos aplicables al cultivo de maíz en la región. La siembra fue en seco, e inmediatamente después se aplicó un sistema de riego por cintilla con goteros a 25 cm. La fertilización fue con la fórmula 160:80:00, N: P: K, utilizando fertilizantes químicos (MAP y Urea, cuya formulación por producto comercial es, 11 N: 52 P: 00 K, y 46 N: 00 P: 00 K respectivamente). A la siembra, se aplicaron 80 N: 80 P, y a los 40 días post-siembra (en etapas V6 a V8 aproximadamente) se aplicó el resto del nitrógeno (80 N).

El control de malezas fue de manera mecánica (tractor y azadón) y, en fechas cercanas a la floración, se aplicó un defoliante dirigido al suelo para eliminar malezas en los accesos a las parcelas experimentales. El combate de plagas fue a través de la aplicación de insecticidas, en función del tipo de plagas a eliminar. En general, se utilizó la aplicación de los insecticidas “permetrina”, y una combinación de clorpirifus y metamidophos, en diferentes etapas del cultivo.

La serie de cruzamientos resultaron en diversas combinaciones, las cuales se presentan en el Cuadro 3.2, donde hay cruza híbridas radiales (población poliembriónicas por líneas); y cruza híbridas varietales (poblaciones poliembriónicas por híbridos). Del total de combinaciones, se eligieron los casos donde el número de semillas F<sub>1</sub> fuera superior a 2000 semillas. Con este criterio, se identificaron 27 genotipos F<sub>1</sub>, los cuales pasaron a la etapa de evaluación.

Cuadro 3.2. Diferentes combinaciones entre las dos poblaciones poliembriónicas NAP (C) y BAP (D) y los materiales de condición normal evaluadas en Río Bravo, Tamaulipas, ciclo febrero-junio, 2017.

<b>Radiales (G1)</b>	<b>Varietales (G2)</b>	<b>Radiales (G3)</b>	<b>Varietales (G4)</b>
<b>A</b> C x AN-18-19	<b>L</b> C x Garañón	<b>F</b> D x AN-18-19	<b>S</b> D x AN-447
<b>B</b> C x AN-ML	<b>M</b> C x H-437	<b>G</b> D x AN-ML	<b>T</b> DK-4060 x D
<b>C</b> C x AN-CS-8	<b>N</b> C x 30-P-49	<b>H</b> D x AN-CS-8	<b>U</b> H-437 x D
<b>D</b> C x AN-RBV	<b>O</b> C x AN-447	<b>I</b> D x AN-Tep-3	<b>V</b> 30-P-49 x D
<b>E</b> C x Tuxpeñita	<b>P</b> C x TUX-HOC	<b>J</b> D x AN-RBV	<b>W</b> TUX-HOC x D
<b>X</b> C x CML-334	<b>Q</b> C x DK-4060	<b>K</b> D x Tuxpeñita	
<b>CH</b> C x AN-Tep3		<b>Y</b> D x CML-334	
		<b>Z</b> CML-216 x D	

Nota: Como testigos se usaron  $W_1 = 30\text{-P-49}$  de Pioneer y  $W_2 =$  Experimental AN-HCM, trilineal.

### 3.5. Evaluación de los grupos $F_1$

Las 26 cruzas  $F_1$  generados en Buenavista, Saltillo durante el ciclo agrícola 2016 y además dos híbridos comerciales como testigo (Cuadro 3.2) los cuales fueron sembrados, bajo el diseño completamente al azar, en terrenos del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Río Bravo, Tamaulipas, con el objetivo de evaluar éstos grupos para determinar el comportamiento agronómico. Los genotipos  $F_1$  fueron establecidos de la siguiente manera: el terreno experimental consistió de dos franjas (bloques) donde se tuvieron parcelas de tres surcos por material, las franjas mencionadas alojaron las dos repeticiones de este experimento.

Los surcos tuvieron una longitud de 5 m, una distancia entre ellos de 80 cm, la distancia entre plantas fue de 15 cm, y el tamaño de muestra de 204 semillas (dos repeticiones de 102 semillas c/u).

La conducción del lote experimental fue llevada de la siguiente manera: la siembra se realizó el 20 de enero de 2017, sobre suelo húmedo, a capacidad de campo (besana); se aplicaron tres riegos, modalidad de gravedad, a la manera convencional como lo aplica el grupo de maiceros del INIFAP-Río Bravo. La fertilización se aplicó en su

totalidad previo a la siembra, con una formula comercial de fertilizantes químicos en el orden de 120 N: 80 P: 40 K.

El control de plagas se llevó a cabo con aplicación de insecticidas de naturaleza química, los cuales fueron específicos a las plagas que afectan de manera considerable las plantas de maíz en esa región, que son básicamente el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y gusano elotero (*Eliotis zea*). El control de malezas se llevó acabo de manera manual con azadones, y mecánica vía tractor al cultivo, la cual se llevó a cabo a la edad general de las plantas, etapas V8 a V9.

### **3.6. Variables agronómicas**

Las variables de respuesta que fueron tomadas en cuenta, son las que se consideran de importancia para un ensayo de rendimiento.

#### **3.6.1. Días a floración masculina (DFM)**

Para esta variable se cuantificó los días transcurridos desde la siembra hasta la floración masculina (espiga), bajo el criterio del 50% de apertura y/o liberación de polen.

#### **3.6.2. Días floración femenina (DFF)**

Este dato se obtuvo de cada genotipo considerando desde el día de la siembra hasta que la flor femenina (jilote) mostro el 50% estigmas receptivas.

#### **3.6.3. Altura de planta (AP)**

Distancia en metros, entre la base de la planta hasta la hoja bandera, después del estado lechoso del grano.

#### **3.6.4. Altura de mazorca (AM)**

Distancia en metros desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

### **3.6.5. Índice de inserción de mazorca (IIM)**

El cociente que resulta de dividir los valores entre la altura de la planta y la inserción de la mazorca principal, expresado en por ciento.

