

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Selección De Híbridos Simples De Maíz Utilizando La
Metodología De Índice De Selección

Por

ROSALINO SUÁREZ ALVA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Selección De Híbridos Simples De Maíz Utilizando La Metodología
De Índice De Selección

Por

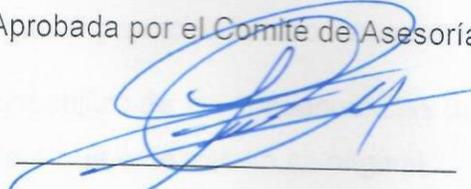
ROSALINO SUÁREZ ALVA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



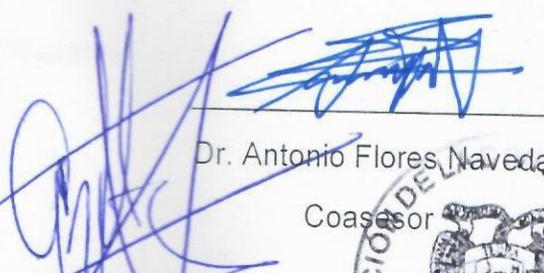
M.C. Eduardo Hernández Alonso

Asesor Principal



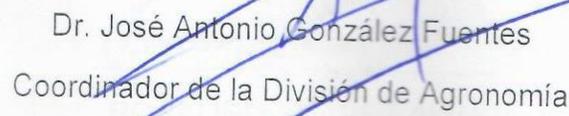
Ing. Raúl Gándara Huitrón

Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2022

04-04-2022
FHE

BANCO DE TESIS

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



ROSALINO SUÁREZ ALVA

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por la vida y salud que me ha brindado, por el cual me ha permitido culminar una etapa más en la vida, por enseñarme el camino correcto y concluir mi carrera profesional.

A mi **ALMA TERRA MATER**, por haber permitido cursar una de sus carreras profesionales, ser parte de ella y ser mi segundo hogar durante mi formación profesional.

Al **Dr. Humberto de León Castillo** (†) , por la amistad, consejos, conocimientos , confianza hacia mí para la realización de los trabajos de campo para la realización de esta tesis.

Al **M.C. Eduardo Hernández Alonso**, gracias por estar en la mejor disposición en todo momento para la asesoría de este trabajo y sobre todo por la confianza puesta en mí para la realización de esta tesis, así como su aportación y sugerencias de este trabajo.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda**, por su colaboración para la finalización de este trabajo.

Al **ing. Raúl Gándara Huitrón**, gracias por su colaboración en este presente trabajo, su apoyo, amistad, confianza incondicional durante la carrera y sus consejos profesional.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Joaquín Suárez Cortes y Esther Alva Atilano. Los amo.

A mi padre, por el amor, cariño y apoyo emocional que me has dado y hacer posible a que yo sea una persona de bien y con buenos valores.

A mi madre, gracias por dar la vida, por el amor incondicional que me has brindado y tu cariño, por ser quien me ha respetado mis decisiones personales.

A mis hermanos, **Felipe Suárez Alva, Celestina Suárez Alva, Ricarda Suárez Alva, Roberto Suárez Alva, Lourdes Suárez Alva y José Humberto Suárez Alva.** Por todas las alegrías que hemos pasado juntos y gracias por cada uno de ustedes por sus apoyos que han brindado para poder cumplir la meta, y una disculpa si en algún momento los he decepcionado.

A mi abuelita, **Alfreda Alva Altamirano** (†), gracias por sus consejos y sacrificios para que no faltara alimento en casa y gracias por compartir los mejores días de tu vida conmigo, no pude estar el día de tu partida, pero siempre te recordaré, porque fuiste mi segunda madre.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Declaración de no plagio.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIAS.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
Aspectos del cultivo de maíz.....	4
Importancia del maíz (<i>Zea mays</i>) en México.....	4
Importancia de los híbridos.....	6
Clasificación de los híbridos.....	7
Simples.....	7
Doble.....	8
Importancia de las semillas mejoradas.....	8
Importancia de ensayos de rendimiento.....	9
Densidad de la población.....	10
Importancia de índices de selección.....	11
Importancia del riego.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Material vegetal.....	13
Localización del área experimental.....	13
Localización de área experimental.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
Análisis de varianza por experimento.....	25
Análisis de Varianza Combinado.....	36

Agrupamiento y correlación de variables AMMI	40
Híbridos seleccionados.....	45
V. CONCLUSIÓN.....	48
VI. LITERATURA CITADA	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
4.1.	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de 50 híbridos evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.....	29
4.2.	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de 50 híbridos evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.....	35
4.3.	Cuadrados medios de análisis combinado de 100 híbridos de maíz evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.....	39
4.4.	Análisis de varianza de los valores del índice de selección de 97 híbridos de maíz (94 experimentales y 3 testigos).....	42
4.5.	Híbridos seleccionados en base al análisis de índice de selección.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
4.1.	Gráfico Biplot construido con las 13 variables agronómicas evaluadas de 100 híbridos de maíz.....	41

RESUMEN

En México, el maíz es un cultivo básico de una gran importancia para la población y para aumentar la producción el mejoramiento genético es una herramienta viable, la principal meta del mejoramiento genético de maíz es generar cruza de rendimientos superiores a las variedades criollas y mejoradas; con base al desafío que está pasando el país, el proyecto de investigación consistió en la evaluación del comportamiento agronómico de 94 híbridos de cruza simple provenientes del programa de mejoramiento genético del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario Castro E. Gil ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se evaluaron 13 variables agronómicas para lograr los objetivos siguientes: 1) demostrar que existe variabilidad entre los híbridos evaluados de acuerdo al modelo de evaluación establecido; 2) Emplear un índice de selección sobre los resultados para seleccionar los mejores híbridos de cruza simple; 3) Hacer selección de híbridos que superen a los testigos comerciales. Los ensayos de rendimiento se evaluaron en Buenavista dentro de las instalaciones de la UAAAN, campo experimental bajío. El diseño experimental que se ejecutó en el proyecto fue de bloques incompletos con un arreglo alfa-látice con dos repeticiones. De acuerdo a los resultados arrojados por el análisis de varianza individual y un análisis combinado, se demostró la existencia de variabilidad entre los materiales utilizados, en seguida con el uso del programa estadístico de componentes principales y con su gráfico Biplot, se identificaron tres agrupamientos con el propósito de tomar una variable representativa y en base a eso generar el índice de selección. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza con los valores del índice de selección se facilitó la identificación de los 10 mejores híbridos superiores en cuanto a rendimiento, precocidad y sanidad y los tres mejores son: híbrido 8, híbrido 43 y el híbrido 44.

Palabras Claves: Híbridos, Índice de selección, Rendimiento

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro país es participante importante en la producción mundial de maíz ocupando el 8° lugar con una producción de 27 228 242 t en una superficie de 7 157 586 ha. Aun así, es deficitario en la producción de maíz, lo que impone la necesidad de adquirir significativas cantidades en el mercado externo, anualmente importa 17 millones de toneladas de maíz debido al bajo rendimiento de este cereal a nivel nacional que es de 4.07 t ha⁻¹ (SIAP, 2020).

Los bajos rendimientos de maíz se deben a los factores climáticos específicos de cada ambiente, además de la nula adopción de tecnologías por los productores, como son: la introducción de variedades mejoradas y con las mejores prácticas agrícolas en el cultivo, lo cual refleja directamente en el volumen de la producción en México (SIAP, 2017)

Debido a lo anterior, se requiere genotipos que mantengan una respuesta estable de diferentes ambientes y año, además de un rendimiento alto, lo cual es factible en función del potencial genético del híbrido (Arellano *et al.*, 2011).

Narro, (2010) mencionó que es importante desarrollar materiales genéticos que presenten rendimiento y una buena tolerancia a todos los problemas edáficos asociados con ella, ya que ésta es una solución permanente, que eventualmente contribuye a una mejor conservación del ambiente.

Arellano, (2011) mencionó que el incremento en rendimiento está relacionado el 60% al potencial genético del híbrido y 40% depende de las prácticas de manejo de cultivo que se realicen.

En México se ha observado una relación positiva entre la tasa de adopción y el ingreso por hectárea, variable que depende del rendimiento y del precio.

En entidades como Sinaloa, donde la tasa de utilización de semilla mejorada es mayor a 90%, el alto rendimiento que se obtiene por unidad de superficie eleva el ingreso por hectárea. El precio de la semilla mejorada es otro factor que afecta la demanda de semilla mejorada, y por lo tanto la tasa de utilización de semilla mejorada. Es evidente que el uso de fertilizantes es complementario al uso de semilla mejorada, y la dosis de fertilizantes son significativamente más altas en productores que adoptan semillas mejoradas, comparados con productores que no usan (Bernard *et al.*, 2010).

Por ello, el precio de los fertilizantes, al igual que el precio de los plaguicidas, son determinantes en la tasa de adopción de semillas mejoradas. Gecho y Punjabi (2011) mencionaron que el precio de los insumos disminuye la probabilidad de adopción de las tecnologías mejoradas de maíz.

La producción de maíz a nivel nacional es insuficiente por el cual se exporta de estados unidos para abastecer la demanda y teniendo en cuenta que el uso de las semillas mejoradas de híbridos simples en el país no es suficiente ya que la mayoría no tiene los medios y el ambiente para poder adquirir material de híbridos simples para sus siembras.

En el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario Castro E. Gil de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se trabaja en la generación de híbridos que puedan ser utilizados comercialmente y satisfacer las demandas requeridas, tales como la falta de semillas mejoradas para uso nacional para que los agricultores incrementen sus rendimientos por unidad de superficie.

La manera rutinaria de generar nuevos híbridos es realizar cruzamiento entre líneas elite para ambientes específicos; en este estudio se analizará el comportamiento de 100 híbridos simples formados entre líneas de excelente comportamiento agronómico evaluados en una localidad representativa de la zona de influencia de la UAAAN.

Objetivos

1. Comprobar la existencia de diferencias en el comportamiento agronómico de los híbridos experimentales.
2. Identificar híbridos simples con potencial de rendimiento competitivo a los que actualmente se manejan en el mercado nacional.
3. Demostrar que la utilización de los híbridos de maíz ayuda a incrementar la producción por unidad de superficie.

Hipótesis

1. Dentro del germoplasma del Instituto Mexicano del Maíz existen líneas élite y sus combinaciones las cuales pueden ser tan buenas o mejores en comparación del germoplasma de las empresas semilleras.
2. Habrá diferencias en el comportamiento agronómico de los híbridos experimentales con atributos deseados de la cual podremos hacer selección.

II. REVISION DE LITERATURA

Aspectos del cultivo de maíz

La planta de maíz es de aspecto robusto, tiene un solo tallo de gran longitud, sin ramificaciones que pueden alcanzar hasta los cuatro metros de altura, la planta tiene flores femeninas y masculinas, la inflorescencia masculina es un espigón o penacho que puede almacenar de 20 a 25 millones de granos de polen.

En México, se debe prestar especial atención al maíz nativo y a los factores que ponen en riesgo su preservación, ya que este grano implica un conjunto de rasgos identitarios y simbólicos por sus usos alimenticios, religiosos, míticos y domésticos; al mismo tiempo, es un recurso de control político, económico y social (Vizcarra, 2011).

Importancia del maíz (*Zea mays*) en México

En México ningún otro cultivo tiene tanta importancia como el maíz, desde el punto de vista productivo, se ubica como el principal cultivo en comparación con el sorgo, trigo, cebada, arroz y avena, los cereales más cultivados en el territorio mexicano.

El maíz constituye el alimento de cientos de millones de personas en el mundo en desarrollo, en el Este y Sur de África, el habitante consume en promedio de 80 kg de maíz por año, en México, América central y el caribe, 170 kg, en Asia, la utilización anual de maíz es de 100 kg en promedio. Desafortunadamente, los países en desarrollo no producen suficiente maíz para satisfacer su demanda interna y deben importar cerca de 30 millones de toneladas de maíz cada año, nuestro país ocupa el 2° lugar con el mayor volumen de importaciones del grano internacionalmente, lo cual lo vuelve vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial (FIRA, 2014).

