

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Mejoramiento y Caracterización Morfológica de una Población de Maíz Rojo a partir de Líneas S₁

Por:

DANIELA MIRANDA JUÁREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Mejoramiento y Caracterización Morfológica de una Población de Maíz Rojo a partir de Líneas S₁

Por:

DANIELA MIRANDA JUÁREZ

TESIS

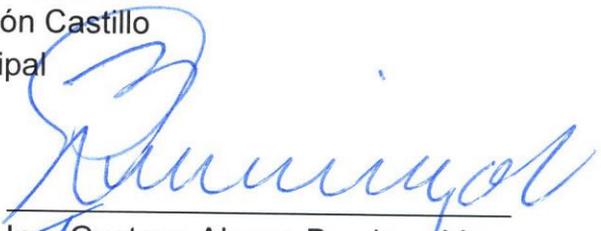
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

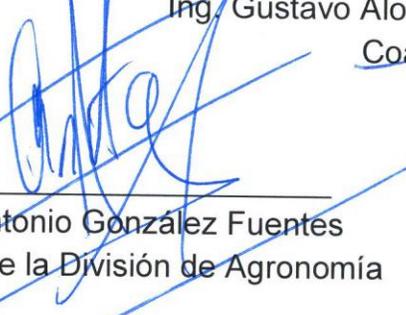
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Humberto De León Castillo
Asesor Principal


M.C. Eduardo Hernández Alonso
Coasesor


Ing. Gustavo Alonso Burciaga Vera
Coasesor


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

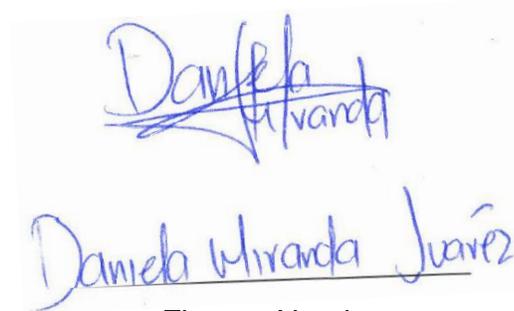
Saltillo, Coahuila, México
Junio, 2021



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 de textos sin citar la fuente o el 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



The image shows two instances of a handwritten signature in blue ink. The top instance is a stylized signature that appears to read 'Daniela Miranda'. The bottom instance is a more legible signature that reads 'Daniela Miranda Juárez'.

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A Mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y digo mía porque así la siento, parte de mí, Mi ALMA MATER, donde no solo eh recibido educación, sabiduría y conocimientos, me ha dado la dicha de conocer profesores, compañeros y amigos colegas de tan alto valor, grandes personas de admirables valores.

Al Dr. Humberto de León Castillo, por ser más que mi asesor un amigo, por brindarme sus conocimientos y sabiduría, pero sobre todo por el apoyo brindado, por darme la confianza, y por estar con la mejor disposición para brindarme sus consejos al realizar esta tesis.

Al M.C. Eduardo Hernández Alonso, que más que mi coasesor para mí es un amigo, gracias por brindarme tu amistad tanto en el ámbito académico como en el ámbito personal, quien me apoyo en todo momento a lo largo de mis últimos semestres en la realización de esta tesis; con quien chambeamos a sol y agua con gran entusiasmo y disposición.

Al Ing. Gustavo Alfonso Vera Burciaga, que además de brindarme sus conocimientos y sabiduría es un gran amigo, gracias por los consejos, regaños y

A todo el personal laboral del Instituto Mexicano del Maíz (IMM); por colaborar en esta tesis, gracias a ellos esto fue posible.

A mis colegas, amigos y compañeros de la carrera en especial a Lupita, Xóchitl, Yazmin, Ximena, Mahori, Genaro, Eusebio, Alejandro; Gracias por compartir esta gran etapa y enseñarme el valor de la amistad.

DEDICATORIA

Agradezco **A DIOS** por iluminar, guiar y bendecir mi camino y llevarme siempre presente en su gloria infinita; por darme inteligencia, fuerza, paciencia, perseverancia para continuar luchando por mis metas y no dejarme desfallecer antes los obstáculos y adversidades.

Con mucho amor agradezco **A MIS PADRES** Serafín Miranda Trejo y Fátima Juárez Gómez, por su admiración, motivación y ejemplo que día a día me han dado, alentándome para seguir luchando y batallando para alcanzar cada una de mis metas dándome siempre el amor, la confianza y la fuerza para luchar con pasión amor y convicción para poder superarme siendo siempre mejor que el día de ayer.

A MIS HERMANOS Adriel, Fátima Bethsabet, Brenda Lisette y Karen Briggithe les agradezco por enseñarme que siempre se puede mejorar y que las metas están para alcanzarlas y cumplirlas, por todo el amor brindado, la unión, y el apoyo que nunca me faltó, por sus palabras de motivación para no desfallecer y continuar con todos los retos y metas que se me presenten. Los amos con todo mi corazón hermanos.

Con cariño y amor agradezco **A MIS TÍOS** Miguel Miranda Trejo y Graciela López Gonzales por todo el apoyo que me brindaron durante la carrera, por los consejos, las regañadas, por compartirme su aprendizaje y brindarme su sabiduría, por motivarme y alentarme en los momentos difíciles y decirme siempre las palabras correctas para sacar y dar lo mejor de mí.

A MI PRIMO Raúl Adrián Miranda quien desde la infancia me ha seguido en todas mis travesuras y lo eh seguido dejando por un lado el aburrimiento, te agradezco por toda la inmensa sabiduría que me has brindado por cuidarme como si fuésemos hermanos, que vengan muchas aventuras más.

Les agradezco **A MIS MEJORES MÁS MEJORES AMIGAS** Daniela Belman, Karla Gordillo, Andrea Ruiz y Fernanda Chávez por su apoyo, motivación, cariño que me han brindado desde siempre, las amo con todo mi corazón.