### **3.6.6. Acame de raíz (AR)**

Número de plantas que presentaron una inclinación de 40° a partir de la perpendicular de la base de la misma donde comienza la zona radícula, en relación con el número total de plantas expresado en por ciento.

### **3.6.7. Acame de tallo (AT)**

Número de plantas que presentaron el tallo quebrado por debajo de la mazorca principal, en relación con el número total de plantas expresado en por ciento.

### **3.7. Mala cobertura (MC)**

Número de mazorcas que no estaban totalmente cubiertas por las brácteas (totomoxtle) en relación con el total de las mazorcas por genotipo, expresada en por ciento.

#### **3.7.1. *Fusarium* en la mazorca (FMA)**

Para esta variable se contabilizó el número de mazorcas que presentaron problemas de fusarium entre el total de mazorcas cosechadas por genotipo.

### **3.8. Prolificidad (PROL)**

Número de mazorcas cosechadas entre número de plantas presentes en la parcela, expresado en por ciento.

#### **3.8.1. Humedad de grano (HUM)**

Es el por ciento de humedad contenida en el grano al momento de la cosecha. La medida se obtuvo con el aparato Dickey- John, que determina la humedad del grano.

#### **3.8.2. Peso de campo (PC)**

Es el peso de las mazorcas cosechadas en cada parcela al momento de la cosecha y está expresado en kilogramos.

### 3.8.3. Rendimiento (REND)

Es la predicción estimada reportada en t ha<sup>-1</sup> de mazorcas al 15.5% de humedad. Este dato se obtuvo al multiplicar el peso seco (**PS**) por el factor de conversión (**FC**), la fórmula para estimar cada uno se describe a continuación; por parcela experimental.

El Peso seco (**PS**) fue estimado multiplicando el porcentaje de humedad del grano multiplicado por el peso de campo (PC), de acuerdo a la siguiente fórmula,

$$\mathbf{PS = ((100 - H) / 100) * PC}$$

Dónde:

**%H** = porcentaje de humedad del grano a la cosecha

**PC** = peso de campo en kilogramo

#### **Factor de conversión (FC)**

El factor de conversión es utilizado para transformar el rendimiento de mazorca en toneladas por unidad de superficie al 15.5% de humedad, determinándose con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{FC = 10,000m^2 / (APU * 0.845 * 1000)}$$

Dónde:

**FC** = factor de conversión para expresar el rendimiento en toneladas por hectáreas de mazorca al 15.5 por ciento de humedad.

**APU** = área de la parcela útil. Determinado por la distancia entre surco por la distancia entre planta por la parcela útil.

**0.845** = constante para obtener el rendimiento en kilogramo por hectárea al 15.5 por ciento.

**1000** = Constante para obtener el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>.

**1000** =coeficiente para obtener el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>; 10,000= superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

### **3.8. Diseño y parcela experimental**

El trabajo experimental se realizó bajo un diseño bloques completos al azar con dos repeticiones. La parcela experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud con una distancia entre planta de 0.15 m, y de 0.80 m entre surcopara una densidad de planta aproximada de 85 mil plantas por hectárea, la parcela útil fue el surco central.

#### **Modelo estadístico**

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$i = 1, 2, \dots, t$  (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$  (repetición)

$Y_{ij}$  = Valor de la variable respuesta del i-esimo tratamiento en el j-esimo bloque

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento

$\beta_j$  = Efecto del j-esimo bloque

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental.

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza (SAS 9.3), y la prueba de comparación de medias para Tukey ( $p < 0.05$ ) para ordenar y separar estadísticamente las medias.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo, así como el comportamiento de las variables de interés general y las diferencias detectadas entre genotipos por la vía de análisis de varianza, se concentran en los Cuadros 4.1 y 4.2 en los cuales se presentan los cuadrados medios y niveles de significancia de las diferencias estadísticas entre genotipos, diversas variables de respuesta. En el Cuadro 4.1 para la variable días a floración masculina (DFM) se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ), y para altura de planta (AP) se presentaron sólo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), mientras que las variables DFF, AM y IIM no presentaron diferencias significativas para esta fuente de variación. Los coeficientes de variación obtenidos en las cinco variables se ubicaron entre 2.55 a 12.99%, los cuales son valores aceptables para este estadístico.

Cuadro 4.1. Cuadros medios de cinco variables para características agronómicas en 26 cruces F<sub>1</sub> de maíz evaluadas en Rio, Bravo, Tamaulipas, ciclo febrero-junio, 2017.

FV	GL	DFM	DFF	AP	AM	IIM <sup>1</sup>
Genotipo	27	9.68**	9.27 <sup>ns</sup>	114.56*	250.64 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>
Bloque	1	3.01	0.07	25.78	228.01	0.19
Error	27	2.79	5.21	57.08	148.35	0.15
C.V.%		2.55	3.40	3.34	12.99	6.09
R <sup>2</sup>		0.77	0.64	0.67	0.63	0.64
Media		65.5 d	67.1 d	226.2 cm	93.7 cm	41.4 %

\*, \*\*; Significativo y altamente significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01, respectivamente; ns = no significativo; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AP = Altura de planta; AM = Altura de la mazorca; IIM = Índice de inserción de la mazorca. <sup>1</sup>Datos transform.  $\sqrt{x+0.5}$ . Los valores de media de las variables están en números directos.

En el Cuadro 4.2 se puede observar que las variables acame de raíz (ACR) y fusarium en la mazorca (FMA) presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos, mientras que para prolificidad se observaron diferencias sólo significativas ( $p \leq 0.05$ ), el resto de las variables no presentaron diferencias significativas. Los coeficientes de variación estuvieron en el rango de 5.4 y 59.4; como es frecuente en

este tipo de experimentos, las variables de respuesta medidas en por ciento generalmente presentan valores altos, debido principalmente a la falta de normalidad de los datos. Este es el caso observado en las variables ACT y MC, sin embargo las demás variables estuvieron en un rango porcentajes aceptables.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de otras cinco variables para características agronómicas en 26 cruzas F<sub>1</sub> de maíz evaluadas en Rio Bravo, Tamaulipas, ciclo febrero-junio, 2017.