Es considerado de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, siendo uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Simon y Golik, 2016).

El maíz es el cultivo más importante del país, desde el punto de vista alimentaria, económica, social y política. Basta con decir que el consumo *per capita* de maíz en México es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos de América (Serna-Saldívar y Amaya-Guerra, 2008). Este cereal cubre más de 7.5 millones de hectáreas de la superficie agrícola sembrada (SIAP, 2011).

El maíz tiene tres aplicaciones importantes: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo partículas de diferentes tamaños, partículas en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico. En lo que representa a su aplicación como forraje, en los países desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aun en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos.

La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen que se utiliza como pienso; ha habido algunos intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El uso de semilla mejorada, se ha incrementado fuertemente, sobre todo con la participación de Sinaloa y otras áreas de riego en el país, constituyéndose estas zonas en las principales áreas productoras de maíz en México, con rendimientos

elevados de siete y hasta 12 t ha⁻¹, que contrastan con rendimientos de 300 a 500 kg/ha en zonas marginales.

La adopción de mejores tecnologías es un requisito para los productores de maíz, para que mejoren su competitividad. Se ha estimado que el potencial de producción sostenible de este cereal en México es de 52 millones de toneladas de las cuales son 28 millones serían factibles de lograr en el corto plazo (tres a seis años) , sin incrementar la superficie sembrada y sin utilizar maíz transgénico, mediante la aplicación de tecnología de producción, variedades y prácticas de cultivo disponible, desarrolladas por instituciones públicas de investigación y de educación superior (Turrent-Fernández, 2009).

Importancia de los híbridos

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento. Esto ha dado lugar a que el maíz haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad, rápida y ampliamente difundidas; ha sido también un catalizador para la revolución agrícola en otros cultivos. Actualmente la revolución híbrida no está limitada a los cultivos de fecundación cruzada, donde se originó exitosamente, y el desarrollo de los híbridos se está difundiendo rápidamente a las especies autofecundas (Troyer, 2009).

MacRobert *et al.*, (2014), comentaron que la semilla de maíz híbrido proporciona a los agricultores variedades que poseen características genéticas mejoradas, como el alto potencial de rendimiento y combinaciones de caracteres únicas para combatir las enfermedades y condiciones de cultivo adversas. Sin embargo, la calidad de la semilla híbrida depende fundamentalmente de los métodos de producción en campo que se realicen, las cuales deben de cumplir con las normas que garanticen la calidad y la implementación de un manejo agronómico apropiado, el uso de las semillas mejoradas proporciona atributos superiores tales como el potencial de rendimiento alto, tolerancia a enfermedades.

Escorcía *et al.*, (2010) mencionaron el propósito importante del mejoramiento genético de maíz por hibridación es generar cruces que superen en los rendimientos

de grano a las variedades locales criollas y mejoradas, aunque sabemos que existen limitantes para la adquisición de las nuevas tecnologías agrícolas y también la capacidad de adaptación y condiciones agroclimáticas no favorables para la producción de híbridos.

Por su parte, los maíces mejorados (híbridos) son los que satisfacen en buena medida las necesidades de la agroindustria mexicana, y ocupan tan solo 20 % de la superficie total sembrada con maíz y se producen principalmente bajo sistemas de riego en el noroeste de México, en donde se registra un uso notable de agroquímicos (SIAP, 2011).

Cabe mencionar, que los híbridos para que expresen todo su potencial genético a través del rendimiento de grano, es necesario suplir sus requerimientos nutricionales para un determinado nivel de productividad, de esta forma las plantas maximizan sus procesos fisiológicos, originando incrementos significativos en el rendimiento de grano.

Rimache, (2008) mencionaron que el maíz híbrido procede de una semilla obtenida de un cruzamiento controlado de líneas seleccionadas por su alta capacidad productiva. La semilla resultante da origen a plantas que demuestran un gran vigor híbrido, que se traduce en mayor rendimiento de grano por hectárea que pueden ser superior en un 20 o 30% a las usualmente obtenidas en las semillas de variedades comunes y para lograr una producción exitosa de maíz híbrido, se requiere de buenas prácticas de manejo, desde la selección del sistema de siembra, distancia adecuada, uso de semilla de alto potencial genético, hasta el desarrollo de un programa racional de control de malezas y plagas que, acompañado de una buena fertilización nos aseguren los máximos rendimientos.

Clasificación de los híbridos

Simples

Es un híbrido creado mediante cruzamiento de dos líneas endogámicas, la semilla de híbridos F_1 es la que se les vende a los agricultores para la siembra, por lo cual los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar mayor potencial de rendimiento en condiciones ambientes favorables.

En México todavía no existen líneas altamente productivas, por lo cual se usan híbridos dobles o trilineales; además, el costo elevado de la semilla de híbridos de cruza simple ha limitado su producción comercial (Luna *et al.*, 2012).

según Hallauer *et al.*, (2010), la producción comercial de semilla de híbridos de maíz de cruza simples es rentable cuando las líneas progenitoras hembra tienen un rendimiento mínimo de 3000 kg ha⁻¹, y para obtener líneas de maíz con alto potencial de rendimiento es necesario disponer de poblaciones base de tamaño grande, variables, y de alto rendimiento, y usar sistemas de endogamia moderado y su rendimiento puede aumentar mediante selección y mejoramiento de las líneas existentes.

Doble

Un híbrido de cruza doble se genera a partir de una cruza de híbridos de cruza simple, tanto en macho como la hembra, el cual tiene un rendimiento en semilla alto y con un precio de la semilla bajo y en rendimiento de grano es de un rango moderado a alto con las características de los híbridos muy variables, (Chávez., 1995, y MacRobert., 2015).

Triple

En la cual la formación del híbrido triple, la cruza simple se utiliza como hembra y la línea es la que se usa como progenitor masculino, con las características de que debe tener un buen productor de, (MacRobert., 2015).

Importancia de las semillas mejoradas

Las estimaciones señalan que la cantidad demandada total promedio de semilla en el periodo 2008-2010 fue de 160 mil toneladas anuales correspondientes a toda la superficie sembrada por los productores de maíz. De esta cifra, 68 mil toneladas corresponden a semilla mejorada y 92 mil toneladas a semilla criolla (García-Salazar y Ramírez-Jaspeado., 2014). Estos datos muestran que sólo 42.5 % de la demanda total corresponde a semilla mejorada, lo cual indica el enorme reto a enfrentar en

caso de que el objetivo fuera que la totalidad de la superficie de maíz se sembrara con semilla mejorada.

Tanto para los productores como los técnicos, es importante conocer adecuadamente el comportamiento del cultivo disponibles en el mercado para los diferentes ambientes que constituyen una importante herramienta para definir elección de la semilla a sembrar. La productividad y su estabilidad son los criterios fundamentales que deben guiar la recomendación (Presello *et al.*, 2012).

Existe evidencia de que el uso de fertilizantes es complementario al uso de germoplasma mejorado de maíz, y que las dosis de fertilizantes son significativamente más altas en productores que adoptan semilla mejorada, comparados con productores que no la usan (Bernard *et al.*, 2010). Por ello, el precio de los fertilizantes, al igual que el precio de los plaguicidas, son determinantes en la tasa de adopción de semilla mejorada. Al respecto Gecho y Punjabi. (2011) señalan que el precio de los insumos disminuye la probabilidad de adopción de tecnologías mejoradas de maíz.

Un aumento en la demanda de semilla mejorada es importante por el uso de semillas de alto rendimiento, la productividad por hectárea aumenta y en consecuencia la producción; y la venta constante en el precio de maíz, el ingreso del productor se incrementa por el aumento del rendimiento, lo cual mejora el nivel de vida del productor de maíz.

Importancia de ensayos de rendimiento

En este caso, tanto el mejoramiento genético como la biotecnología generan nuevos materiales con una alta frecuencia de cambios, que deben de ser evaluados en diferentes ambientes para su posterior recomendación de uso y rendimiento.

Tollenaar y Lee (2011) comentaron que los incrementos en la producción de grano que se han logrado en los últimos 60 años se atribuyen principalmente al fitomejoramiento (60%) y a la aplicación de mejoras tecnológicas (40%), como empleo de más fertilizantes, eficiente control de malezas, incrementos en la

densidad de población, surcos más estrechos, y utilización de híbridos superiores. En los ensayos de rendimiento se han evaluado de 5.5 a 16 plantas m² y los rendimientos de grano variaron de 1.6 a 11.6 t ha⁻¹ (Soltero *et al.*, 2010; Aguzar *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2014; y Haegele *et al.*, 2014).

La evaluación de híbridos experimentales de diferente origen, permite a los mejoradores la identificación de los mejores híbridos que se adapten a las condiciones agroecológicas de una determinada zona, por lo que la evaluación de genotipos, en ambientes contrastantes es un aspecto de muchísima relevancia (Monsanto, 2012).

Densidad de la población

Fondo, (2011) menciona que la densidad de población para el cultivo de maíz es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos, debido a que es una herramienta efectiva para la captura de luz.

El incremento de la densidad y el acercamiento de surcos determina un cierre anticipado del área, mejorando el aprovechamiento de la radiación solar y la competencia con malezas, sin embargo, existen diferencias genotípicas en la respuesta a la interacción densidad x espaciamiento (Satorre *et al.*, 2010).

La densidad de población es una de las prácticas culturales más importantes que influyen en el rendimiento de grano y otros componentes del rendimiento, y éstos últimos dependen estrechamente del ambiente, del genotipo, del manejo agronómico y de sus interacciones (González *et al.*, 2010; Tollenaar y Lee, 2011; Reynoso *et al.*, 2014).

La densidad de población está acondicionada principalmente por el cultivar, la duración del ciclo del cultivo, la fecha de siembra, la disponibilidad de agua, la anchura del surco y la dosis de fertilización.

Aun cuando en otros países como China, Argentina, Canadá e Italia (4.57, 5.65, 6.63 y 9.53 t ha⁻¹) se produce más grano que en México (3.99 t ha⁻¹), el Valle de

Toluca, en el Estado de México, México, es una región con gran potencial para la siembra de híbridos y variedades de alto rendimiento; la media es de 4.39 t ha⁻¹, SIAP., (2013), pero experimentalmente se han obtenido de 4.01 a 11.56 t ha⁻¹. Morales *et al.*, (2014); Sánchez, *et al.*, (2011), menciona que las densidades de siembra recomendadas para maíz varían según el objetivo, que puede ser grano, forraje o ambos, y Vera (2011) comentó que la interacción entre la reducción del espaciamiento y el aumento de la población han aumentado la productividad de los híbridos de maíz, en los cuales se han encontrado una mayor estabilidad de la producción, una población óptima de plantas por hectárea permitirá mejor captación de energía solar, mayor aprovechamiento de la humedad del suelo y los fertilizantes.

Importancia de índices de selección

Un índice de selección es un valor que resume diferentes variables en un valor sintetizado y único y de forma ponderada, además combina los valores fenotípicos propios de los genotipos a evaluar a distintos caracteres, (Ibáñez., 2015 y Rodríguez *et al.*, 2013) mencionaron que las características utilizadas para formar un índice de selección deben de ser de heredabilidad mayor que el rendimiento de grano y estar significativamente correlacionados con este para la determinación exacta de los valores obtenidos.

Tucuch, *et al.*, (2011) mencionaron que los índices de selección son caracteres agronómicos que ayudan a seleccionar materiales genéticos que se utilizan en la producción tanto de forraje como grano y permiten evaluar la eficiencia relativa de los índices estimados.

Rodríguez *et al.*, (2016) indicaron que para seleccionar los genotipos superiores es necesario tener en cuenta un amplio número de características agronómicas, las cuales pueden estar correlacionadas de forma positiva o negativa.