A MI AMIX Guadalupe Santos que más que amiga para mí es como una hermana más, Te agradezco por todos los consejos, las pláticas infinitas, las risas, las aventuras, el cariño dado y todos los bellos momentos que hemos compartido, me hubiese encantado haberte conocido desde que empezamos la carrera, perobendito Dios que pone en tu camino a las personas en el momento que las necesitas y en momento en que puedes aprender de ellas, que vengan más aventuras, nuevos retos, risas y demás.

RESUMEN

En este estudio se evaluaron 120 líneas S_1 (familia de autohermanos) de una población de maíz rojo; con los objetivos de demostrar la existencia de variabilidad genética dentro de la población, así como para seleccionar familias S_1 superiores en atención al valor al mérito de un índice de selección básico construido con atención en cuatro variables representativas del, porte, precocidad, sanidad y rendimiento. En el campo experimental “El Bajío Bajo un diseño experimental Alfa-látice de bloques incompletos al azar; para construir el índice de selección se requirió del auxilio de un análisis de componentes principales para visualizar los agrupamientos de correlación natural existente entre las 13 variables estudiadas y así poder construir el índice de selección con las variables: rendimiento, calificación de mazorca, tolerancia a fusarium y días a floración femenina. Los resultados mostraron que la población posee amplia variabilidad genética detectada por los análisis de varianza en las variables estudiadas, dicha variabilidad permitió con el empleo de los valores al mérito del índice de selección, identificar las 12 líneas más sobresalientes en cuanto al color del grano, rendimiento, calidad, sanidad, porte y precocidad mismas que se usaron para generar una nueva población mejorada o propiamente dicho el primer ciclo de selección recurrente de líneas S_1 de la población de maíz rojo.

Palabras Clave: mejoramiento genético, líneas S_1 , índices de selección, maíz rojo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del mejoramiento genético del maíz	4
Generalidades del maíz rojo	6
Antocianinas	6
Selección recurrente entre líneas S₁	8
Diseño alfa-latice con bloques incompletos al azar	9
Índice de selección	10
Sistema de riego por goteo	12
III. MATERIALES Y METODOS	14
Material genético	14
Evaluación de los ensayos de rendimiento	14
Descripción de la parcela experimental	15
Manejo Agronómico	15
Siembra	15

Fertilización.....	15
Control de maleza.....	15
Control de plagas	16
Riego.....	16
Aclareo	16
Cosecha.....	16
VARIABLES AGRONÓMICAS EVALUADAS	16
Días a floración masculina (FM).....	16
Días a floración femenina (FH)	16
Altura de planta (AP)	16
Altura de mazorca (AM).....	17
Acame de raíz (AR).....	17
Acame de tallo (AT)	17
Calificación de planta (CP)	17
Mala cobertura (MC)	17
Plantas con <i>Fusarium</i> (FUS).....	17
Calificación de mazorca (CM).....	17
Peso hectolítrico (PH)	18
Porcentaje de humedad (% H)	18
Rendimiento (REND)	18
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	19
Análisis de varianza.....	19
Coeficiente de variación.....	20
Gráfico de Biplot.....	21
Índice de selección	22

Criterios de Selección	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Agrupamiento natural de las variables	32
Estimación del índice de selección.....	34
Índice de Selección.....	35
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
4.1	Cuadrados medios del análisis de varianza de 13 variables agronómicas en 115 familias de autohermanos o líneas S ₁ evaluados en Buenavista Saltillo, Coahuila en el verano del 2019.....	31
4.2	Resultados del índice de varianza del índice de selección.....	35
4.3	Líneas sobresalientes seleccionadas mediante el valor del índice de selección.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
4.1	Gráfico Biplot generado a partir de 115 líneas experimentales con las 13 variables agronómicas evaluadas.....	33

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una de las plantas con mayor domesticación y evolución, además, su diversidad genética está concentrada en Mesoamérica, principalmente en México, que es el principal centro de origen, domesticación y diversificación del maíz. La diversidad es muy amplia ya que en el país hay 64 razas de maíz descritas lo cual es un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Kato *et al.*, 2009). Las razas muestran variantes de grano pigmentado, con colores del negro hasta rosa pálido, de los cuales los más comunes son rojo y azul/morado. (Salinas, 2009).

En la actualidad los maíces de especialidad (rojo, azul y negro) son de gran importancia social ya que han demostrado tener muy altos beneficios nutricionales debido a la gran cantidad de antocianinas que presentan estos materiales (Salinas *et al.*, 1999).

En México los maíces con tonalidades de color rojo se han convertido en un tema importante de investigación científica en cuanto a la alimentación humana, desde el punto de vista bioquímico se ha encontrado que las antocianinas son las responsables de la coloración de la aleurona en el grano y que estas pertenecen al grupo de los flavonoides, los cuales además de ser una fuente natural de colorantes poseen actividad antioxidante que contribuye al mantenimiento de la salud humana y poseen importantes actividades biológicas como antimutagénicas y anticancerígenas. Por lo que son de interés para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (López *et al.*, 2009).

Los maíces con presencia de pigmento en el grano son poblaciones que por lo general presentan deficiencias agronómicas que limitan su rendimiento y poseen

bajo potencial agronómico como consecuencia de ser manejados directamente por los productores, por lo tanto, es necesario recurrir al mejoramiento genético para eliminar las deficiencias y aumentar el potencial de rendimiento.

Preocupados por las necesidades de los agricultores locales y áreas circundantes a la UAAAN, el Instituto Mexicano del Maíz (IMM), ha realizado colectas para mejorar el rendimiento, calidad, sanidad, y sobre todo el color de estos materiales.

En este trabajo de investigación se busca explotar el efecto de la herencia en caracteres de interés agronómico, para seleccionar las líneas más sobresalientes que muestren una mejor expresión fenotípica en los caracteres de interés, lo que conlleva a identificar líneas con mejores atributos en: rendimiento, sanidad, porte, precocidad y sobre todo color del grano que al recombinarse darán origen al primer ciclo de selección recurrente bajo la estrategia de líneas S_1 .