FV	GL	ACR <sup>1</sup>	ACT <sup>1</sup>	MC <sup>1</sup>	FMAZ <sup>1</sup>	PROL <sup>1</sup>	REND
Genotipo	27	4.97**	1.22 <sup>ns</sup>	3.13 <sup>ns</sup>	1.95**	0.49*	10.20 <sup>ns</sup>
Bloque	1	0.03	0.01	0.92	0.11	1.41	0.09
Error	27	0.64	1.19	2.45	0.34	0.26	7.38
C.V.%		11.67	49.28	59.41	15.5	5.40	25.92
R <sup>2</sup>		0.89	0.50	0.56	0.84	0.66	0.58
Media		48.9 %	5.7 %	9.2 %	15.0 %	92.4 %	10.48 t

\*,\*\*; Significativo y altamente significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01, respectivamente; ns = no significativo; FV = fuente de variación; ACT = Acame de tallo; ACR = Acame de raíz; MC = Mala cobertura; FUSMAZ = Fusarium en la mazorca; PROL = Prolificidad; REND = Rendimiento. <sup>1</sup>Datos transform.  $\sqrt{x + 0.5}$ . Los valores de media de las variables están en números directos.

En el Cuadro 4.3 se observan la prueba de medias (Tukey, 0.05) de las variables agronómicas evaluadas que pertenecen a cuatro grupos de cruzas (G1,..., G4).

En el G1 (Cruzas radiales con NAP) se localizan las cruzas CH (C x Tep3) y C (C x CS-8) con rendimientos de grano de 14.4y 11.8t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sin embargo, cabe notar que la cruza C presentó menor AP, ACR, ACT, FUSMA y mayor PROL que la cruza CH. De este grupo la cruza A (C x 18.19) presentó el menor rendimiento con 6.85 t ha<sup>-1</sup>.

El grupo de genotipos, identificado como G2 (Cruzas varietales con NAP), las cruzas: Q (C x DK-4060) y M (C x H-437) presentaron rendimientos de 13y 11.45 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en este caso la cruza Q presentó mejor sanidad de planta con bajos promedios para ACR, ACT, MC y FMA que lo observado en la cruza M.La cruza con menor rendimiento en este grupo fue P (C x TUX-HOC) con rendimiento de 9.65 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo, este material puede tener un alto potencial en el contenido de aceite y proteína, ya que es una característica que poseen los materiales poliembriónicos.

En el G3 (Cruzas radiales con BAP) la cruza Y (D x CML-334) sobresalió con un rendimiento de 13.4 t ha<sup>-1</sup>, además, presentó una buena prolificidad y bajos promedios de ACR, ACT, MC y FMA, sin embargo, fue una de las más tardías para DFM y DFF. En contraste, la cruza G (D x ML) presentó bajo rendimiento (7.35 t ha<sup>-1</sup>) y con características indeseables como baja PROL, altos en ACR y FMA.

Cuadro 4.3a. Prueba de medias para las variables floración y porte de planta ordenadas en relación al rendimiento de grano. Río Bravo, Tamaulipas, 2017.

Clave	DFM d	DFF d	AP cm	AM cm	IIM %	REND <sup>1</sup> t ha <sup>-1</sup>
T	65.5 a	67.5	216.0 a	77.5	35.9	14.9
CH	63.5 a	65.0	218.5 a	82.0	37.5	14.4
W1	65.0 a	68.0	243.5 a	70.0	28.7	14.3
Y	69.0 a	71.0	239.0 a	113.5	47.5	13.4
Q	64.0 a	66.0	230.5 a	96.0	41.6	13
C	67.0 a	69.0	210.5 b	78.5	37.3	11.8
U	65.0 a	66.0	224.0 a	90.5	40.4	11.6
M	66.5 a	68.5	220.5 a	104.0	47.2	11.45
W2	66.0 a	67.5	224.5 a	79.0	35.2	11.3
N	68.5 a	71.0	219.5 a	75.0	34.2	11.15
B	70.0 a	67.5	228.0 a	95.0	41.7	10.8
Z	68.0 a	69.5	238.5 a	109.0	45.7	10.8
H	69.5 a	71.5	220.0 a	93.0	42.3	10.6
V	62.0 b	64.0	219.0 a	91.0	41.6	10.35
L	63.5 a	65.0	230.5 a	94.5	41.0	10.25
I	63.5 a	65.5	226.0 a	101.0	44.7	10.2
D	62.5 b	64.5	229.0 a	97.5	42.6	9.9
K	64.5 a	66.5	227.5 a	92.0	40.4	9.85
O	63.5 a	65.5	234.5 a	102.0	43.5	9.85
E	66.5 a	68.5	214.0 a	93.0	43.5	9.8
P	62.5 b	64.0	234.0 a	93.0	39.7	9.65
X	66.5 a	66.5	225.5 a	112.5	49.9	9.5
W	62.5 b	64.0	226.0 a	92.0	40.7	9.35
J	66.5 a	67.0	227.0 a	96.0	42.3	8.5
F	64.0 a	67.0	227.0 a	104.5	46.0	7.85
G	66.5 a	68.5	227.5 a	88.5	38.9	7.35
A	64.5 a	65.5	229.0 a	95.5	41.7	6.85
S	66.5 a	69.0	223.5 a	108.5	48.5	5.3
Ā	65.4 d	67.2 d	226.2 cm	93.7 cm	41.4 %	10.5 t
DMS (0.05)	6.89	9.42	31.15	50.22	20.88	11.2

<sup>1</sup>REND = el rendimiento se estimó al 15.5% de humedad.