Yáñez., (2018) mencionó que los programas de mejoramiento genético han sido utilizados para hacer selección de manera simultánea para varias características considerando los aspectos genéticos y la importancia económica de las características involucradas.

Importancia del riego

FAO, (2014) señala que el agua es un factor importante para múltiples actividades de la población humana, se emplea tanto en la producción de cultivos agrícola, en la industria, ganadera, forestal y de los servicios domésticos. La agricultura es la que más agua emplea, se estima que el gasto está entre los 70% y 80% del agua dulce disponible, y se estima mundialmente que el 70% de toda el agua que se extrae de acuíferos, ríos y lagos está destinada a la agricultura, comparado con el 20% de parte de la industria y el 10% para usos domésticos.

Por el cual Ortiz., (2012), precisa que la producción de los alimentos con menor cantidad de agua empleada es una gran prioridad para la humanidad en el futuro si se desea seguir produciendo la suficiente cantidad de alimentos para una creciente población mundial.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material genético consistió en usar 94 híbridos de cruza simple experimentales y 3 testigos en dos repeticiones para un total de 100 genotipos. Los híbridos pertenecen al programa de mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario E. Castro Gil de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Localización del área experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las parcelas de investigación del Bajío de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a los 25° 22' de Latitud Norte y los 101° 02' de Longitud Oeste y una altura de 1742 msnm, con un clima seco semi-cálido, con invierno fresco, con lluvias en verano y una precipitación invernal superior al 10% del total anual.

La precipitación total anual media es de 350-400 mm, con una temperatura media de los 19.8°C, con un suelo de textura migajón y migajón arcilloso, con bajos contenidos de materia orgánica y posee una capa de carbonato de calcio.

Descripción de la parcela experimental y diseño experimental

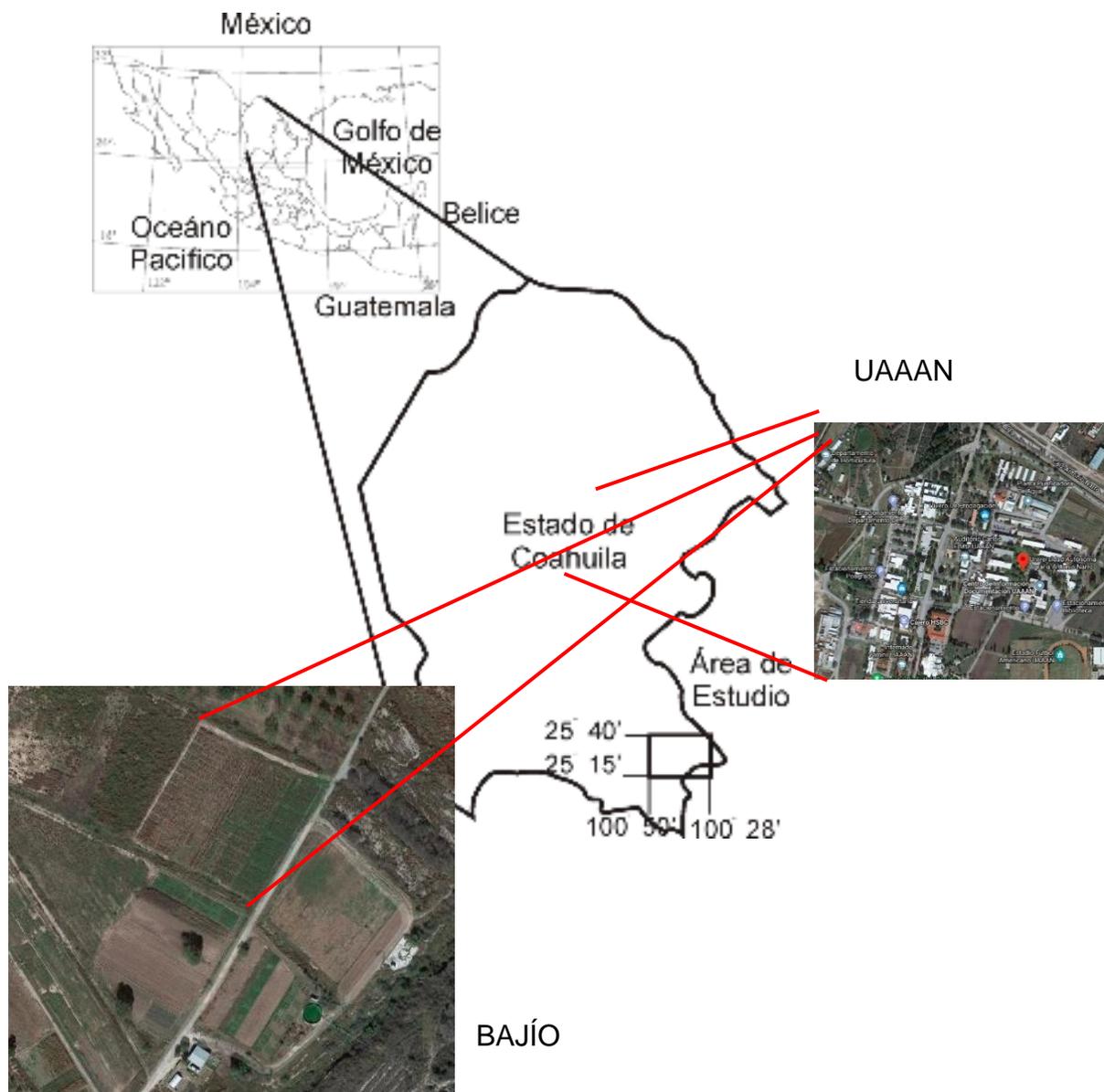
La unidad experimental consistió de un surco de 3.70 m de largo y 0.80 m entre surcos, se establecieron 23 plantas de una distancia de 0.16 m, dando una densidad de población de 83 333 plantas ha⁻¹.

El diseño experimental que se ejecutó en el proyecto fue de bloques incompletos con un arreglo alfa-látice con dos repeticiones.

Los 94 híbridos se establecieron en dos repeticiones y se separaron por experimentos de 50 híbridos (47 experimentales y 3 testigos) , los testigos

comerciales: AN-447de la UAAAN y dos híbridos comerciales, 3052 de PIONEER y Antílope de la empresa MONSANTO.

Localización de área experimental



Descripción de actividades agronómicas

Las labores culturales durante el ciclo del cultivo fueron realizadas de forma oportuna y de acuerdo a las necesidades de cada ambiente de estudio, buscando obtener los mejores resultados, haciendo énfasis en los momentos oportunos del cultivo.

Siembra

Se llevó a cabo manualmente, depositando alternadamente dos semillas, una semilla por golpe con un total de 35 semillas por parcela con el fin de obtener un número de 23 plantas para una toma de datos exactos.

Fertilización

La fórmula aplicada en los ensayos de rendimiento fue 200-100-100 kg ha⁻¹ de Nitrógeno, Fosforo y Potasio respectivamente, se distribuyó de la siguiente manera: todo el fosforo, potasio y la mitad de nitrógeno fueron aplicados a los 30 días de la siembra cuando la planta se encontraba en etapa V3, el resto del nitrógeno se aplicó al momento del aporque.

Control de maleza

Para el control de malezas en los ambientes de evaluación se utilizó un herbicida con el nombre comercial Atraplex® (cuyo ingrediente activo es Atrazina) a razón de 2 kg ha⁻¹.

Control de plagas

Esta actividad se llevó a cabo durante el ciclo vegetativo del cultivo, dándole más importancia en las primeras etapas del desarrollo y crecimiento del cultivo, del cual se utilizaron los siguientes insecticidas: Proclain® (Benzoato de emamectina) y Topgar® (Cromacina), para el control de gusano cogollero y minador respectivamente.

Riego

Se aplicó vía cintilla y estos fueron variables y estuvieron en función del requerimiento de la humedad.

Aclareo

Esta práctica se realizó cuando el cultivo estaba en etapa V5, el objetivo fue dejar 23 plantas por parcela útil.

Cosecha

Se realizó manualmente por cada parcela útil del cual se calificó la mazorca y se determinó peso de campo, porcentaje de humedad y peso hectolítrico.

Variables agronómicas evaluadas

Días a floración masculina (FM)

Este dato se toma cuando el cincuenta por ciento más uno de la inflorescencia masculina empieza a liberar polen tomando en cuenta los días transcurridos desde la fecha de siembra.

Días a floración femenina (FH)

Es el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el cincuenta por ciento más una de las plantas mantenga los estigmas receptivos.

Altura de planta (AP)

Para la obtención de estos datos se utilizaron reglas graduadas de no más de tres metros, este dato se toma en centímetros, desde la base de la planta hasta la base de la hoja bandera.

Altura de mazorca (AM)

Es la longitud que existe desde la base de la planta y el primer nudo de inserción de la mazorca principal, este dato se tomó en centímetros.

Acame de raíz (AR)

Este dato se toma en cuenta en porcentajes que representa a las plantas acamadas por parcela tomando en cuenta aquellas que representan una inclinación mayor a 30° con respecto a la vertical.

Acame de tallo (AT)

Este dato se toma en porcentaje que representa a las plantas quebradas por debajo de la mazorca principal.

Mala cobertura (MC)

Se expresa en porcentaje con relación al total de mazorcas que no alcanzaron a cubrir muy bien sus brácteas, quedando descubiertas las puntas de las mazorcas.

Plantas con *Fusarium* sp. (PF)

Esta enfermedad se presenta antes del llenado de grano. El dato se toma en relación al número de plantas con síntomas de la enfermedad con respecto al total de plantas presentes en la parcela experimental y se expresa en porcentaje

Calificación de planta (CP)

Este dato se toma con respecto al porte, sanidad potencial de rendimiento y precocidad de las plantas por parcela útil, la escala de calificación va de 1 a 9 (1 muy malo, 9 muy bueno).

Calificación de mazorca (CM)

Calificación visual en base al total de mazorcas cosechadas por parcela útil que tiene un buen llenado de grano, tamaño, uniformidad, sanidad y calidad de granos, la escala va de 1 a 9 y siendo 1 el más malo y 9 lo mejor.

Peso hectolítrico (PLH)

Es el peso de la masa de granos que ocupa el volumen de 100 litros, se determinó en base a una muestra representativa de mazorcas desgranadas en campo de la parcela útil, cuyo dato se tomó en el equipo Dickie Jhon.

Por ciento de humedad (HUM)

Este dato se obtuvo a través de la toma de un número de mazorcas en cada parcela, se desgranaron aproximadamente 250 gramos, para tomarle la humedad con el equipo Dickei Jhon.

Rendimiento (REND)

Para estimar el rendimiento en mazorca en toneladas por hectárea al 15.5 por ciento de humedad en todos los tratamientos, primeramente, se multiplico al peso seco de la mazorca (PS) por el factor de conversión (FC) cuyas formulas son las siguientes:

$$PS = \frac{(100 - \%H)}{100} * PC$$

Dónde:

PS= peso seco

%H= porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela.

PC= peso seco de campo en kg.

Para obtener el rendimiento ajustado primero se calculó el factor de corrección (FC) con la siguiente fórmula:

$$FC = \left(\frac{10,000m^2}{APU * 1000} \right)$$

FC = Rendimiento en toneladas por ha⁻¹ de mazorca en peso seco se obtuvo dividiendo la equivalencia de la hectárea sobre el resultado del producto (APU) , por 1000 para tener el rendimiento en toneladas.

APU= (número de plantas, menos uno) x (distancia entre plantas) x (distancia entre surcos)

1,000= es la constante para determinar el rendimiento en t ha⁻¹

10,000 m2= es el equivalente a una hectárea.

Para ajustar el rendimiento de la mazorca al 15.5% de humedad (RENDA) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{RENDA} = \text{REND} + \text{REND} \times (0.155).$$

Dónde:

RENDA= rendimiento de mazorca en t ha⁻¹ al 15.5% de humedad

REND= rendimiento estimado en mazorca en t ha⁻¹

0.155= es la constante para determinar el rendimiento al 15.5 % de humedad

Análisis estadísticos

Análisis de varianza combinado

Para la interacción entre los híbridos experimentales se realizó un análisis de varianza entre los 2 experimentos, cada uno con 50 híbridos evaluados con las trece variables definidas.