Objetivo general:

Seleccionar estructuras familiares de auto-hermanos o líneas S_1 mediante el esquema de mejoramiento poblacional.

Objetivos específicos:

- Demostrar la existencia de variabilidad genética para 13 variables agronómicas dentro de la población de maíz rojo.

- Seleccionar y recombinar las familias de fenotipos superiores en cuanto a porte, precocidad, sanidad y rendimiento sin descuidar el color. Se seleccionarán las mejores líneas de autohermanos (S_1) auxiliados por un índice de selección para conformar el primer ciclo de selección.

Hipótesis

Es posible detectar líneas S_1 superiores con apoyo de un índice de selección básico y así poder explotar el efecto de la herencia en caracteres de interés agronómico, lo que permitirá ir mejorando paulatinamente la población.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del mejoramiento genético del maíz

El maíz silvestre fue creado por la naturaleza, pero el maíz cultivado surgió y se desarrolló al amparo del talento humano, razón por la cual se le debe considerar como un patrimonio de origen estrictamente cultural. En México, la domesticación del maíz se remonta a muchos miles de años y desde entonces, la historia del maíz y la del hombre han avanzado y permanecido estrechamente unidas; No es exagerado señalar que las grandes civilizaciones mesoamericanas fundamentaron su éxito en el cultivo de maíz ya que fue precisamente esta especie la que impulso la creatividad cultural del hombre, exigiéndole el desarrollo continuo de nuevas metodologías para el mejoramiento genético (Miranda *et al.*, 2000).

La diversidad de maíces en el territorio nacional es parte del patrimonio biocultural de las sociedades mesoamericanas, el cual es custodiado por agricultores campesinos e indígenas. Éstos han seleccionado y seleccionan las mejores plantas y semillas, las cuales en un largo proceso se han adaptado a condiciones ambientales diversas y adversas (Bellon y Hellin, 2011).

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las plantas con mayor domesticación y evolución, además, de que su diversidad genética está concentrada en México, que es el principal centro de origen en México se ha clasificado En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz como variantes dentro de razas se tienen tipos por coloración de grano; tal color se determina por la frecuencia de pigmentos como carotenoides en los granos amarillos (Egesel *et al.*, 2003), antocianinas y flobafenos en los azules o rojos, (Salinas, 2009).

Los maíces blanco y amarillo son los más usados para la elaboración de productos nixtamalizados, pero en otras regiones, sobre todo del centro de México, se usan variedades pigmentadas con colores rojo, azul, morado y negro, los cuales se deben a las antocianinas presentes, principalmente, en el pericarpio y la capa de aleurona. Las personas de esas regiones prefieren el consumo de tortillas, tamales y atoles con estos maíces pigmentados porque, ellos dicen, el sabor y textura es diferente a los elaborados con maíz blanco y amarillo (Agama-Acevedo *et al.*, 2004).

Estudios realizados en el almidón de maíces pigmentados mostraron características fisicoquímicas, moleculares y estructurales similares, pero investigaciones con tortillas elaboradas con maíces pigmentados muestran menor digestibilidad del almidón (Hernández *et al.*, 2007), y podría haber un efecto de las antocianinas. Hay estudios en maíces pigmentados enfocados al aislamiento de las antocianinas para su uso farmacéutico y alimentario, y otros al uso de los maíces pigmentados para elaborar alimentos que presenten propiedades antioxidantes.

La baja productividad en maíz se debe a varios factores, pero uno de ellos es el uso de semillas criollas que, a pesar de estar adaptadas a condiciones ambientales desfavorables, tienen un bajo potencial productivo y son más sensibles a padecer enfermedades reduciendo la calidad del cultivo y la productividad. En este sentido, la utilización de semillas mejoradas de maíz representa una oportunidad de mejora tecnológica que repercutiría en aumentar el rendimiento y rentabilidad de las explotaciones (Sánchez *et al.*, 2017).

El bajo uso de variedades mejoradas obedece, entre otras causas, a decisiones de agricultores para preservar sus poblaciones nativas principalmente de granos pigmentados y también porque los programas públicos y privados de mejoramiento genético de maíz generan solo variedades de grano blanco y algunas de amarillo, y no son prioridad azules y rojos. En años recientes ha cobrado interés mejorar las poblaciones de maíz azul y en baja proporción de grano rojo (Arellano *et al.*, 2003).

La formación de poblaciones mejoradas de maíz demuestra ser un proceso dinámico, porque requiere que las poblaciones superen a las anteriores en rendimiento. Las poblaciones regionales o adaptadas son de interés para los de maíz porque a través de los años de selección natural o inducida se han concentrado alelos de interés económico. Sin embargo, estas tienen deficiencias agronómicas que limitan su aprovechamiento, de ahí la importancia de su mejoramiento (Vallejo *et al.*, 2000).

Generalidades del maíz rojo

El maíz rojo es un producto básico para muchas familias debido a los productos que se pueden elaborar gracias a este cultivo, tal como son el pozol, tortilla, pinole, entre otros usos alimenticios; como también es ideal para elaborar tamales (León y Rosell, 2007).

Los maíces de color presentan antocianinas las cuales son antioxidantes por naturaleza, están presentes tanto en los granos como en la mazorca y ayudan a nuestro organismo en el sistema circulatorio y a prevenir enfermedades cardiovasculares, ya que estimula la circulación de la sangre y protege a nuestros vasos sanguíneos de un posible deterioro oxidativo. En otras palabras, ayudan a prevenir el envejecimiento prematuro (Zilic *et al.*, 2012).

Además, estos maíces ayudan a controlar y reducir los niveles de colesterol en la sangre y a mantener una presión arterial baja. Cuando es usado en la alimentación ayuda a que nuestro organismo sintetice los ácidos grasos siendo esto muy favorable para las personas con diabetes y para las personas que padecen de obesidad (Liu, 2007).