En el G4 (Cruzas varietales con BAP) las cruzas T (DK-4060 x D) y U (H-437 x D) sobresalieron con rendimientos de 14.9 y 11.6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, siendo la craza U la que presentó mejores características de ACT, ACR, MC y FMA, comparada con la craza T. Por el contrario, la craza S (D x AN-447) fue la de menor rendimiento con 5.3 t ha<sup>-1</sup> y estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) tuvo la más baja PROL, además con un alto promedio de ACR y FMA.

Cuadro 4.3b. Prueba de medias para las variables de prolificidad y sanidad, ordenadas en relación al rendimiento de grano. Rio Bravo, Tamps. 2017.

Clave	PROL. %	ACR %	ACT %	MC %	FMA %	REND <sup>1</sup> t ha <sup>-1</sup>
T	101.4 <sup>a</sup>	75.0 a	7.8	12.5	21.4a	14.9
CH	91.7 a	61.3 a	8.2	6.2	20.0a	14.4
W1	105.1 <sup>a</sup>	50.9 a	8.5	3.5	3.2 b	14.3
Y	93.0 a	17.0 b	7.4	0.0	8.3 b	13.4
Q	90.7 a	16.6 b	2.3	9.3	5.3 b	13
C	108.1 <sup>a</sup>	24.1 b	0.0	14.8	14.2b	11.8
U	98.8 a	21.1 b	2.8	2.8	7.0 b	11.6
M	96.5 a	46.1 a	5.3	10.7	18.3a	11.45
W2	98.1 a	42.4 a	0.0	1.9	5.9 b	11.3
N	91.1 a	72.8 a	6.8	15.7	10.0b	11.15
B	97.2 a	86.1 a	11.1	0.0	11.5b	10.8
Z	92.9 a	57.6 a	7.7	6.1	3.9 b	10.8
H	99.8 a	46.2 a	1.9	28.4	9.9 b	10.6
V	91.0 a	61.3 a	2.0	23.7	21.5a	10.35
L	93.8 a	33.0 b	4.7	2.3	17.5a	10.25
I	96.6 a	60.0 a	8.0	6.9	18.4a	10.2
D	88.3 a	57.6 a	9.5	4.7	14.6b	9.9
K	92.8 a	67.1 a	5.0	2.3	7.6 b	9.85
O	98.7 a	30.2 b	7.2	14.8	18.3a	9.85
E	90.3 a	70.2 a	4.2	18.8	13.1b	9.8
P	89.8 a	75.9 a	10.1	13.4	15.2b	9.65
X	93.3 a	34.0 b	5.2	20.6	15.0b	9.5
W	102.9 <sup>a</sup>	43.0 a	1.9	1.9	21.6a	9.35
J	77.4 a	14.5 b	8.2	10.4	16.0a	8.5
F	84.5 a	46.3 a	1.8	9.1	29.7a	7.85
G	73.4 a	60.1 a	4.6	0.0	19.8a	7.35
A	85.6 a	26.9 b	9.8	12.3	17.3a	6.85
S	64.9 b	71.6 a	6.4	5.4	34.4a	5.3
Ā	92.4 %	48.9 %	5.7 %	9.2 %	15.0 %	10.5 t
DMS (0.05)	40.2	46.2	18.1	41.2	18.1	11.2

<sup>1</sup>REND = el rendimiento se estimó al 15.5% de humedad.

Al comparar a testigos con los genotipos bajo estudio, destaca que las cruzas T y CH presentaron rendimientos nominalmente superiores al testigo W<sub>1</sub> (30P49, de Pioneer), con al menos 100 Kg. Por otra parte, estos dos genotipos (T y CH) superaron al testigo W<sub>2</sub> (Experimental HCM, tri-lineal) con al menos 2 t, incluso, los genotipos Y, Q, C, U, y M presentaron también valores superiores a este testigo (Cuadro 4.3b).

El rendimiento de grano representa el producto final del cultivo, observándose en los materiales evaluados rendimientos superiores de 7.35 a 14.9 t ha<sup>-1</sup> y solamente los genotipos S (5.3 t ha<sup>-1</sup>) y A (6.85 t ha<sup>-1</sup>) tuvieron un rendimiento menor. En comparación a trabajos realizados por Cantú *et al.* (2010), quienes reportan rendimientos de ocho híbridos comerciales en cuatro diferentes fechas de siembra con promedio de 6.5 a 8.0 t ha<sup>-1</sup>, los cuales son inferiores al promedio obtenido en este experimento (10.5 t ha<sup>-1</sup>). En comparación con experimentos realizados por Roblero (2019) en el mismo lugar de Rio Bravo, Tamaulipas, sus genotipos presentaron rendimiento con promedio de 8.2t ha<sup>-1</sup>, el cual también fue inferior al promedio obtenido en este ensayo. En contraste con los tres híbridos comerciales utilizados como testigos por Roblero (2019), que en este experimento tuvieron rendimientos de 13.12 a 18.1t ha<sup>-1</sup> siendo estos superiores con al menos de 4 a 6 t más al obtenido en nuestro ensayo. Por otra parte, el genotipo C x CS-8, que representan a la población NAP, presentó rendimiento de 11.8t ha<sup>-1</sup>.

Con respecto a las demás características agronómicas evaluadas por Roblero (2019), en el mismo ambiente se observó en general un incremento de 8 días para DFM y DFF, una menor altura de planta y mazorca, presentando bajos porcentajes de acames y sanidad.

## **Características agronómicas destacables de los genotipos**

### **Días a Floración Masculina (DFM)**

Los genotipos más precoces en este ensayo fueron los denominados como V, W y P, con valor promedio de 62.5 d (Cuadro 4.3a) para DFM, mientras que los demás genotipos se encuentran en un rango de 63.5 a 70.0 días para esta variable. Trabajos realizados por Cantú *et al.* (2010) durante cuatro ciclos (2006 - 2009) reportan que siembras en fechas tardías presentan mayor precocidad, ya que las floraciones ocurrieron en promedio a los 66 días después de la siembra; es decir 25 días menos que las floraciones presentadas en las fechas tempranas.