Se utilizó el modelo estadístico de bloques incompletos con arreglo alfa-látice con dos repeticiones:

$$y_{ijkl} = \mu + E_i + H_{j(i)} + R_{k(i)} + B_{l(ij)} + E_{ijkl}$$

Dónde:

y_{ijkl} = variables de respuesta

μ =efecto de la media general

E_i = efecto del i-ésimo experimento.

$H_{j(i)}$ = efecto del j-ésimo híbrido, de i-ésimo experimento.

$R_{k(i)}$ = efecto del k-ésimo repetición, dentro del i-ésimo experimento

$B_{l(ij)}$ = Efecto de la l-ésimo bloque dentro de la i-ésimo experimento, dentro del j-ésimo híbrido.

E_{ijkl} = efecto del error.

Para diferenciar el efecto de los híbridos que estos generan sobre las variables de respuesta de interés se realizó un análisis de varianza combinado de 97 híbridos experimentales y tres testigos comerciales a grupos en dos experimentos a través de un modelo de bloques incompletos con arreglo alfa-látice con dos repeticiones. Para ello se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + B_{j(i)} + H_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

R_i =efecto de la i -ésima repetición

$B_{j(i)}$ =efecto de la j -ésimo bloque dentro de la i -ésima repetición

H_k =efecto del k -ésimo híbrido

E_{ijk} = error experimental

Coefficiente de variación

Para calcular el coeficiente de variación (CV) se utilizó la siguiente formula.

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} 100$$

Dónde:

CV = coeficiente de variación

CMEE = cuadrado medio de error

\bar{X} = media general

Con base a los resultados del análisis de varianza combinado, el procedimiento a seguir fue construir un índice de selección, aplicando el modelo de componentes principales y su grafico Biplot, lo cual permite observar objetivamente las variables que se agrupan por estar correlacionadas y de cada grupo se eligió la variable más representativa del resto de las variables correlacionadas.

Gráfico Biplot

Para analizar y observar si existen agrupamientos entre las 13 variables, es importante trabajar con las medias ajustadas estandarizadas, ya que cada carácter fue tomado en diferente medida de medición como son: calificaciones, porcentajes, t ha⁻¹, cm, días y volumen, las variables se estandarizaron con la prueba de Z con la finalidad de igualar los valores teniendo una media igual y una desviación estándar igual a uno, para obtener dichos resultados se utilizó la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{y_i - \bar{y}}{Q}$$

Donde:

Z = valor estandarizado

y_i = valor observado

\bar{y} = promedio

Q = desviación estándar de la variable de la ecuación

Estandarizado los valores de las trece variables y los 50 híbridos, se agruparon en una tabla donde los genotipos representan las filas y las variables fueron las comunes, de esta forma se realizó el análisis de componentes principales y posteriormente se generó el Biplot con la ayuda del programa estadístico SAS 9.0.

Para la selección de variables se tomó como criterio la longitud del vector y la correlación de las variables en Biplot, además la variable para el desarrollo del cultivo definida por el criterio propio del mejorador de acuerdo a los objetivos de la investigación.

Las variables seleccionadas fueron las siguientes:

Floración femenina (FH), plantas con *Fusarium* (PF) y rendimiento (REND), identificadas las variables se procedió a integrarlas en un índice de selección para su identificación de los híbridos más sobresalientes de acuerdo a las variables seleccionadas.

Índices de selección

Después de haber tenido el gráfico Biplot e identificar los tres agrupamientos entre los cuadrantes cartesianos por variable correlacionados, se seleccionó una variable de cada agrupamiento que tuviera correlación con las otras dentro del mismo grupo y representara el resto del grupo.

Para esto las variables seleccionadas fueron las siguientes: floración masculina, plantas con *Fusarium* y rendimiento, son las tres variables asociadas con el resto de las variables, cada una representa un grupo de variables.

Con la ayuda de las tres variables seleccionadas se construyó el índice de selección para ubicar los híbridos más sobresalientes en cuanto a precocidad, sanidad y rendimiento. Los valores de cada variable del híbrido seleccionado se emplearon para estimar el valor al mérito de cada híbrido correspondiente.

En este caso se empleó un software diseñado para realizar el índice de selección (IS) para cada híbrido utilizando la fórmula propuesta por Barreto *et al.*, (1991).

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$IS = \left[\left((Y_i - M_j)^2 * I_k \right) + \left((Y_i - M_j)^2 * I_k \right) + \dots + \left((Y_i - M_j)^2 * I_k \right) \right]^{1/2}$$

Dónde:

IS= Es el índice de selección

Y_i = es la variable en unidades Z

M_j = Es la meta deseada para cada variable, también en unidades Z

I_k = Es la intensidad de selección para cada variable

Meta de selección

Es la asignación de un valor a cada variable en base a las unidades de desviación estándar de promedio que se desea lograr en la selección, toma valores de -3 a +3,

el valor negativo indica seleccionar aquellos genotipos que se encuentran por debajo de la media de la población para el variable evaluada y los valores positivos seleccionan genotipos que muestran una expresión fenotípica por arriba de la media de la población, para seleccionar genotipos que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor a cero.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$MD = \frac{VD - \bar{Y}}{S}$$

Donde:

MD= meta deseada

VD= es el valor deseado de la variable, tomando en cuenta la expresión deseable dentro de la población, puede estar por encima o por debajo de la media teniendo en cuenta la variable y el objetivo del fitomejorador.

\bar{Y} = valor medio de la variable.

S= desviación estándar de la variable de interés.

La intensidad de selección es la importancia que se da a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 0 a 10, el valor es diferente para cada una de las variables, según el criterio del investigador.

Una intensidad mayor (0) es asignado a la variable de menor interés y el valor mayor (10) representa la variable de mayor importancia.

El criterio para la selección de los mejores híbridos, se tomó con valores obtenidos en el índice de selección ya que los valores se utilizaron como variables para integrar en un análisis de varianza, la cual se analizó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_{i(j)} + H_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable observada del i-ésimo ambiente, de la j-ésima repetición, del k-ésimo tratamiento.

μ = el efecto de la media

$R_{i(j)}$ = efecto de la i-ésima repetición dentro del j-ésimo experimento.

T_k = efecto del k-ésimo bloque dentro del repetición por experimento

E_{ijk} =efecto del error

Realizado el análisis de varianza de índice de selección, seleccionar los mejores híbridos y el criterio de selección fue utilizado el error estándar obtenido en el análisis, el cual se multiplico por dos, posteriormente y se agregó al índice de selección más bajo y a partir de aquí se observó los híbridos que estaban en el rango de valores y seleccionar los mejores 10.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta la discusión e interpretación de los resultados con base a los análisis de varianza generados de la evaluación de los 47 híbridos generados y 3 testigos de diferentes empresas semilleras, evaluados en el ciclo Primavera – Verano del año 2018-2019, con el siguiente orden: i) Comenzando con la interpretación de los análisis de varianza individual y combinados de las 13 variables agronómicas utilizadas, ii) Construcción del índice de selección tomando en cuenta las variables representativas de grupos correlacionados, iii) Se termine con la identificación de los híbridos experimentales superiores en base al índice de selección.

Análisis de varianza por experimento

El Cuadro 4.1 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza individual y sus niveles de significancia para cada fuente de variación.

Para la fuente de variación repeticiones, solo cuatro variables presentaron diferencias estadísticas al $p \leq 0.05$ y al $p \leq 0.01$ (AP, AM, CM, HUM), es decir, el diseño utilizado fue eficaz, esto permitió detectar las diferencias entre las repeticiones y así minimizar el efecto del error experimental.

En la fuente de variación de bloques dentro de repetición se presentaron diferencias estadísticas en AM y AP, esto indica que el bloqueo resultó eficiente para estas variables, debido a que dichas diferencias indican la variación existente en el lugar de evaluación, el resto de los variables no presentaron diferencias significativas.

En la fuente de variación de híbridos solo ocho variables presentaron diferencias significativas al $p \leq 0.05$ y al $p \leq 0.01$, las cuales fueron: FM, FH, AP, AM, CM, PF, REND, HUM, considerando que cada progenitor de los híbridos presenta diferente

fondo genético era de esperarse dicha respuesta. Las variables que no presentaron diferencias significativas fueron: AT, MC, CP, PHL y AR, es decir, la diferencia para estas variables fue nula.

Desglosado por variable, se tiene que para días a floración en macho y hembra, estas variables presentan valores de coeficiente de variación 2.38 y 2.55, indicando que se encuentra en un rango aceptable y eso da a entender que la información es confiable, el valor medio fue de 81 días a floración para macho y 82 días para hembras con valores mínimos y máximos que van de 76 a 87 días para las dos variables, de acuerdo a los resultados, los híbridos se encuentran en un rango de maduración de precoces a intermedios, los cuales favorecen a los productores que se ubican en las regiones que existe alguna forma de suministrar los riegos tecnificados o también para las zonas donde se presentan las precipitaciones temporales altas. De acuerdo con Zaidi *et al.*, (2016) las variables de floración repercuten directamente con el rendimiento final de grano, debido a que la sincronía entre los días a floración masculina y femenina define la fertilidad de cada planta y el número de granos de por mazorca y la asincronía floral es de 2 a 3 días en condiciones óptimas del cultivo, aunque este intervalo tiende a alargarse bajo condiciones de estrés.

Para las variables de altura de planta y altura de mazorca los valores de coeficiente de variación son de 6.45 y 8.05 indicando que se encuentra en el rango aceptable, por lo cual los datos de las variables son confiables, las medias de 238.92 cm y 137.82 cm con valores mínimos y máximos de 206 cm a 274 cm en altura de planta y 108.5 a 173 cm en altura de la mazorca.

En este caso, el porte de la planta es un factor importante para los productores, ya que es determinante (positivo y a la vez negativa) a la hora de la compra de semillas, para las plantas de buena estatura los productores los pueden usar para ensilar, pero para los que realizan la cosecha manual no les favorece una planta alta y el manejo agronómico es más complicado, por el cual siempre se opta con hacer selección de híbridos de porte mediano.

Para las variables acame de raíz y acame de tallo tienen valor de coeficiente de variación de 34.65 y 8.78 indicando que encuentra en el rango aceptable, por el cual los datos son confiables de estas variables, resultando una media de 9.87 para acame de raíz y 8.78 para acame de tallo y con valores mínimos y máximos de 8.05 a 27.76 de raíz y 8.01 a 11.9 en acame de tallo. Para estas dos variables es muy importante tener híbridos de un porte bajo a mediano, lo cual ayuda a evitar tener mayor porcentaje de acame de raíz y tallo.

Para la variable mala cobertura, se considera un problema (merma en rendimiento) de pudrición a la mazorca y puede ser por hongos, insectos y por germinado a causa de lluvia; esta variable se presenta un coeficiente de variación de 58 indicando que no es muy aceptable y por ende los datos no son confiables y tiene una media de 17.39 y con valores mínimos y máximos de 7.99 a 48.94 por ciento respectivamente.

Para esta variable es muy importante seleccionar híbridos que tenga la mazorca bien cubierta por la hoja (totomoxtle) para evitar las mermas en rendimiento por cuestión de calidad de grano.

La variable plantas con *Fusarium* se obtuvo el coeficiente de variación de 30.4 que indica que está en el rango aceptable por el cual el dato de la variable es confiable y presentó una media de 19.13 con valores de mínimo y máximo de 8.48 a 37.89 respectivamente, lo que indica que se debe de tener en cuenta que los híbridos tienen un porcentaje de daño por este hongo.

Para la variable calificación de planta y mazorca, el coeficiente de variación es de 22.72 y 19.21 quedando en un rango aceptable, por lo cual los datos de las variables son confiables, en las cuales los valores la media es de 5.16 y 5.54 con las mínimas y máximas de 3.5 a 7 para la planta y 3.5 a 8 para la calificación de mazorca.