Antocianinas

El contenido de antocianinas varía entre razas, los maíces con contenido bajo de antocianinas son los maíces amarillos y rosas, con valores medios están los maíces

azules, y los más altos están en los granos de colores rojo, morado y negro (Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

Las antocianinas tienen actividad antimicrobiana y antiproliferativa (Zhao *et al.*, 2009).

Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de flavonoides (Escribano-Bailón *et al.*, 2004) y en su fórmula hay dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbonos.

Las antocianinas se pueden obtener del grano de algunas variedades de maíz en las que se encuentran en cantidades elevadas por lo que pueden ser fuentes de pigmentos naturales para sustituir algunos colorantes sintéticos usados en los alimentos. (Arnold *et al.*, 2012).

El contenido de antocianinas totales (CAT) en el grano de maíz varía de acuerdo al color del grano y el genotipo, los granos de color morado intenso tienen mayor CAT que los granos azules, morados o rojos (Espinosa *et al.*, 2009).

Las propiedades nutracéuticas de los maíces pigmentados están relacionadas con su contenido alto de antocianinas, las cuales poseen actividad biológica benéfica (antioxidante) derivada de sus metabolitos secundarios (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017). Estos compuestos tienen una acción positiva en la salud, por su actividad antioxidante, reducen la mutagénesis y la proliferación del crecimiento de células cancerosas (López-Martínez *et al.*, 2011) y antiinflamatoria.

Las antocianinas del grano de maíz tienen acción protectora hacia las nefropatías que se desarrollan en pacientes con diabetes tipo 2 (Urias-Lugo *et al.*, 2015). Sin embargo, estas propiedades se pierden por la cocción del maíz antes de su consumo, por lo cual se debe estudiar como el tipo de cocción y la duración del

tratamiento térmico afectan las propiedades de las antocianinas en el cuerpo humano.

El consumo de maíces pigmentados aumentó en EE.UU., mientras que en México los maíces pigmentados se usan principalmente para elaborar tortillas en el autoconsumo, pero también se ocupan en pequeña escala en establecimientos comerciales de comida típica. Sin embargo, de la producción total de maíz en México, los maíces pigmentados representan solo el 10 %, lo cual indica un aprovechamiento bajo, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticas representa una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejores características funcionales y nutricionales (Salinas-Moreno *et al.*, 2013)

Selección recurrente entre líneas S_1

La finalidad de desarrollar líneas S_1 provenientes de autofecundación de plantas de la generación F_2 del cruzamiento inicial entre las líneas a partir de poblaciones segregantes es explotar el efecto de la herencia en caracteres de interés agronómico, lo que permitirá seleccionar líneas que muestren una mayor expresión fenotípica que la de su mejor progenitor, lo que conlleva a identificar líneas endogámicas sobresalientes. La selección recurrente entre líneas S_1 ha probado ser muy efectiva en el mejoramiento poblacional de maíz. Este método, además es conocido por reducir la depresión endogámica en las poblaciones (Garbuglio *et al.*, 2009).

La estimación de la asociación entre caracteres es de gran utilidad en el mejoramiento genético de plantas, debido a que permite estimar el efecto que tiene la selección en dos o más caracteres y realizar selección indirecta con base en un carácter de fácil medición. La causa principal de la correlación genética entre caracteres es la pleiotropía y una causa transitoria lo es el ligamiento génico,

especialmente en poblaciones derivadas de líneas muy divergentes (Falconer y Mackay, 1996).

En la formación de variedades de polinización libre se utilizan esquemas de mejoramiento intrapoblacional por medio de la selección recurrente, donde el principal objetivo es incrementar la frecuencia de alelos favorables en la población (Hallauer, 1981).

Las poblaciones base de selección pueden formarse a partir del cruzamiento entre líneas endogámicas contrastantes, del cruzamiento entre variedades mejoradas, por el entrecruzamiento de un grupo de líneas o poblaciones (pool genético), o pueden ser poblaciones nativas de maíz (poblaciones panmícticas). Las combinaciones germoplásmicas derivadas de poblaciones nativas x variedades mejoradas también pueden ser germoplasma base para programas de mejoramiento genético en maíz (Dzib-Aguilar *et al.*, 2011).

El conocimiento de la magnitud de los parámetros genéticos de la población base de selección, permite diseñar la mejor estrategia a seguir en programas de mejoramiento genético (Rovarís *et al.*, 2011).

La base de la formación de híbridos comerciales son las líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria: sin embargo, el éxito de la obtención de líneas sobresalientes, depende del nivel de variabilidad genética presente en la población segregante y de la frecuencia génica de alelos de interés (Borel *et al.*, 2013).

Diseño alfa-látice con bloques incompletos al azar

Al realizar estudios en maíz los experimentos en Bloques Incompletos (Alfa Látice). Tosquy Valle *et al.*, (2005) hace mención que este tipo de modelo es empleado en experimento de selección de líneas en el cultivo de interés, y utilizados en campo en los procesos de mejora genética.

Asif *et al.*, (2008) la ganancia es considerable en términos de eficiencia alcanzada al utilizar un diseño alfa latice por proporcionar un mejor control de la variabilidad experimental entre las unidades experimentales que favorece un uso más amplio de estos diseños en condiciones de campo.

El uso de diseño alfa reticular permite el ajuste de las medias de tratamiento para efectos de bloqueo. Esto, a su vez, trae beneficios de los pequeños bloques incompletos que ayuden a las comparaciones varietales en condiciones más homogéneas (Kashifa *et al.*, 2011).

Gabriel *et al.*, (2017) según estos autores, cuando se tiene un experimento donde los tratamientos se alojan al azar sobre las unidades experimentales, de modo que solo un conjunto de los mismos aparece representado por lo menos en uno de los bloques, se dice que el experimento es de bloques incompletos.