### **Días a Floración Femenina (DFF)**

Los días a floración femenina son importantes para indicar el inicio del periodo de llenado del grano y además permite clasificar a los genotipos de acuerdo a su precocidad (Muñoz, 2003). En este ensayo, los genotipos más precoces fueron el V, P, y W para DFF con un promedio de 64 días. El resto de los genotipos se presentaron valores mayores, en un rango de 64.5 a 71.0 días para esta variable.

### **Altura de Planta (AP)**

Los genotipos de porte más bajo fueron: C, E, y T, con un valor promedio para los tres de 213 cm, aunque el genotipo estadísticamente diferente fue el C (Cuadro 4.3a); por otra parte, los genotipos de porte alto oscilaron en el rango de 218.5 a 243.5 cm. Un porte de planta moderadamente alto parece ser lo deseable en la producción actual del maíz. El tema de ideotipo en maíz propone un diseño de plantas de manutención económica y eficiente en el desarrollo y producción de la planta, al respecto, Fangping Gong *et al.* (2018) proponen que un ideotipo adecuado para la agricultura actual es el que presente altura de planta y mazorca uniforme y moderada (relativamente baja) para facilitar la cosecha mecánica y la resistencia al acame, entre otras características. Por otra parte, investigadores del INIFAP Rio Bravo (2010) reportan que cuando se

siembra fuera de la fecha optima (15 de febrero), se incrementan factores, tales como altura de planta y mazorca con un porcentaje de 24.53% comparado con el óptimo, es decir, presentara una un promedio de 203 cm con respecto a la fecha de siembra temprana Cantú *et al.* (2010).

### **Altura de la Mazorca (AM)**

Los genotipos que presentaron menor altura de mazorca fueron T, N, y C que estuvieron en el rango de 75 a 78 cm, mientras que los de mayor altura presentaron promedios de 79.0 a 113.0 cm. Como puede apreciarse, dos de los genotipos de menor altura de mazorca coinciden con aquellos que presentaron menor altura de planta, es de esperarse una correlación positiva entre las dos variables.

### **Índice de Inserción de la Mazorca (IIM)**

Cabe indicar que el IIM se correlacionó positiva y altamente significativa con AM ( $r=0.458^{**}$ ). Los genotipos que presentaron menor inserción de mazorca fueron: N, T, y C, con un índice menor a 38 %; en tanto los demás genotipos presentaron un rango de 38.9 a 49.9%.

### **Acame de Raíz (ACR)**

Los genotipos que sobresalen en cuanto a menor porcentaje de acame de raíz fueron, J, Q, y U, que presentaron valores promedio de 14 a 21 %; sin embargo, los que presentaron mayor acame de raíz oscilan entre 64.5 a 86.1% (Cuadro 4.3b). Cantú *et al.* (2010) indican que un retraso en la fecha de siembra, puede ocasionar que se presenten altos porcentaje de acame y problemas de sanidad en el cultivo.

### **Acame de Tallo (ACT)**

Respecto al acame de tallo los genotipos que sobresalieron con menor acame de tallo fueron C, F, y H, con valores promedio menores a 2 %. Los genotipos con mayor acamen de tallo estuvieron en un rango de 2.0 a 11.1%.

### **Mala Cobertura (MC)**

Una buena cobertura es muy importante para la producción de grano ya que protege a la mazorca contra el daño por insectos, enfermedades y pájaros. Con lo que respecta a mala cobertura los genotipos que sobresalieron con bajos porcentajes fueron G, Y, B y W con valores de 0 a 2 %. Los genotipos con mayor porcentaje oscilaron entre 2.3 y 23.7%. Estudios realizados por Cantú *et al.* (2010) durante cuatro diferentes fechas de siembra indican que un retraso de 10 días en la fecha de siembra, comparada con la óptima, reduce un 22% la probabilidad de éxito, ocasionando que se presenten problemas de sanidad lo cual se debe a altas temperaturas y falta de humedad en etapas críticas del cultivo

### ***Fusarium* en la Mazorca (FMA)**

Los genotipos con porcentaje de FMA más bajo fueron Z, Q, y U con valores de 4 a 7 %. En tanto los genotipos con mayor porcentaje de fusarium tuvieron un rango de 8.5 a 34.4% de *Fusarium* en la mazorca.

### **Prolificidad (PROL)**

Con respecto a la Prolificidad, los genotipos con mayor porcentaje estuvieron en un rango de 85.5 a 108.5%. Mientras que los genotipos de menor prolificidad presentaron valores entre 64 y 78 %.

### **Rendimiento (REND)**

El rendimiento de grano representa el producto final, observándose en los materiales evaluados rendimientos en el intervalo de 5.3 a 14.9 t ha<sup>-1</sup>. Testigos aparte, más de la mitad de genotipos experimentales bajo estudio superaron las 10 t ha<sup>-1</sup>, lo cual es sobresaliente, ya que, en los reportes para la región, los rendimientos se ubican entre 6 y 8 t ha<sup>-1</sup> (Cantú *et al.*, 2010). La diferencia pudiera explicarse por densidad de

siembra, la gran diversidad genética de nuestros materiales, o en definitiva, la condición experimental de este trabajo.

Finalmente, los genotipos que presentaron alto rendimiento y características agronómicas deseables fueron: T con menor AP, AM, IIM y alta prolificidad. El genotipo C también sobresalió en las mismas características, además de presentar bajo porcentaje de ACT y ACR. El genotipo Q, fue el que presentó mejor sanidad con bajos porcentajes de ACR, ACT y FUSMA. El genotipo Y además de su buen rendimiento tuvo buena cobertura.

### **Correlaciones fenotípicas**

En el Cuadro 4.4 se presentan las correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas, en las cuales DFM se correlacionó positivamente con DFF ( $r= 0.956^{**}$ ), como era de esperarse. Así mismo se muestra una asociación positiva y significativa entre la variable AP con ACT ( $r=0.431^*$ ) y altamente negativa con MC ( $r= -0.450^{**}$ ), indicando que algunos genotipos con mayor AP y alto porcentaje ACT tuvieron bajo porcentaje de MC. En cuanto AM influyó positivamente en el porcentaje IIM ( $r=0.963^{**}$ ), por el contrario, AM se correlacionó negativamente con prolificidad PROL ( $r= -0.380^*$ ), por lo que plantas con mayor altura presentan menor prolificidad.