Para las dos variables evaluadas están relacionadas junto con el rendimiento, ya que si la planta tiene un buen porte y una buena mazorca nos dará un rendimiento favorable y eso nos favorece para los productores quienes tendrán un interés.

Para la variable rendimiento es un aspecto de mayor relevancia para el mejorador y los productores, ya que es el mayor interés para ambos, para esto la variable

rendimiento tiene un coeficiente de variación de 18.57 indicando estar en el rango aceptable, por el cual los datos de la variable son confiables y presenta una media de 13.59 t ha⁻¹ con valor mínimo y máximo de 7.92 a 21.83 t ha⁻¹.

Para este caso los híbridos con un rendimiento sobresaliente mayor a los testigos comparados, son el híbrido 64 y 8 dando un rendimiento promedio de 18.94 y 18.40 t ha⁻¹.

El Peso hectolítrico es una variable importante debido a que tiene una relación directa con rendimiento y calidad del grano, para esta variable presenta un coeficiente de variación de 8.56 y una media de 72.63 kg/hl con un mínimo y máximo de 44.4 a 78.9 kg/hl, mostrando que el grano de los híbridos es de buena calidad.

Este variable es de suma importancia para la industria de molienda, ya que entre más sano sea el grano mayor proporción de subproductos y de mejor calidad y para esto el híbrido 37 con un valor de 79.38 kg/hl.

La variable humedad, presentó un valor de coeficiente de variación de 7.28 indicando que se encuentra en el rango aceptable y los de la variable son confiables, la cual tiene una media de 19.62 por ciento y con valor mínimo y máximo de 16 a 23.6 por ciento.

La humedad de los granos es un factor relacionado a la calidad y sanidad respecto al rendimiento, los granos de buena sanidad mantienen en buena calidad los almidones, azúcares, sacarosa, fructuosa, aceites y más componentes del grano y para llevar una buena conservación de grano es recomendable hacerlo de 14 por ciento de humedad o menos, para evitar problemas de patógenos en el almacenamiento.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de 50 híbridos evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.

F.V.	G.L.	FM	FH	AP	AM	AR	AT	MC	PF	CP	CM	REND	PHL	HUM
		(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(1-9)	(1-9)	(t ha ⁻¹)	(kg/hl)	(%)
REP	1	1.21	0.36	3844.01**	1883.56**	22.85	0.35	47.65	0.2	0.36	4.84*	0	8.46	11.15*
BLOQ / (REP)	8	5.37	3.21	595.51*	375.58**	14.35	1.05	108.23	72.27	2.66	1.09	1.81	36.72	2.05
HÍBRIDOS	49	14.28**	13.69**	461.94*	438.34**	18.81	0.67	86.41	56.83*	2.07	2.59**	15.51**	55.87	6.09**
ERROR	41	3.73	4.34	238.11	123.26	11.71	0.59	101.79	33.87	1.37	1.13	6.38	38.67	2.04
TOTAL	99													
C.V		2.38	2.55	6.45	8.05	34.65	8.78	58	30.4	22.72	19.21	18.57	8.56	7.28
MEDIA		81.23	81.66	238.92	137.82	9.87	8.78	17.39	19.13	5.16	5.54	13.59	72.63	19.62
MÍNIMA		75.5	75.5	206	108.5	8.05	8.01	7.99	8.48	3.5	3.5	7.92	44.4	16
MÁXIMA		86.5	86.5	274	173	27.76	11.9	48.94	37.89	7	8	21.83	78.9	23.6
E. E		1.47	1.58	11.75	8.45	2.60	0.60	6.37	4.47	0.89	0.81	1.92	4.68	1.04

*, **= Significancias estadísticas al $P \leq 0.05$ y al $P \leq 0.01$; REP=Repeticiones; CV= Coeficiente de variación; EE= Error estándar; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; FM= Floración macho; FH= Floración hembra; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC= Mala cobertura; PF= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de planta; CM= Calificación de mazorca; REND= Rendimiento; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

Análisis de varianza individual

En el Cuadro 4.2, para la fuente de variación repeticiones se obtuvieron diferencias estadísticas significativas al ($p \leq 0.01$) para cinco variables evaluadas: AP, AM, CP, HPL y HUM, la cual demuestra que el diseño utilizado es confiable, y permitió la observación de las diferencias presentes entre las repeticiones y minimizar el efecto del error experimental y tener una mejor observación de las diferencias entre los híbridos. El resto de las variables no presentaron diferencias estadísticas.

La fuente de variación bloques dentro repeticiones, se encontraron efectos significativos estadísticamente al ($p \leq 0.01$) para tres variables evaluadas: AP, AM y CM, esto demuestra que el bloque resultó ser eficiente para estas variables evaluadas, ya que las diferencias demuestran la variación que hay en el terreno de evaluación y esto permite determinar que el bloque fue eficiente en el ambiente señalados y facilitara una selección precisa de los híbridos evaluados.

Para la fuente de variación híbridos se encontró diferencias estadísticas significativas al ($p \leq 0.01$) a doce variables evaluadas: FM, FH, AP,AM, AR, AT, PF, CP, CM, REND, PHL y HUM, esto demuestra que hay variabilidad en los híbridos estudiados, con esto se facilita de que al menos un híbrido sea diferente al resto de los evaluados, la cual facilitara hacer una selección oportuna para los objetivos del presente trabajo.

Interpretando las variables evaluadas, se obtuvo que para la floración macho y hembra los valores del coeficiente de variación son de 2.57 y 2.93 indicando encontrarse el rango aceptable y donde los datos de las variables son confiables: para las medias fueron 75.74 días a floración machos y 76.16 días para la hembras con sus valores mínimos y máximos que van de 62 a 82.5 y de 62 a 83.5 días a floración, la cual muestran que los híbridos son de un rango intermedios a tardíos a la cual favorecen a los productores que cuentan con suministros de agua y sistemas de riego tecnificados y a los que se encuentran en zonas con una mayor precipitación, esto es necesario para los híbridos tardíos ya que ocupan un mayor suministro de agua para la expresión y desarrollo del mismo.

La etapa de floración en el maíz, que involucra la diseminación del polen y la aparición de los estigmas, es el período más crítico en el desarrollo de este cultivo, sobre todo desde el punto de vista de la determinación del rendimiento final (Llano y Vargas., 2011).

Para estas variables, son importantes ya que son los que determinan la precocidad de los híbridos, es el tiempo comprendido entre la emergencia y la floración de las plantas y esto es determinante a la hora de elegir una variedad a cultivar, y para los híbridos que tienen una buena precocidad, dan la oportunidad para aquellos productores que deseen llevar a cabo dos ciclos por año.

Para las variables altura de planta y mazorca sus valores de coeficiente de variación es de 5.05 y 6.68 indicando que se encuentra en un rango aceptable y los datos de estas variables son confiables a la cual presentan: medias de 254.01 cm y 149.33 cm y con valores mínimos y máximos de 172 a 294 cm de altura de plantas y con 91.5 a 216.5 cm en altura de la mazorca.

Estas variables son importantes para el manejo agronómico y sus labores culturales del cultivo, ya que depende del porte de los híbridos se asigna el objetivo, sea para forraje o para grano, para los portes de altura baja son de interés para los productores que realizan la cosecha manual.

La variable acame de raíz y acame de tallo tiene valores de coeficiente de variación de 54.59 y 34.59 lo que indica que se encuentre en un rango no aceptable, por lo cual los valores de estas variables son poco confiables, a la cual presentaron una media de 11.57 para acame de raíz y 9.54 para tallo con valores mínimos y máximos de 8.21 a 38.75 en raíz y 8.21 a 43.96 en acame de tallo.

El acame se presenta cuando en un lote de cultivo establecido a campo abierto ocurren tres factores determinantes: plantas con escaso desarrollo radicular; exceso de humedad debido a un riego pesado, lluvia o inundación; y vientos con velocidad superior a 30 km/h. En estas condiciones el viento empuja las plantas, cuyas debilitadas raíces no pueden sujetarlas a un suelo reblandecido por la humedad; el resultado: plantas severamente inclinadas o completamente acostadas. Los cultivos

acamados sufren pérdidas debido a que las plantas ya no funcionan de manera normal reduciendo su rendimiento; cuando el fenómeno ocurre en un momento cercano a la cosecha, se dificulta la recuperación del producto por la maquinaria que realiza la trilla. El agrónomo tiene mucha responsabilidad en la prevención del acame; cualquier acción errónea en el manejo agro cultural, nutricional o fitosanitario del cultivo puede provocar condiciones favorables para que se presente este fenómeno (Gou *et al.*, 2017).

Para la variable de mala cobertura, es considerado un problema que afecta directamente al rendimiento por agentes bióticos y por germinado en la mazorca causado por las lluvias, presenta un coeficiente de variación de 45.4 indicando que se encuentra en un rango aceptable y los datos de esta variable son confiables a la cual tiene una media de 15.78 con valor mínimo y máximo de 7.55 a 40.27 por ciento.

La cobertura de mazorca es un carácter de importancia económica que influye grandemente en las pérdidas posproducción y postcosecha, y en el deterioro de campo ocasionado por insectos y enfermedades fungosas, en áreas de alta precipitación pluvial donde el agricultor deja su cultivo en el campo por periodos prolongados. En la adopción de nuevos cultivares de maíz es importante que éstos posean buena cobertura y sanidad de mazorca.

La variable plantas con *Fusarium* se obtuvo un coeficiente de variación de 35.64 indicando que se encuentra en el rango aceptable y el dato de la variable es confiable, presenta a media de 21.48 y con valores mínimo y máximos de 8.57 a 66.43 correspondientes.

Para esta variable tiene una relación directamente con sanidad y rendimiento, a la cual se debe de tener mucho cuidado a la hora de hacer selección o cruza de los progenitores de los híbridos.

Fusarium spp. es una de las especies fúngicas más prevalente en el maíz y una de las que más interés despierta debido a la preocupación por los metabolitos secundarios tóxicos que produce y esta preocupación deriva del hecho de que el

maíz es un componente significativo en la cadena de alimentos humanos, lo que pone de manifiesto la necesidad de comprender la biología de la interacción huésped patógeno (Duncan *et al.*, 2010). Por el cual, en la actualidad, el maíz cultivado es obtenido con técnicas de mejora genética (MAPAMA, 2017). La mejora genética y la selección de nuevas variedades no solo busca conseguir una mayor adaptabilidad local sino también mejorar la resistencia a factores bióticos que pueden reducir su calidad y rendimiento, como hongos, insectos o malas hierbas (Cao, 2013).

Para las variables calificación de plantas y calificación de mazorcas donde tienen los valores de coeficiente de variación de 18.69 y 15.36 y esto muestra que se encuentran en el rango aceptable y los datos de estas variables evaluadas son confiables a la cual presentaron valores de la media 5.28 y 6.18 y con sus valores mínimo y máximos de 1 a 7.5 para la calificación de planta y 3.5 a 8 para la calificación de mazorca.

Estas variables son importantes para el mejorador y a los productores, porque están relacionados con el rendimiento y los subproductos finales, para la calificación de estas dos variables se debe de tener en cuenta que deben de cumplir un buen porte (sanidad, vigor, estructura, tamaño, etc.) el cual se busca mejorar.

La variable rendimiento, es una variable de suma importancia para el mejorador y de mucho interés a los productores, ya que cada ciclo se buscan nuevos híbridos con mejores rendimientos, esta variable tiene un coeficiente de variación de 24.81 indicando que se encuentra en un rango aceptable y los datos de la variable son confiables y presenta una media de 14.18 t ha⁻¹ y con su valor mínimo y máximo de 3.05 a 21.69 t ha⁻¹.

De acuerdo a los resultados demuestra que los progenitores de los híbridos son estadísticamente diferentes para las variables estudiadas y que presentan un buen potencial de rendimiento.