El diseño de bloques incompletos asegura, por un lado, un mejor control de la heterogeneidad del material experimental, pero, por otro lado, pierde precisión al confundir parte de la información relevante. Analíticamente, es posible demostrar que cualquier contraste entre los efectos reales de tratamientos, puede estimarse de dos maneras, en términos de los efectos factoriales estimados. Una de ellas es a partir de comparaciones dentro de bloques, y la otra, a partir de comparaciones entre bloques, suponiendo aleatorios los efectos de estos últimos (Gabriel *et al.*, 2017).

Índice de selección

Smith (1936) fue quien sugirió el empleo del concepto de una función discriminante como una forma lógica y sistemática en la selección de líneas para mejorar simultáneamente varias características cuantitativas, y el objetivo principal del índice de selección maximizar el promedio del valor genético de una población.

El método de índice de selección es ampliamente utilizado con la finalidad de auxiliar la selección de líneas e híbridos, debido a que los índices de selección (IS) condensan información de distintas fuentes y características en un solo valor para cada individuo. Luego la selección procede como si este valor fuera característica simple (Barreto *et al.* 1991).

Las poblaciones base de selección pueden formarse a partir del cruzamiento entre líneas endogámicas contrastantes, del cruzamiento entre variedades mejoradas, por el entrecruzamiento de un grupo de líneas o poblaciones (pool genético), o pueden ser poblaciones nativas de maíz (poblaciones panmícticas). Las combinaciones germoplásmicas derivadas de poblaciones nativas x variedades mejoradas también pueden ser germoplasma base para programas de mejoramiento genético en maíz (Dzib-Aguilar *et al.*, 2011).

El conocimiento entre las interrelaciones entre el rendimiento y los caracteres considerados como componentes de rendimiento podría mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento a través del uso apropiado de índices de selección (Mohammadi *et al.*, 2003).

Cerón *et al.*, (2006) indica que, en el mejoramiento de plantas, los índices de selección (IS) ayudan a identificar los mejores individuos para el siguiente ciclo de selección sobre la base de los valores fenotípicos observados para varias características de cada candidato en un solo índice, es decir individualmente.

Al respecto, los índices de selección ayudan a seleccionar los mejores individuos para el próximo ciclo de selección en base a los valores fenotípicos observados (Cerón *et al.*, 2006). Rabiei *et al.*, (2004); Gethi y Smith (2004) siendo, además, un criterio de selección eficaz para el mejoramiento de plantas. Se ha reportado que los índices de selección asistida por marcadores, en generaciones sucesivas de cruzamientos permitirían lograr la obtención de un genotipo ideal (Peleman y Van der Voort, 2003).

La correlación genética entre dos caracteres juega un papel importante en la respuesta correlacionada de la selección y asegura un máximo mejoramiento de los índices de selección al combinar diferentes caracteres (Mohammadi *et al.*, 2003).

En maíz, es importante utilizar una metodología para determinar que caracteres deben incluirse en la selección simultánea, a fin de mejorar la producción (Milligan *et al.*, 2003). Por lo general las características utilizadas en un índice de selección deben ser de mayor heredabilidad que el rendimiento *per-se* y estar significativamente correlacionadas con este.

Sistema de riego por goteo

Debido a que en el riego por goteo se dosifica el agua y nutrimentos de acuerdo con la demanda de la planta, la disponibilidad de éstos es adecuada, lo que permite que la fotosíntesis neta sea alta, lo cual se refleja en incrementos en el rendimiento y calidad del cultivo (Camp, 1998).

La utilización de sistemas de riego que disminuyan las pérdidas por conducción, aplicación y evaporación se hacen necesarias en la producción de cualquier cultivo. El riego por goteo subsuperficial (RGS) alcanza una de las mayores eficiencias en la aplicación del agua (95%) (Guevara *et al.*, 2005).

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes en la actualidad, el suministro de agua es constante y uniforme, gota a gota, que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión. El agua aplicada por los góteros forma un humedecimiento en forma de cebolla en el interior del suelo, al que comúnmente se le denomina “bulbo húmedo”. Este bulbo normalmente alcanza su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente y su forma está condicionada fuertemente por las características del suelo, en particular la textura (Intagri, 2011).

Un sistema de riego por goteo logra eficiencias del 90-95 % en el empleo del agua y de los fertilizantes, mientras que con un sistema por gravedad la eficiencia es del orden de 55-60 %. El riego por goteo difiere mucho de los otros sistemas de riego, por lo que se debe administrar correctamente para aprovechar al máximo sus beneficios y evitar problemas (Lecaros, 2011).

Kafkafi y Tarchitzky (2012) expresan que el riego por goteo permite la entrega directa de agua desde la fuente emisora al punto de demanda, cercano a una planta en crecimiento, con mínimas pérdidas de agua por evaporación desde 10 áreas de suelo no cubiertas por plantas. De la misma manera señalan que las raíces de las plantas proliferan donde el agua y los nutrientes están disponibles. Esta adaptación radicular a las condiciones de suelo húmedo permite el uso de una única línea entre dos hileras de cultivo, o incluso una línea de riego por cada tres surcos de un cultivo o el mojado parcial de la superficie del suelo de quintas frutales.

III. MATERIALES Y METODOS

Material genético

El material genético vegetal utilizado en esta investigación consta de una población de maíz rojo manejado por el Instituto Mexicano del Maíz (IMM). Se caracteriza por ser una población tipo normal con una coloración roja intensa en el grano, tiene excelente tamaño de mazorca, buena profundidad del grano y de forma dentada, presenta alto contenido de azúcares lo que la hace de excelente calidad para consumirla en elote; tiene un alto uso en platillos gastronómicos de especialidad. Así como la importante ingesta de antioxidantes al consumirlo.

El presente trabajo de investigación fue realizado a partir de 120 líneas S_1 (o familias de autohermanos) de maíz de color rojo las cuales fueron derivadas de una población que poseía una alta frecuencia de este tipo de maíz tales líneas fueron evaluadas en el año 2019 y durante el 2020 se seleccionaron para mejorar la sanidad, porte, precocidad, rendimiento y calidad; con el auxilio de un índice de selección básico dejando el 10 % de las líneas más sobresalientes dando mayor importancia a la pigmentación del grano (color), luego a sanidad, porte, precocidad, rendimiento y calidad; pasando así a formar el primer ciclo de mejoramiento.