Cuadro 4.4. Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas.

	DFM	DFE	AP	AM	IIM	PROL	ACR	ACT	MC	FMA
DFE	<b>0.956**</b>									
AP	-0.103	-0.083								
AM	0.081	0.006	0.305							
IIM	0.109	0.026	0.041	<b>0.963**</b>						
PROL	-0.021	-0.008	-0.059	-0.380*	-0.384					
ACR	-0.029	-0.105	-0.192	-0.269	-0.168	-0.132				
ACT	-0.030	-0.032	<b>0.431*</b>	0.134	0.020	-0.203	0.345			
MC	0.114	0.067	<b>-0.458**</b>	-0.003	0.133	0.110	0.008	-0.207		
FMA	-0.325	-0.271	-0.337	0.248	0.359	<b>-0.491**</b>	0.211	0.005	0.101	
REN	0.080	0.114	0.114	-0.001	-0.474**	<b>0.691**</b>	-0.051	0.015	-0.047	<b>-0.524**</b>

\*Significativo al 0.05 de probabilidad y \*\*Altamente significativo al 0.01 de probabilidad.

La variable PROL se correlacionó positivamente con REND ( $r=0.691^{**}$ ), lo cual es natural, ya que un mayor número de mazorcas por planta tiene un efecto positivo sobre el rendimiento (Reyes *et al.*, 2017). Con respecto a FMA, como era de esperarse, tuvo un efecto negativo sobre PROL ( $r= -0.491^{**}$ ) y REN ( $r= -0.524^{**}$ ), *fusarium* sp. Este hongo fitopatógeno se considera de gran importancia debido a que algunas de sus especies producen micotoxinas que pueden afectar la salud humana y pecuaria (Martínez *et al.*, 2017).

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

Las poblaciones poliembriónicas NAP y BAP las cuales se cruzaron con materiales de condición normal provenientes del CIMMYT, INIFAP, IMM-UAAAN e híbridos comerciales, generaron genotipos como el T (DK-4060 x BAP) y CH (NAP x Tep3) que tuvieron un rendimiento de grano por hectárea de 14.9 y 14.4 t, los cuales superaron al mejor testigo  $W_1$  (30P49, de Pioneer). Los genotipos que sobresalen por su potencial de rendimiento con respecto al testigo  $W_2$  (Experimental AN-HCM, trilineal) fueron: T, CH, Y, Q, C, U y M.

Las cruzas radiales y varietales (cruzadas con NAP) con mayor rendimiento fueron los genotipos C y Q, los cuales presentaron mejor comportamiento agronómico con respecto al testigo teniendo menores porcentajes de ACR, ACT, AP, AM e IIM. Los genotipos con alto rendimiento: Y y U pertenecen a las cruzas radiales y varietales, y comparten la cruce con la población BAP. Ambas cruzas presentaron mejor sanidad como bajo porcentaje de ACR, ACT, MC, y menor AP.

En contraste, los genotipos que tuvieron los más bajos rendimientos fueron: G (BAP x AN-ML), S (BAP x AN-447) y A (NAP x AN-18-19), también tuvieron menor porcentaje de prolificidad y alto porcentaje de ACR y FMA. Es ilustrativo señalar que las líneas AN-ML y AN-18-19 son enanas, y forman parte de los progenitores de AN-447. Por lo tanto, al cruzarse con la población BAP, la heterosis es prácticamente nula, y en consecuencia, su desempeño en este trabajo es de bajo nivel.

## VI. LITERATURA CITADA

- Agrobiodiversidad. (2009).** Centro de Origen del Maiz. *Academia* , 2-3.
- Alcalá R. J. S.G. 2018.** Selección de genotipos de maíz poliembriónico por sus aptitudes poliembriónicas. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México p.7.10.
- Alcalá-Rico, JSGJ, J Espinoza-Velázquez, A López-Benítez, F Borrego-Escalante, R Rodríguez-Herrera, R Hernández-Martínez. 2018.** Agronomic performance of maize (*Zea mays* L.) populations segregating the polyembryony mutant. Rev. Fac.Cs. Agr Universidad del Cuyo. Argentina. (in Press) ISSN on-line: 1853-8665.
- Aleza, P., Juárez, J., Ollitrault, P., & Navarro, L. (2010).** Polyembryony in non-apomictic citrus genotypes. *Annals of botany*, 106(4), 533-45.
- Andrade F H, C Vega, S Uhart, A Cirilo, M Cantarero, O Valentinuz (1999)** Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39:453–459.
- Avendaño. S. M.C. 2015.** Relación entre poliembrionía, apomixis y Xenia en maíces poliembriónicos. Tesis de maestría. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 7-15.
- Barbieri, P.; Sainz-Rozas, H.R.; Andrade, F. H. and Echeverria, H.E. 2000.** Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Aron. J.* 92:283-288.
- Barghoorn, E.S., M.K. Wolfe, and K.H. Clisby. 1954.** Fossil maize from the valley of Mexico. *Bot. Mus. Leaflets Harv. Univ.* 16:229-240.
- Batygina, T. B. y Vinogradova, G. Y. 2007.** Phenomenon of Polyembryony. Genetic Heterogeneity of seeds. *Russian Journal of Developmental Biology.* 38 (3): 166-191.
- Borrás L, M E Otegui (2001).** Maize kernel weight response to post flowering: Source–sink ratio. *Crop Sci.* 49:1816–1822.