Para obtener altos rendimientos, el enfoque debe de estar en aumentar la cantidad de granos por mazorca y aumentar el peso de cada grano. La meta de cualquier

agricultor es obtener altos rendimientos de su maíz, y hay varios factores agronómicos que puedan influenciar en el resultado, muchos pueden ser manipulados por el agricultor mismo conociendo las condiciones de suelo y clima, una vez que se haya escogido la variedad idónea para las condiciones locales, la siembra se hace a una densidad que deja permitir una mazorca por planta y aplicando un programa nutricional balanceado, y el agricultor lo podrá lograr su meta, (Tanaka y Yamaguchi, 2014).

El peso hectolítrico es un componente de suma importancia, ya que existe una relación directa con rendimiento y calidad de grano, esta variable presentó un coeficiente de variación de 2.61 indicando que se encuentra en un rango aceptable y que el dato de la variable es confiable, tiene una media de 74.21 kg/hl con un mínimo y máximo de 67.85 y 79.85 kg/hl respectivamente.

Es el parámetro que mejor conoce el productor agropecuario la cual se define como el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros, un valor muy útil porque resume en un solo valor qué tan sano es el grano, cuanto más sano sea (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, *fusariosos* o con presencia de cualquier enfermedad), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano. Por lo tanto, cuanto más sano, mayor extracción de harina. Y a su vez, es una medida de la homogeneidad de la partida de grano, factor clave en el proceso industrial y, por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera (Urías *et al.*, 2016)

La variable humedad presenta un valor de coeficiente de variación de 7.31 la que indica que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de esta variable son confiables, tiene una media de 18.48 por ciento y con un mínimo y máximo de 14.9 a 20.9 por ciento respectivamente.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de 50 híbridos evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.

F.V.	G.L.	FM	FF	AP	AM	AR	AT	MCOB	FUS	CP	CM	REND	PHL	HUM
		(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(1-9)	(1-9)	(t ha ⁻¹)	(kg/ha)	(%)
REP	1	9.01	4.84	1806.25**	2199.61**	17.24	1.11	99.98	37.6	6.76*	0.16	8.91	63.84**	10.11*
BLOQ / (REP)	8	3.21	2.84	712.91**	266.81*	35.32	18.67	33.45	63.26	1.41	1.98*	14.06	6.72	3.28
HÍBRIDOS	49	22.63**	25.79**	888.60**	869.88**	68.65*	49.42**	60.42	143.40**	3.54**	2.97**	29.72**	9.59**	3.86**
ERROR	41	3.81	5.01	164.7	99.69	39.95	11.84	51.35	58.66	0.97	0.91	12.37	3.77	1.82
TOTAL	99													
C.V		2.57	2.93	5.05	6.68	54.59	34.59	45.4	35.64	18.69	15.36	24.81	2.61	7.31
MEDIA		75.74	76.16	254.01	149.33	11.57	9.94	15.78	21.48	5.28	6.18	14.18	74.21	18.48
MÍNIMA		62	62	172	91.5	8.21	8.21	7.55	8.57	1	3.5	3.05	67.85	14.9
MÁXIMA		82.5	83.5	294	216.5	38.75	43.96	40.27	66.43	7.5	8	21.69	79.85	20.9
E. E		1.45	1.62	10.39	7.95	5.035	2.839	5.503	6.00	0.77	0.68	1.79	1.48	1.12

*, **= Significancias estadísticas al $P \leq 0.05$ y al $P \leq 0.01$; REP=Repeticiones; CV= Coeficiente de variación; EE= Error estándar; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; FM= Floración masculina; FH= Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC= Mala cobertura; PF= Plantas con *fusarium*; CP= Calificación de planta; CM= Calificación de mazorca; REND= Rendimiento; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

La humedad máxima en el grano de maíz para la comercialización es de 14 por ciento y se puede determinar desde campo empleando equipos portátiles, pero es necesario que estos equipos estén debidamente calibrados para tener datos que le permitan a los productores y técnicos tomar la decisión del momento oportuno para poder cosechar y, sin embargo, por cada décima (0.1) en el porcentaje de humedad que supere a este valor se realiza un descuento en el pago equivalente (Ortiz *et al.*, 2016).

Análisis de Varianza Combinado

De acuerdo al resultado del análisis de varianza del experimento combinado, se encuentran las fuentes de variación y los niveles de significancia.

En el Cuadro 4.3 de los cuadrados medios de análisis combinado, para la fuente de variación experimento se detectaron diferencias significativas al ($p \leq 0.05$ y al $p \leq 0.01$), para diez variables evaluadas: FM, FH, AP, AM, AR, AT, PF, CM, HUM y PHL, y esto nos indica que el diseño atizado fue eficaz, lo cual permitió observar las diferencias que hubo entre los experimentos y así se minimiza el efecto del error experimental para conseguir una mejor apreciación de las diferencias entre los genotipos evaluados. El objetivo de la experimentación es obtener datos fiables que nos permitan establecer comparaciones entre tratamientos diferentes y apoyar o rechazar hipótesis de trabajos, resulta de interés e importancia para el investigador y para los que lo aplican el resultante de las investigaciones.

Para la fuente repeticiones dentro del experimento, se obtuvieron efectos estadísticamente significativos al ($p \leq 0.05$ y al $p \leq 0.01$) para cinco variables evaluadas: AP, AM, CP, CM y HUM, esto demuestra que la repetición dentro del experimento fue eficiente para estas variables, ya que las diferencias indican que la variación que existe en el terreno de evaluación, permite determinar que la repetición fue eficiente en las variables señalados y esto permitirá una selección más precisa de los híbridos experimentales.

Para la fuente de variación Híbridos dentro del experimento, se detectaron diferencias significativas estadísticamente al ($p \leq 0.05$ y al $p \leq 0.01$), para once

variables: FM, FH, AP, AM, AT, PF, CP, CM, HUM, PHL y REND, lo que expresa que existe una variabilidad en los híbridos evaluados, esto aumenta la posibilidad de que al menos un híbrido sea diferente al resto de los evaluados y es muy importante esto ya que permitirá hacer una selección adecuada que convenga a los objetivos del trabajo.

Desglosando el cuadro por variable evaluado, se tiene que para días a floración en macho y hembra los valores del coeficiente de variación son de 2.74 para las dos variables a la cual indica que se encuentran en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables, a las cuales presentaron una media de 78.48 días a floración macho y 78.91 días a floración hembra.

Las variables altura de planta y altura de mazorca, el resultado del coeficiente variación son de 5.75 y 7.35, lo que indican que se encuentran en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables a las cuales presentaron una media de 246.46 cm para altura de planta y 143.57 cm para altura de mazorca

Para las variables acame de raíz y acame de tallo, tienen los valores de coeficiente de variación de 47.37 raíz y 26.62 para tallo, mostrando que se encuentran en un rango aceptable y por lo cual indica que los datos son confiables y presentan una media de 10.72 para raíz y 9.36 para acame de tallo.

En la variable mala cobertura, se obtuvo un resultado del coeficiente de variación de 52.75 lo que indica que se encuentra en un rango no aceptable y que lo datos de la variable son poca confiables, a la cual presentó una media de 16.58 por ciento de mala cobertura.

Para la variable plantas con *Fusarium*, se tiene un coeficiente de variación de 33.48, lo que muestra que se encuentra en un rango aceptable y que lo datos de la variable son confiables, a la cual presentó una media de 20.31 % de plantas con *Fusarium*.

Para las variables calificación de plantas y calificación de mazorcas, donde los valores del coeficiente de variación de 20.78 y 17.2 a la cual muestra que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables

y presentan una media de 5.22 por ciento para la calificación de planta y 5.86 por ciento para la calificación de mazorca.

En la variable humedad, presenta un valor del coeficiente de variación de 7.31 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y el dato de la variable es confiable, teniendo una media de 19.05 por ciento de humedad.

La variable peso hectolítrico presenta un coeficiente de variación de 6.27, la que indica que se encuentra en un rango aceptable a la cual muestra que el dato de esta variable es confiable, teniendo una media de 73.42 kg/hl. Mostrándonos que el grano de lo híbridos se encuentra en un rango de buena calidad y sanidad.

Para el caso de la variable rendimiento, tiene un coeficiente de variación de 22.05 indicándonos que se encuentra en un rango aceptable y el dato de la variable es confiable a la cual presenta una media de 13.89 t ha⁻¹, esta variable tiene una importancia económica para el interés del productor.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios de análisis combinado de 100 híbridos de maíz evaluados en Buenavista Saltillo Coahuila, durante el 2019.

F.V.	G.L.	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	FUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (kg/hl)	HUM (%)
EXP	1	1507.01**	1512.50**	11385.40**	6624.00**	144.36*	67.02**	130.18	275.27*	0.72	20.48**	65.43**	126.08*	16.91
REP(EXP)	2	5.11	2.6	2825.12**	2041.58**	20.05	0.73	73.81	18.9	3.56*	2.50*	10.63*	36.15	4.45
BLOQ(REP*EXP)	16	4.29	3.02	654.21**	321.19**	24.84	9.86	70.84	67.76	2.03	1.53	2.66	21.72	7.94
HIB(EXP)	98	18.46**	19.74**	675.27**	654.11**	43.73	25.05**	73.41	100.11**	2.81**	2.78**	4.98**	32.73*	22.62**
ERROR	82	3.77	4.67	201.41	111.47	25.83	6.21	76.57	46.27	1.17	1.01	1.93	21.22	9.38
TOTAL	199													
CV		2.47	2.74	5.75	7.35	47.37	26.62	52.75	33.48	20.76	17.2	7.31	6.27	22.05
MEDIA		78.48	78.91	246.46	143.57	10.72	9.36	16.58	20.31	5.22	5.86	19.05	73.42	13.89

*, **= Significancias estadísticas al P≤0.05 y al P≤0.01; REP=Repeticiones; CV= Coeficiente de variación; EE= Error estándar; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; FM= Floración masculina; FF = Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC= Mala cobertura; PF= Plantas con Fusarium; CP= Calificación de planta; CM= Calificación de mazorca; REND= Rendimiento; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

Agrupamiento y correlación de variables AMMI

En la Figura 4.1 correspondiente al gráfico Biplot de los 94 híbridos experimentales y los tres testigos de cada experimento, en la cual se puede observar cuatro cuadrantes de los ejes cartesianos y está conformada por las 13 variables agronómicas.

Se puede apreciar la formación de tres grupos en las cuales se encontraron variables correlacionadas, quedaron de la siguiente manera: en el grupo uno se encuentra correlacionadas las variables floración femenina (FF), floración masculina (FM), humedad (HUM). En el segundo grupo se encuentran correlacionadas las variables mala cobertura (MCB), acame de raíz (AR), acame de tallo (AT), plantas con *Fusarium* (PF) y para el tercer grupo se encuentran correlacionadas las variables altura de mazorca (AM), altura de planta (AP), calificación de planta (CP), calificación de mazorca (CM), peso hectolítrico (PHL) y respectivamente rendimiento (REND) y en cada grupo se tomó una variable de la más representativa.

Se tomó una variable representativa de cada grupo para conformar el índice de selección y quedó de la siguiente manera: en el primer grupo se tomó floración femenina (FF), en el segundo grupo se tomó plantas con *Fusarium* (PF) y en el tercer grupo se tomó la variable rendimiento (REND), con estas variables seleccionadas se buscaron genotipos con características de precocidad, sanidad y un mayor potencial de rendimiento, de acuerdo a las tres variables sobresalientes de cada grupo.