Evaluación de los ensayos de rendimiento:

Se evaluaron 120 líneas S_1 o familias de autohermanos en el año 2019, bajo un diseño estadístico de bloques incompletos al azar con arreglo alfa-latice, con 2 repeticiones y cada parcela con un contenido de 23 plantas, los testigos empleados fueron de dos líneas amarillas S_6 de excelente comportamiento agronómico.

La siembra del experimento se realizó el día 09 de mayo del 2019 en terrenos propios de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. En el campo experimental "El Bajío", de clima seco semicálido, la ubicación geográfica es: 25°21', Latitud Norte, 101°02', longitud Oeste, con una precipitación anual total de 355-400 mm y una altitud de 1,742 m s.n.m. con una temperatura media anual de 19.8 °C.

Descripción de la parcela experimental

La siembra se llevó a cabo de manera manual; siendo la unidad experimental un surco de 3.70 m de largo por 0.80 m de ancho, con espaciamento de 0.16 m entre planta; a una densidad de 78,125 plantas por hectárea.

Manejo Agronómico

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

Siembra

Se realizó manualmente depositando alternante dos semillas, una semilla por golpe con un total de 35 semillas por parcelas con el fin de obtener un numero de 23 plantas para una toma de datos exactos.

Fertilización

La fórmula aplicada en estos ensayos de rendimiento fue 200N-100P-100K unidades de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente, se distribuyó de la siguiente manera: todo el P, K y la mitad de N 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

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

Riego

Se aplicó mediante el sistema de riego por cintilla, los cuales fueron riegos variables y estuvieron en función de las necesidades del requerimiento hídrico de las plantas.

Aclareo

Esta práctica se realizó cuando el cultivo estaba en la 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 hectolitrito.

Variables agronómicas evaluadas

Días a floración masculina (FM)

Son los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela experimental se encuentren en antesis.

Días a floración femenina (FH)

Son los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela experimental presentan estigmas visibles de 2 cm de longitud en promedio.

Altura de planta (AP)

Distancia medida en decímetros, comprendidos desde la base del tallo a nivel del surco hasta la inserción de la hoja bandera.

Altura de mazorca (AM)

Distancia medida en decímetros comprendida desde la base del tallo a nivel del surco hasta el nudo de la inserción de la mazorca principal.

Acame de raíz (AR)

Número de plantas que presentan un ángulo de inclinación menor a 90° con respecto a la posición vertical de la planta, el valor se expresó en porcentaje.

Acame de tallo (AT)

Es el porcentaje de plantas que se encontraron acamadas por parcela, considerándose como acamadas aquellas plantas que presentaron el tallo totalmente quebrado por debajo de la mazorca principal.

Calificación de planta (CP)

Valor expresado como calificación de las plantas por parcela útil que considera; porte, sanidad, vigor, potencial de rendimiento y precocidad, la escala de calificación va de 1 a 9 (1 muy mala y 9 muy buena).

Mala cobertura (MC)

Es el número de mazorcas que presentan un mal envolvimiento por el totomoxtle, el valor fue expresado en porcentaje.

Plantas con *Fusarium* (FUS)

Es el número de plantas expresado en porcentaje, que se encontraron con muerte prematura o dobladas por parcela, considerándose como plantas con fusarium aquellas plantas que presentaron muerte prematura.

Calificación de mazorca (CM)

Calificación visual en base al total de mazorcas cosechadas por parcela útil que tienen un buen llenado de grano, tamaño, uniformidad, sanidad y calidad de semilla, la escala va de 1 a 9 (1 muy mala y 9 muy buena).

Peso hectolítrico (PH)

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 de la parcela útil; cuyo dato se tomó en el aparato Dickie Jhon.

Porcentaje de humedad (% H)

Este dato se obtuvo a través de la toma de un mínimo de 6 mazorcas en cada parcela, se desgranaron hasta obtener un aproximado de 250 gramos, para determinar la humedad con el aparato Dickie Jhon.

Rendimiento (REND)

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

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

Dónde:

PS= Peso seco.

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

PC= Peso de campo en kg.

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

$$FC = \left[\frac{10,000 m^2}{APU \times 1000} \right]$$

FC= Rendimiento en tonelada por ha de mazorca en peso seco (PS). Se obtuvo dividiendo la equivalencia de la hectárea sobre el resultado del producto área de parcela útil (APU) por 1000 para tener la equivalencia en toneladas.

APU= *(No. De plantas menos uno) x (Dist. Entre plantas) x (Dist. Entre surco)*

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

$$RENDA = REND + REND \times (0.155)$$

Donde:

RENDA= Rendimiento de mazorca en t ha⁻¹ al 15.5 por ciento de humedad.

REND= Rendimiento estimado en mazorca en t ha⁻¹.

APU= Es el área de la parcela útil, determinado por la distancia entre surco por la distancia de estos y por el número de planta por parcela.

0.155= Es la constante para determinar el rendimiento al 15.5 por ciento de humedad.

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

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

Análisis estadístico

Como las variables acame de raíz, acame de tallo, mala cobertura y plantas con fusarium, se tomaron en porcentaje y realmente su distribución tendía a una distribución binomial esa fue la razón por la cual los datos se transformaron mediante la propuesta de arco seno angular (Segnini, 2008).

Para generar los datos transformados: primero al número (proporción) registrado en cada variable se le sumó 0.5, con este nuevo valor se generó el porcentaje por variable, luego al porcentaje se le dividió entre 100 y a este dato se le sacó raíz cuadrada. finalmente, a este estimado se le calculó su valor de arcoseno de esta forma se generaron los valores transformados

Análisis de varianza

El análisis de varianza de este trabajo se realizó bajo un diseño estadístico de bloques incompletos al azar con un arreglo alfa látice, dentro del cual se estudiaron

13 variables, para observar el comportamiento de las repeticiones, bloques dentro

de repeticiones; con la ayuda del paquete estadístico SAS. Se realizó bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + B_j(i) + T_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variables de respuestas.