- Bullock, D. G.; Nielsen, R. L. and Nyquist, W. E. 1988.** A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci.* 254-259.
- Cantú-Almaguer, M. Á., Reyes-Méndez, C., A., Rodríguez-del Bosque, L. Á. 2010.** Fecha de siembra: una alternativa para incrementar la producción de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Núm. 44 Núm. 44.
- Castillo, G. F. 1994.** Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. In: Memoria del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Monterrey N. L., México. 78-98 pp.
- Castro Gil, M, S Rodríguez Herrera. 1979.** Estudio preliminar del potencial de plantas de maíz con tallos gemelos, *Fitotecnia.* 2(3): 39-49.
- Copeland, L.O. and McDonald, M. B. 2001.** Seed germination. In *Principles of Seed Science and Technology.* Springer US. p. 72-123
- Chávez., J.L. 1995.** Mejoramiento de plantas. 1. UAAAN. México. P. 158.
- CNPAMM. (19 de septiembre de 2016/2017).** estimacion produccion mundial de maiz . *ultimas noticia agricultura* , pág. 1.
- Crow J F. 1998.** 90 Years Ago: The Beginning of Hybrid Maize. *Genetics* March 1, 1998 vol. 148 no. 3 923-928.
- Cruz-Requena, M., C. N. Aguilar-González, J. Espinoza-Velázquez, M. H. Reyes-Valdés and R. Rodríguez-Herrera. 2014.** AFLPs loci associated with Plant Sciences, (ahead-of-print), p.1-5
- Díaz H. E. 2013.** Desarrollo de una metodología para recuperación de un genotipo poliembriónico segregantes en maíz. Tesis de licenciatura, carrera Ingeniero Agrónomo en Producción por la UAAAN, Buenavista, Saltillo Coahuila. 54pp.
- Domínguez T. A. 2014.** Parámetro Genético y características de Producción en Genotipos de Maíz que Segregan Poliembriónía. Tesis de maestría en ciencia de Fitomejoramiento. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. ,mex.
- East E. M., Jones D. F., 1919.** Inbreeding and Outbreeding: Their Genetic and Sociological Significance. Lippincott, Philadelphia.
- East E. M., 1908.** Inbreeding in corn. *Rep. Conn. Agric. Exp. Stn.* pp. 419–428
- Espinoza J, M. C. (1998).** poliembriónia en maíces. *Agronomía. Mesoamericana.*, 9:83-88.

- Espinoza, J., Valdés, L., González, V., Musito, N., Gallegos, J., Sánchez, J., Villarreal, A., Alcalá J. 2008.** Estudios Genéticos Sobre la Poliembrionía en Maíz. Análisis Retrospectivo. In: Libro Científico Anual. Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal UAAAN-2006 ISBN-978-968-844-05-9. P 2-8. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México.
- Espinoza-Velázquez, J, J Valdés-Reyna, JM Alcalá-Rodríguez. 2012.** Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembrionía. *Poli botánica*. 33: 207–221.
- Falconer, D. S. (1967).** Introduction to quantitative genetics, Oliver and Boyd, Londres, pp.85-93.
- Fangping Gong, Xiaolin Wu, Huiyong Zhang, Yanhui Chen and Wei Wang. 2015.** Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in Plant Science* | www.frontiersin.org October 2015 | Volume 6 | Article 8351.
- FAO. 2005.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Pocketbook, World Food and Agriculture Disponible in: <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>.
- FAO. 2015.** World Food and Agriculture-Statistical Pocketbook 2018. Rome. 254 pp. Lucense: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FIRA. (2015).** Panorama Agroalimentario . *FIRA*, 3-6.
- FIRA. 2016.** Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Maíz 2016. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/panorama-agroalimentario-maz-2016.pdf>.
- Fisher K S, A F E Palmer (1985).** Maize. In: Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines. pp:155-180.
- Fussell, B. 1992.** The story of corn. New York, NY, USA, Alfred A. Knopp.
- Galinat, W.C. 1988.** The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- González-Vázquez, VM, Espinoza-Velázquez, J, Mendoza-Villarreal, R, León-Castillo, H, Torres- Tapia, MA. 2011.** Caracterización de germoplasma de

maíz que combina un alto contenido de aceite y poliembriónía. *Universidad y Ciencia*. 27(2): 157-167.

**Gómez, G., J.R. 1982.** Estudios sobre herencia y valor nutritivo de semilla de maiz con doble embrión. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. Méx. P 77-79

**Ivan Cruz. (9 de 01 de 2012).** *Untitled Document*. Recuperado el 27 de 08 de 2018, de Untitled Document: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51881/1/Estrategias-manejo.pdf>

**Jugenhelmer W. R. 1981.** Maíz. Elsa. Cuarta reimpresión. México. Pag.87,138.

**Kato T., Mapes C., Mera M., Serrato J. y Bye, R. 2009.** Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Mexica, D.F.

**Kiesselbach, TA. 1926.** False Polyembryony in maize. *Am.J. of Botany*. 13 (1): 33-34.

**López S.J., C. R. (2004.)**. Componentes de crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Fitotecnia Mexicana*, , 27:23.

**Iltis, H.H. 1983.** From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation. *Science*, 222: 886-894.

**Maceda S. I. 2018.** Penetrancia Incompleta en la Herencia del Carácter Poliembriónía en Maíz (pem). Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. P. 6-8.

**MacNeish, R.S. 1967.** Summary of subsistence. In: Byers D.S. (ed.). *ae prehistory of the Tehuacan Valley*. Vol.1. Environment and susbsistence. Austin, Texas: University of Texas Press. pp. 290-309.

**Martínez, S., L.M. Vásquez, J.L. Herrera, M. C. Vega, A. Muñoz. 2017.** Hongos fitopatógenos potencialmente micotoxigénicos en poblaciones de maíces en los estados de México y Tlaxcala. Suplemento de la Revista Mexicana de Fitopatología. Volumen 35, p. 111.

**Mariani, G. 1985.** Efectos que tiene el nitrógeno y la densidad de plantas sobre el rendimiento de grano y el contenido proteínico y la calidad del maíz híbrido 'Opaco - 2'. Ed. Limosa, México.