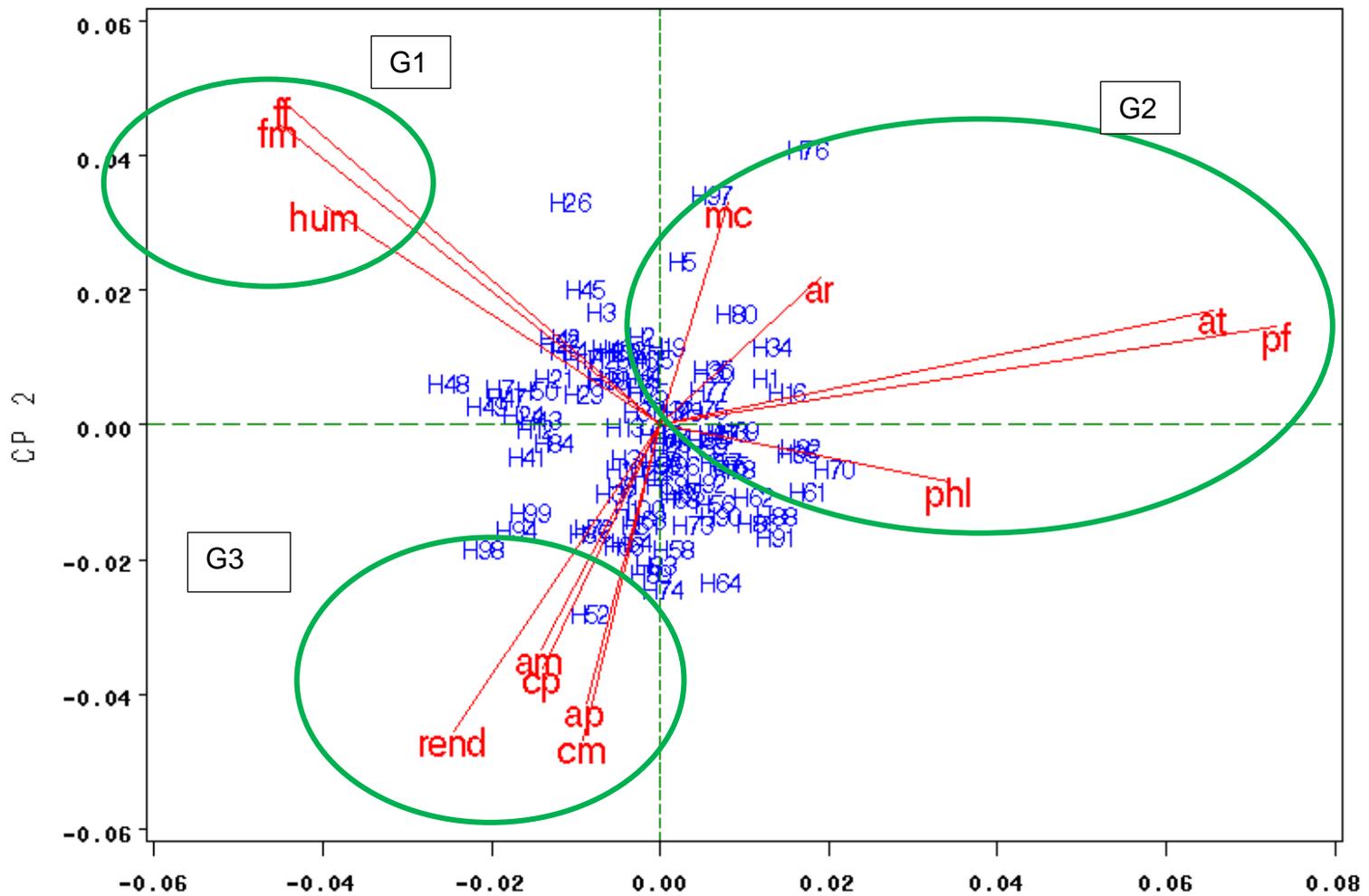


Figura 4.1. Gráfico Biplot construido con las 13 variables agronómicas evaluadas de 100 híbridos de maíz

Análisis de varianza del índice de selección

Con base en la longitud del vector indicativo de la variación asociada a las variables, del primer grupo se tomó floración femenina (FF), en el segundo grupo se tomó plantas con *Fusarium* (PF) y en el tercer grupo se tomó la variable rendimiento (REND), de acuerdo a las variables seleccionadas de cada agrupo se buscaron genotipos con características de precocidad, sanidad y un mayor potencial de rendimiento, de acuerdo a las tres variables sobresalientes de cada grupo, se construyó el siguiente índice de selección.

En el Cuadro 4.4 se tiene la fuente de variación repetición dentro del experimento, presentando una diferencia altamente significativa, indicando que repetición dentro del experimento tuvieron efectos diferentes en el comportamiento de los índices de selección de los híbridos.

Para la fuente de variación de híbridos destacaron diferencias altamente significativas, esto indica que los índices de selección se expresaron de manera diferente y que al menos un híbrido es diferente al resto, a lo que facilitara seleccionar los mejores híbridos.

Cuadro 4.4. Análisis de varianza de los valores del índice de selección de 97 híbridos de maíz (94 experimentales y 3 testigos).

FV	GL	IS
REP(EXP)	2	179.29**
HÍBRIDOS	98	12.42**
ERROR	98	5.21
TOTAL	200	
CV		18.36
MEDIA		12.42

**= Significancias estadísticas al $p \leq 0.01$; F.V.= fuentes de variación; REP(EXP)= repetición dentro del experimento; HIB= híbridos; C. V.= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; IS= índice de selección

Índices de selección

Para ubicar el grupo de los híbridos superiores se recurrió al valor del error estándar que resultó del análisis de varianza del índice de selección, este multiplicándose por dos, cuyo resultado es la suma al valor del híbrido con el valor del índice más bajo y el resultado permitió la identificación de los híbridos estadísticamente superiores que se encontraban dentro de dicho rango, se identificaron los 10 mejores híbridos de acuerdo a las variables seleccionadas.

En el Cuadro 4.5, se observan los 10 mejores híbridos seleccionados de acuerdo a las variables tomadas de los tres grupos, además se agregan las medias ajustadas para cada variable evaluada para comparar cómo se comportan en relación de los rendimientos de cada híbrido.

De acuerdo a los resultados del índice de selección, se tomaron los 10 mejores híbridos en rendimiento, el híbrido 8 presentó el rendimiento máximo con 18.40 t ha^{-1} y el híbrido que presentó el rendimiento mínimo es el 93 con 13.67 t ha^{-1} .

De los 10 mejores híbridos seleccionados en rendimiento se obtuvo un promedio de 15.80 t ha^{-1} , la cual muestra que los híbridos presentan un buen potencial de rendimiento de acuerdo a las tres variables principales que se tomaron en la figura Biplot, que fue la variable precocidad, sanidad y rendimiento, las cuales se tomaron para realizar el índice de selección y de ahí se seleccionaron los 10 híbridos con los mejores rendimientos.

Cuadro 4.5. Híbridos seleccionados en base al análisis de índice de selección.

HIB	Genealogía	IS	FM (días)	FH (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	PF (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	HUM (%)	PHL (kg/hl)	REND (t ha ⁻¹)
64	(M13xV524)xM13-4-2 X (PE61x47)xM-7-1-B-3	9.11	73.20	73.80	252.80	147.40	6.25	10.64	18.81	23.77	7.50	7.60	17.55	76.73	18.94
8	(M13xV524)xM13-3-1 X (PE61x47)xM-7-1-B-2	6.16	77.90	78.05	228.15	135.75	9.37	8.43	20.79	19.27	6.65	8.25	19.87	73.46	18.40
43	(M13xC)xC-3-1 X (M22x351)xM22-1-1	8.39	80.80	81.10	251.20	140.65	10.49	8.24	22.18	11.80	6.55	5.60	21.64	71.28	17.45
37	(M13xC)xC-2-2 X (MLxM46)xML-1-1	8.72	78.80	79.60	247.20	143.65	7.76	8.67	10.61	15.65	7.05	6.60	19.69	79.38	15.55
44	(M13xC)xC-3-1 X (V524xM22)xM8-2-B-2	7.95	78.70	79.00	256.90	155.55	9.64	9.34	17.23	19.02	6.35	5.50	17.81	74.09	15.49
11	(M13xV524)xM13-3-1 X (MLxLC)xMC-2-2	9.14	77.55	79.00	251.45	153.40	9.19	8.50	12.12	19.20	5.90	5.65	19.31	70.58	15.29
29	(M13xC)xC-2-1 X (MLxM46)xML-2-2	9.66	80.80	81.05	236.95	129.60	8.40	7.86	7.99	18.11	3.75	6.30	21.70	72.29	15.04
88	(M13xC)xC-2-2 X (MLxLC)xMC-1-1	9.25	72.35	71.90	230.10	136.15	12.13	8.81	9.08	23.10	4.70	6.50	16.35	77.24	14.38
25	(M13xC)xC-2-1 X (M42x351)xM42-3-B-1	9.71	77.95	78.50	248.30	122.85	11.34	9.03	14.44	19.97	4.45	4.80	19.68	67.89	13.82
93	(M13xC)xC-3-1 X (M22x351)xM22-1-1	9.80	72.80	72.40	244.90	124.85	10.84	6.88	23.07	20.46	4.35	5.20	19.01	70.90	13.67

HIB=Híbrido; IS= índice de selección; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC= Mala cobertura; PF= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de planta; CM= Calificación de mazorca; REND= Rendimiento; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

Híbridos seleccionados

De los 10 híbridos, el híbrido 64 quedó en primer lugar de acuerdo al rendimiento que alcanzó y con un valor de índice de selección de 9.11, una floración de 73.20 y 73.80 días, quedando como híbrido precoz con una altura de un porte mediano a alto y con un porte de mazorca favorable en cuestión de la cosecha a mano, al cual puede ser de interés a los productores y en cuestión de enfermedad, acame de raíz y tallo, mala cobertura y plantas con *Fusarium* presentaron una buena apariencia, para la calificación de planta y mazorca se obtuvo de buen porte y en cuestión de humedad y peso hectolítrico mostraron un grano de mayor calidad y resaltando un rendimiento de 18.94 t ha⁻¹.

En segundo lugar, se encuentra el híbrido 8 con un valor de IS de 6.16, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de precocidad se ubica en un rango intermedio, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame y *fusarium*, y calificación de planta y mazorca es muy aceptable, en cuanto a rendimiento es muy favorable, presentó un promedio de 18.40 t ha⁻¹, variable de mayor interés para los productores.

Para el tercer lugar, se encuentra el híbrido 43 con un valor de IS de 8.39, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es tardío, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y *fusarium*, y en cuanto a rendimiento es muy favorable, presentó un promedio de 17.45 t ha⁻¹, variable de mayor interés para los productores y al fitomejorador.

Para el cuarto lugar, se encuentra el híbrido 37 con un valor de IS de 8.72, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es ubicado en un rango intermedio a tardío, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego o para las zonas con alta precipitación, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y *Fusarium*, y al rendimiento es muy

favorable, presentó un promedio de 15.55 t ha⁻¹ factor determinante para los productos.

Para el quinto lugar, se encuentra el híbrido 44 con un valor de IS de 7.95, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración se ubica en un rango intermedio, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y *fusarium*, y en cuanto a rendimiento es favorable, presentó un promedio de 15.49 t ha⁻¹.

Para el sexto lugar, se encuentra el híbrido 11 con un valor de IS de 9.14, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es intermedio, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego y para las zonas que cuentan con precipitaciones altas y prolongadas, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y *fusarium*, en cuanto a rendimiento es favorable, presentó un promedio de 15.29 t ha⁻¹, y con una calificación de planta y mazorca aceptables y es una variable de mayor interés para los productores y al fitomejorador.

Para el séptimo lugar, se encuentra el híbrido 29 con un valor de IS de 9.66, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es tardío, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego y para las zonas con precipitaciones altas y prolongadas, sanidad y porte de planta no es favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y sobre todo plantas con *Fusarium*, en cuanto a rendimiento es favorable, presentó un promedio de 15.04 t ha⁻¹, y con una calificación de planta y mazorca poco aceptables.