μ = Efecto de la media general.

R_i = Efecto de la i-ésima repetición.

$B(i)$ = Efecto de la j-ésima bloques, dentro de la i-ésima repetición.

T_k = K-ésima tratamientos.

E_{ijk} = Efecto del error experimental.

Coeficiente de variación

Este permite determinar la relación que existe entre el tamaño de la muestra y la variabilidad de las características. Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una repetición de lo representativo de la muestra en teoría valores menores al 20% son considerados como una muestra confiable, suficiente o representativa de la población de interés.

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

$$CV = \sqrt{CMEE}/(\bar{x}) \times 100$$

Dónde:

CV = Coeficiente de variación.

$CMEE$ = Cuadrado medio del error.

\bar{x} = Media general.

Con base a los resultados arrojados por el análisis de varianza combinado, el procedimiento a seguir fue construir un índice de selección, aplicando el modelo Multivariado de Componentes Principales y su gráfico Biplot, lo cual permite observar objetivamente las variables que se agrupan por estar correlacionadas y de cada grupo se elige la variable más indicada para que represente al resto de las variables.

Gráfico de Biplot

La utilidad de las gráficas “Biplot” genera una óptima interpretación de los efectos propios del modelo, ya que con ellas es posible establecer importantes relaciones entre los efectos (Alejos *et al.*, 2006).

Para (Parsad *et al.* 2008) un biplot es un gráfico de dispersión que muestra la serie de factores y la columna de factores de dos datos. El grafico es llamado biplot porque los genotipos y los ambientes son graficados simultáneamente.

Con la ayuda del Modelo Multivariado de Componentes Principales para analizar y visualizar si existen agrupamientos entre las 13 variables, es importante trabajar con las medias ajustadas estandarizadas ya que cada carácter fue tomado en diferente medida como son: porcentaje, calificaciones, t ha⁻¹, cm, etc., con el objetivo de igualar las distribuciones a una normal estandarizada con media cero y desviación estándar igual a uno; las variables se estandarizaron con la prueba Z con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma}$$

Z = Valor estandarizado

Y_i = Valor observado

\bar{Y} = Promedio

σ = Desviación estándar de la variable de la ecuación.

Después de haber estandarizado los datos de las trece variables se acomodaron en una tabla de contingencia donde los genotipos ubicados en el eje de las χ representan las filas y las variables fueron las columnas posicionadas en el eje de las γ , de esta forma se corrió el modelo, con el propósito de observar el gráfico Biplot en el programa estadístico SAS 9.0, para la visualización de los agrupamientos naturales de las trece variables.

Índice de selección

Después de identificar los agrupamientos entre los cuadrantes cartesianos por variables correlacionadas obtenidas del gráfico Biplot, se seleccionó una variable de cada agrupamiento que tuviera correlación con otras dentro del mismo cuadrante para que esta representara al resto.

Para este estudio las variables seleccionadas fueron las siguientes: para el primer agrupamiento se consideró la variable de plantas con *fusarium* asociada con sanidad, para el siguiente agrupamiento se seleccionó la variable altura de planta para el tercer agrupamiento se consideró la variable de humedad a la cosecha.

El índice de selección se realizó para cada una de las repeticiones, donde se empleó la siguiente ecuación:

$$IS = \{[(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] \dots \dots [(Y_n - M_n)^2 * I_n]\}^{1/2}$$

Dónde:

IS = Índice de selección.

Y ... n = Variables en unidades Z.

M ... n = Meta de selección.

I ... n = Intensidad de selección.

La meta de selección asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar del promedio que se desea lograr en la selección. Esta toma

valores de -3 a +3, los valores negativos son importantes para la selección de variables que interese se encuentren por debajo de la media por ejemplo precocidad, altura de planta, etc., por el contrario, valores positivos son importantes para variables que interese que su expresión sea superior a la media de la población por ejemplo rendimiento, calidad, etc. aquellos genotipos que interesa se encuentren por arriba de la media de la población y para seleccionar variables que interese que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor a cero, la meta deseada se calcula con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Meta\ de\ selección} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Dónde:

x = Valor de la variable.

\bar{x} = Media.

σ = Valor estándar de la variable.

La intensidad de selección es el grado de importancia que se le asigna a cada una de las variables ser utilizadas en la selección y toma valores de cero (0) a diez (10), este valor es diferente para cada una de las variables según el criterio del investigador. El valor de intensidad más pequeño (0), es asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10), representa la variable de mayor importancia. En este experimento la intensidad de las tres variables fue: Plantas con fusarium 8, Altura de la planta 9 y Humedad 10.

Los valores obtenidos del índice de selección por repetición se utilizaron como variables de respuesta en un análisis de varianza para hacer una comparación más robusta y confiable de las medias presentadas por cada híbrido, individuos seleccionados fueron los que tuvieron el índice más bajo, dado que son las distancias más cercanas a la meta deseada y que según que son superiores respecto a los genotipos buscados.

Criterios de Selección

Las metodologías de selección empleadas en maíz por los Fitomejoradores se basan principalmente en el rendimiento y no siempre conducen al éxito deseado, la selección podría ser más efectiva si se tomaran simultáneamente otros caracteres (Celis *et al.*, 1986).