**Márquez Sánchez, F. (2007).** Para qué sirve la endogamia? *CIENCIA*. Octubre-diciembre, 2007: 72-78. [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58\\_4/PDF/13-483-72-78.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58_4/PDF/13-483-72-78.pdf)

- Mora-Mata E, Torres-Tapia M A, Zamora-Villa V M, Espinoza-Velázquez J, Facio Parra F. (2013).** Capacidad de germinación de semillas y vigor de plántulas en familias de maíz poliembriónico y de alto contenido de aceite. *Agraria* 10 (1): 19-26.
- Mora M.E. 2011.** Calidad física, fisiológica y bioquímica en genotipos de maíz que combina poliembriónía y alto contenido de aceite. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre, 2011. p. 14, 32,76.
- Muñoz, O. A. 2003.** Centli–Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli–maíz. Colegio de Postgraduados – SINAREFI. Montecillo, Estado de México. p. 133–14.
- Paliwal R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001.** El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma. [http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s26.htm#P0\\_0](http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s26.htm#P0_0).
- Pérez P, J. C. 2013.** Dterminacion de acidos grasos (oleico y linóleico) en siete diferente genotipos de maíz (*Zea mays L.*). Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo Coahuila. 52 pp.
- Pérez, G. N. (2002).** *Evaluacion de métodos de formación de semilla certificata del.Cuyuta Escuintla.: Zaca.*
- Poehlman J. M. y Allen S. D. 2005.** Mejoramiento Genetico de las Cosechas. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. Pp. 512.
- Poehlma, J. M. 1979.** Breeding field croups. 2nd ed, AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Prasanna, B.M., Vijay Chaikam and George Mahuku (eds). 2012.** Doubled Haploid Technology in Maize Breeding: Theory and Practice. Mexico, D.F.: CIMMYT. 56 pp.
- Quemé L. J., Larios B., C. Pérez R. y N. Soto L. 1991.** Aptitud combinatoria y predicción de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) de grano amarillo a partir de cruza dialelicas, evaluadas en dos localidades de las zona baja de Guatemala, 1991. *Revista Agronomía Mesoamericana* 2:24-30.
- Ramírez L. 2006.** Mejora de plantas alogamas. Universidad Pública de Navarra. España. p. 34.
- Randolph LF (1936).** Developmental morphology of the caryopsis in maize. *J Agric Res* 53:881–916

- Reyes, C.A., M.A. Cantú, H.R. Gill, J.G. García y N. Mayek. 2017.** Interacción genotipo ambiente en maíz cultivado en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 571-582.
- Rebolloza H, J Espinoza V, D Sámano G, VM Zamora V. 2011.** Herencia de la poliembrionía en dos poblaciones experimentales de maíz. *Rev. Fitotec. Mexico.* 34 (1): 27–33.
- Reed A J, G W Singletary, J R Schussler, D R Williamson, A L Christy (1988)** Shading effects on dry matter and nitrogen partitioning, kernel number and yield of maize. *Crop Sci.* 28:819- 825
- Rimache, M. 2008.** Cultivo de maíz .1° Ed. Empresa editora Macro E. I. R. L. Lima. Perú.
- Roblero M. E.G. 2019.** Caracterización Agronómica y Determinación de Calidad Física y Fisiológica en Maíces Segregantes de la Poliembrionía. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. p. 23-34.
- Ruiz, A. G. 2010.** Característica agronomica y rendimiento de grano de híbridos comerciales de maiz. (*Tesis de licenciatura* ). UAAAN, saltillo, mexico.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), 1998.** Resumen del programa anual de actividades.
- Sierra M. M., J. L. Montalvo E., A. Jiménez M., E. López F.M y M., S. Barrón F y R Valdivia B. 2005.** Adaptabilidad de híbridos triple de maíz y sus progenitores, para la región tropical del sur este de México. *Agronomía Mesoamericana.* 16(1): 13-18.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015.** Anuario Estadístico de la producción agrícola 1980-2017 (En línea). Consultado 13 de diciembre 2018 Disponible en <https://nube.siap.gop.mx/cierreagricola/>.
- SIAP, (. d. (2016).** *cierre de la producción Agrícola por cultivo "Modalidad riego más temporal"*. D.F. México: SAGARPA.
- Sodi M, D. 2006.** Las Grandes Culturas de Meso-américa –desde la llegada del hombre al Continente Americano hasta la última de las Culturas Prehispánicas. Panorama Editorial S. A. de C. V. México, D. F. Decimosegunda reimpresión. 198 pp. ISBN 968-38-0300-8
- Shull G. H.,1909.** A pure line method of corn breeding. *Am. Breeders Assoc. Rep.* 5: 51–59.
- Shull G. H., 1908.** The composition of a field of maize. *Am. Breeders Assoc. Rep.* 4: 296–301.

- Schrenk H. 1894.** Teratological notes. *Bull. Torrey Bot. Club.* 21: 226 – 227.
- Skovsted, A. 1939.** Cytological studies in twin plants. *Comp. Rend. Lab. Carlsberg* (Copenhagen). Ser. Phys. 22:427-446.
- Tollenaar, M. and Lee, E. A. 2011.** Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews.* 34(4):37-82.
- Valdez L. E. L. 2005.** Ganancia en calidad nutrimental de grano como respuesta asociada a la selección para poliembrionia en maíz. Master thesis. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. P. 2-4.
- Watson, S.A. 1988.** Corn marketing, processing, and utilization. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 882-940. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Weatherwax P. 1921.** Anomalies in maize and its relatives. *Bull. Torrey Club.* 48: 253-255.
- Webber, J.M. 1940.** Polyembryony. *The Botanical Review.* 6(11):575-598.
- Weatherwax, P. 1955.** History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, 1st ed., p. 1-16. New York, NY, USA, Academic Press.
- Wilkes, H.G. 1989.** Maize: domestication, racial evolution and spread. In D.R. Harris & G.C. Hillman, eds. *Forage and farming*, p. 440-454. London, Unwin Hyman.
- Fuente electronica.** <https://www.worldatlas.com/articles/world-leaders-in-corn-maize-production-by-country.html>