Para el octavo lugar, se encuentra el híbrido 88 con un valor de IS de 9.25, mostró un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es precoz , a la cual puede ser usada para los productores que cuentan con sistemas de riego , para poder sacar dos ciclos por año si así lo desean y sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y sobre todo a *Fusarium*, en cuanto a rendimiento es aceptable, presentó un promedio de 14.38 t ha⁻¹, y con una calificación de planta y mazorca aceptable.

Para el noveno lugar, se encuentra el híbrido 25 con un valor de IS de 9.71, muestra un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es intermedio a tardío, a la cual puede ser recomendado a los productores que cuentan con sistemas de riego y también para las zonas con precipitaciones altas y prolongadas, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y sobre todo a *Fusarium*, en cuanto a rendimiento es aceptable, presentó un promedio de 13.82 t ha⁻¹, y con una calificación de planta y mazorca poco aceptable.

Para el décimo lugar, se encuentra el híbrido 93 con un valor de IS de 9.8, mostrando un comportamiento agronómico aceptable, en cuestión de floración es precoz presentó una floración de 72 días, a la cual puede ser utilizado para los productores que cuentan con sistemas de riego, puedan sacar hasta dos ciclos por año si así lo desean y para las zonas con precipitaciones bajas y poco prolongadas, sanidad y porte de planta no es tan favorable ya que presenta un porcentaje alto de susceptibilidad a acame, mala cobertura y mayor porcentaje para *Fusarium*, en cuanto a rendimiento es aceptable, presentó un promedio de 13.67 t ha⁻¹, y una calificación de planta y mazorca aceptable.

V. CONCLUSIÓN

El análisis de varianza realizado a través de las 13 variables agronómicas evaluadas demostró la variación genética de los híbridos experimentales evaluados, lo cual permitió realizar la selección.

El índice de selección permitió seleccionar a los 10 mejores híbridos de cruza simple, presentando excelentes características agronómicas deseables con un buen potencial de rendimiento, sanos y precocidad.

Los híbridos experimentales seleccionados estadísticamente superiores en consideración al valor del índice de selección fueron los híbridos 8, 43 y el 44, presentando los mejores rendimientos y características agronómicas deseables.

VI. LITERATURA CITADA

1. **Aguzar, M. R.; Sadozai, G. U.; Batach, A. A.; Shah, IH; Javaid, T.; y Hussain, N.** (2011). Efecto de las densidades de población de plantas en el rendimiento del maíz. 692-695 p.
2. **Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I. y Ávila, P. M. A.** (2011). Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 619-626 p.
3. **Bernard M., J. Hellin, R. Nyikal y J. Mburu.** (2010) Determinantes para el uso de semillas de maíz certificadas y la importancia relativa de los costos de transacción. Conferencia conjunta de la 3.^a Asociación Africana de Economistas Agrícolas y la 48.^a Asociación de Economistas Agrícolas de Sudáfrica. Ciudad del Cabo, Sudáfrica, 19-23 de septiembre. 26p.
4. **Cao, A.** (2013). Prevención de la contaminación con fumonisinas en el maíz. Universidad de Vigo-Misión Biológica de Galicia.
5. **Chávez A. J. L.** (1995). Mejoramiento de plantas II. Métodos específicos de plantas alógamas. México. Editoriales trillas: UAAAN, 1995. 143 p.
6. **Duncan, K. E. et Howard, R. J.** (2010). Biología de la infección del grano de maíz por *Fusarium verticillioides*. Interacción entre plantas y microbios.6-16p.
7. **FAO.** (2014). Reutilizando el agua para alimentar al mundo. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Vitacura Santiago de Chile.
8. **FIRA.** Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. (2014) www.financierarrural.gob.mx.
9. **Fondo Nacional Cerealista.** (2011). Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia. En: Biblioteca agrícola colombiana. <http://www.corpoica.org.co/bacdigital/contenidos/catalogo.asp?ca=60774>.
10. **Gecho Y. y N. K. Punjabi.** (2011) Determinantes de la adopción de tecnología mejorada de maíz en Damot Gale, Wolaita, Etiopía. Rajastán Revista de Extensión Educativa.
11. **González, A.; Pérez, L. D.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A.** 2010. Aplicación y comparación de

- métodos invariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atlacomulco, México. Agron. Costarricense. 129-143 pp.
12. **Gou, L, Xue B. Qi, B. MA y W. Zhang.** (2017). Variación morfológica de maíz cultivada y respuesta en plantas de alta densidad. *Jornal de agronomia* 1443-1453 p.
 13. **Haegele, J. W.; Becker, R. J.; Henninger, A. S. y Below, F. E.** (2014). Arreglo de filas, fertilidad del fósforo y contribuciones híbridas al manejo de una mayor densidad de plantas de maíz. 1838-1846 pp.
 14. **Hallauer A., R., M. Carena y J. B. Miranda F.** (2010). *Genética cuantitativa en el mejoramiento del maíz.* Springer-Verlag New York Inc. 664 p.
 15. **Ibáñez G. A.** (2015). Tema 8ª. Evaluación genética, índices de selección. <https://www.studocu.com/ca-es/document/universitat-autonoma-de-barcelona/genetica-cuantitativa-y-mejora/tema-8a-evaluacion-genetica-indices-de-seleccion/2501215>, sitio web, consulta 17-marzo-2022.
 16. **Llano, M. P. y Vargas, W.** (2011). Brasil. Relación clima-rendimiento del maíz mediante el uso de un modelo estadístico. XVII Congreso Brasileiro de Agrometeorología.
 17. **Luna M., A. Hinojosa R., O. Ayala G., F. Castillo G., y J. Mejía C.** (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista. Fitotecnia. Mexicana.* 35: 1-7p.
 18. **MacRobert, J.F. Peter Setimela, James Gethi y Mosisa Worku Regasa** Noviembre de (2015). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido.* México, D.F.: CIMMYT. 09 p.
 19. **MacRobert, J.F., P.S. Setimela, J. Gethi y M. Worku.** (2014). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido.* México, D.F.: CIMMYT. 09 p.
 20. **MAPAMA.** (2017). Avance del Anuario del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (años 2016 y 2017). Recuperado el 14 de junio de 2018 de <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica> citada 25 de marzo de 2022.

21. **Monsanto.** (2012). Guía técnica Dekalb: Zafriña 2012. <http://www.monsanto.com/global/py/productos/documents/guia-tecnicazafriña-2012.pdf>. Sitio web. Consultada 17 de marzo de 2022
22. **Morales, R. A.; Morales, R. E. J.; Franco, M. O.; Mariezcurrena, B. D.; Estrada, C. G. y Norman, M.T. H.** (2014). Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 1425-1431 pp.
23. **Narro, L. A., & Arcos, A. L.** (2010). Genética de la formación de callosa inducida por aluminio en raíces de maíz, un rasgo de selección para la resistencia al aluminio. 1848-1853 p.
24. **Nérida Escorcía Gutiérrez, José D. Molina Galán, Fernando castillo Gonzales y José a. Mejía Contreras.** (2010). Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. Vol.33. artículo científico. Revista de fitotecnia mexicana. 271-219 pp.
25. **Ortiz R.** (2012). El cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Salvaguardias Ambientales (VPS/ESG). Notas técnicas. ESG-TN-383.
26. **Ortiz, D.; Rocheford, T.; Ferruzzi, M. G.** (2016) Influencia de la temperatura y Humedad sobre la Estabilidad de Carotenoides en Maíz Biofortificado (*Zea mays* L.) Genotipos durante el almacenamiento postcosecha controlado. J. Agrícola. Química alimentaria, 2727–2736 p.
27. **Presello D. A., Eyhérbide G. H., Iglesias J., Mroginski E., Lorea R. D.** (2012). Cultivares. Criterios para su elección. Bases para el manejo del cultivo de maíz. 79-106 p.
28. **Reynoso, Q. C. A.; González, H.A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Torres, F. J. L.; Velázquez, C. G. A.; Breton, L. C.; Balbuena, M. A. y Mercado, V. O.** (2014). Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 871-882 p.
29. **RIMACHE, A. M.** (2008). Cultivo de maíz. Empresa Edith Macro. Ediciones Ripalme. Primera Edición. Lima _ Perú 25p.

30. **Rodríguez P. G.**, A. Gutiérrez D. J. E. Treviño R. C. Ojeda Z. y Mendosa E. (2016). Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. *Revista internacional de Botánica experimental* 194-202 p.
31. **Rodríguez, P. G., F: Zavala G. A. Gutiérrez D., J. E. Treviño R., C. Ojeda Z. y A de la Rosa L.** (2013). Comparaciones de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 569-583 p.
32. **Sánchez H. M. A, Aguilar M. C. U., Valenzuela J. N., Sánchez H. C, Jiménez R. M. C., Villanueva V. C.** (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana*, 281-295 pp.
33. **Satorre, E. H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Millares, D. J.; Otegui, M. E.; Savin R.** (2010). Capítulo 8. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*, Editorial FAUBA 279- 309 pp.
34. **Serna-Saldívar S O, C A Amaya-Guerra.** (2008) El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y la alimentación. *In: Nixtamalización del Maíz a la Tortilla. Aspectos Nutrimientales y Toxicológicos.* M E Rodríguez-García, S O Serna-Saldívar, F Sánchez-Sinencio (eds). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 105-151pp.
35. **SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).** (2013). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de producción por estado. *Producción nacional de maíz grano.*
36. **SIAP, (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).** (2011) Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=215 consultada 20 de marzo 2022.
37. **SIAP.** (2020). *Producción de gramíneas.*

38. **SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación** (2017) Información Básica, en: www.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10 & Itemid = 15. F.
39. **Simon, M. R.; Golik S. I.** (2016). Cereales de verano, libro de cátedra. Capítulo 3. Maíz: Época y densidad de siembra. Editorial Edulp 41-56 pp.
40. **Soltero, D. L.; Garay, L. C. y Ruiz, C. J. A.** (2010). Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. Revista. Mexicana Ciencias Agrícolas. 1(2):147-156 p.
41. **Tanaka, A. y J. Yamaguchi.** (2014). Producción de materia seca y componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. 4 ed. Colegio de posgraduados.
42. **Tollenaar, M. y Lee, E A.** (2011). Reseñas de fitomejoramiento. (Editor). Janick, J. y Blackwell, W.37-81 p.
43. **Troyer, A. F.** (2009). Desarrollo de Maíz Híbrido y la Industria de semilla de Maíz. El manual de maíz – Volumen II: Genética y genómica. págs. 87-95. p.
44. **Tucuch-Cauich, C. A., Rodríguez, H. S. Alfredo., Reyes, V. M. H., Pat-Fernández, J. M., Martín, T. F., Córdova, O. H. S.** (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero Agronomía mesoamericana 123-132 p.
45. **Turrent-Fernández, A.** (2009) a. Potencial productivo de maíz en México. La Jornada del Campo. Núm. 16. D. F., México. 16-17 pp.
46. **Urías, O. V.; Basilio, H. J.; Muy, R. D. y Nino, M. G.** (2016) Ácidos fenólicos con actividad antioxidante en salvado de maíz y salvado de trigo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 43-50 p.
47. **Vera M. G.I.** (2011). Influencia de la sincronización en la floración y la densidad de siembra sobre la producción y calidad fisiológica de la semilla de maíz híbrido INIAP H-601 en la zona de Quevedo. Tesis de grado.

Facultad de ciencias agrarias. Escuela de ingeniería agronómica.
Universidad técnica estatal de Quevedo. Los ríos, Ecuador

48. **Vizcarra, Ivonne**, (2011). El maíz mesoamericano y sus escenarios en el desarrollo local. (Protocolo de proyecto de investigación inédito).
49. **Yáñez C. L. F.** (2018). Índices de selección <https://zoovetesmipasion.com/ganaderia/mejoramiento-genetico/indices-de-seleccion/> sitio web, consulta 17-03-2018.
50. **Zaidi, P., M. Zaman-Allah, S. Trachsel, K. Seetharam, J. Cairns y M. Viyana.** (2016). Fenotipos para tolerancia al estrés abiótico en maíz, estrés por calor. Un manual de campo.