Con la ayuda de los agrupamientos del gráfico Biplot se seleccionaron las tres variables sobresalientes que nos permitieron constituir el índice de selección para identificar los mejores individuos en cuanto a rendimiento, sanidad, precocidad, porte y sobre todo el color de la mazorca.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta la discusión e interpretación de los resultados de los análisis de varianza, cuadros y gráficos, tomados de la evaluación de las 120 líneas S₁ o familias de autohermanos; llevado a cabo en el ciclo primavera-verano (P-V) del año 2019; con el siguiente orden: i) comenzando con el desglose del análisis de variancia individual en el cual se muestran las 13 variables agronómicas con las se estuvo trabajando durante el experimento; ii) construcción e interpretación del índice de selección tomando en cuenta las variables representativas de los grupos correlacionados; iii) y por último se muestra el cuadro con la identificación de las líneas superiores en base al índice de selección fenotípico básico.

En el Cuadro 4.1, para la fuente de variación Repeticiones se detectaron diferencias altamente significativas al ($P \leq 0.01$) para seis características: FM, FH, AP, AM, MC y HUM, por lo que se considera que el diseño fue eficaz, esto permitió observar las diferencias que hubo entre las repeticiones y así minimizar el efecto del error experimental para tener una mejor apreciación de las diferencias entre los genotipos. Al respecto Tonk *et al.*, (2011) mencionan que en un programa de mejoramiento genético, el desarrollo de genotipos estables y con rendimiento alto es de fundamental importancia en la producción comercial de semilla, por tal motivo, en las etapas finales del proceso de mejoramiento, los genotipos desarrollados deben ser evaluados en diferentes ambientes y durante varios ciclos, para identificar a aquellos con potencial sobresaliente antes de ser recomendados para cultivarse en alguna ambiente o región.

Para la fuente de variación Bloques dentro de Repeticiones, se detectaron efectos altamente significativos al ($P \leq 0.01$) para tres características: FH, AP y PFUS, esto indica que el bloqueo resultó ser eficiente para estas variables, debido a que estas

diferencias indican la variación que existe en el terreno de evaluación, lo que permite determinar que el bloqueo fue eficiente en los ambientes señalados, lo cual permitirá una selección más precisa de los materiales experimentales.

En la fuente de variación genotipos (se tienen 114 grados libertad en lugar de 119 porque se eliminaron 5 líneas que no tenían buen desarrollo agronómico), se detectaron diferencias altamente significativas al ($P \leq 0.01$) para nueve características: FH, AP, AM, AR, MC, PFUS, CM, HUM y REND, lo que en otras palabras se expresa es que existe variabilidad en los materiales estudiados, esto facilita la posibilidad de que al menos una línea sea diferente al resto, es de suma importancia recalcar esto ya que permitirá hacer una selección adecuada y que convenga a los objetivos del programa de mejoramiento.

Desglosándolo por variables, se tiene que para Días a Floración en Macho y Hembra los valores de coeficiente de variación son 2.85 y 2.72 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables; las medias fueron 80 días a floración para machos y 81 para hembras con valores mínimos y máximos que van de 71 a 86 y de 72 a 86 días respectivamente. Los materiales tardíos favorecen a los productores que se encuentran en regiones donde se presentan precipitaciones altas o existe alguna forma de suministrar humedad artificialmente.

La precocidad, es el tiempo comprendido entre la emergencia y la floración de la planta, es una característica fundamental a la hora de elegir una variedad. Este factor influye en la producción y la persistencia del cultivo; La precocidad anticipa la etapa de floración dando individuos con un ciclo más corto de producción dejando al productor la oportunidad de obtener dos ciclos por año si así lo desea, es por ello que dentro de este programa de mejoramiento se busca seleccionar los individuos sobresalientes en cuanto esta variable. El genotipo que presentó menor días a floración siendo el más precoz fue la línea 6; teniendo valores de 72 días para floración macho y 74 días para floración hembra.

Para las variables de Altura de Planta y Altura de Mazorca los valores de coeficiente de variación son 6.72 y 8.99 respectivamente lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables; presenta medias de 210.62 cm y 122.38 cm con valores mínimos y máximos de 168.06 cm a 288.03 cm en altura de planta y 80.99 cm a 150.23 cm en altura de mazorca.

El porte de la planta es un factor importante para trabajar de una forma más satisfactoria con el cultivo en cuanto al manejo agronómico y labores culturales es por ello que con las variables de altura de planta y de mazorca se busca seleccionar los individuos que presenten una altura deseable, según los objetivos para forraje o para altas densidades de siembra para facilitar el manejo agronómico y la cosecha. El genotipo que mostró estas variables en cuanto a la altura con el propósito para siembra de altas densidades es la línea 33 con valores de 193 cm altura de planta y 119 cm altura de mazorca, y en todo caso la línea que mostro ser más eficiente en cuanto a forraje fue la línea 2 con valores de 233 cm altura de planta y 131 cm en altura de mazorca. Respecto a la altura pueden formarse poblaciones tanto bajas como altas, dependiendo del objetivo, en ambas se pueden hacer uso del grano y del forraje, en una población con plantas altas la cantidad de forraje está dado por la altura de la planta, en una población baja por una mayor densidad de plantas por hectárea (Tucuch-Cauich *et al.*, 2011).

Las variables Acame de Raíz y Acame de Tallo tienen valores de coeficiente de variación de 43.31 y 31.58 respectivamente lo que indica que se encuentra en un rango no aceptable y que los datos de estas variables son poco confiables; presentando una media de 16.51 para acame de raíz y para acame de tallo 9.89 con valores mínimos y máximos de 5.15 a 35.15 en raíz y 7.16 a 18.84 en tallo.

El Porte tiene que ver con estas variables ya que se busca seleccionar individuos resistentes al acame de tallos y raíces, quedándonos con los individuos que resultaron ilesos contra el viento, lluvia, granizo, suelos sueltos etc. al mismo tiempo

estas variables están relacionadas con la sanidad debido a que se buscan materiales resistentes. La línea 64 mostro valores bajos en cuanto a las variables acame de raíz y acame tallo con valores de 1 y 0 respectivamente por lo que esta línea es muy prometedora a la hora de seleccionar.

La variable de Mala Cobertura se traduce como un problema de pudrición de la mazorca ya sea por hongos, insectos o bien el germinado del grano por la lluvia, presenta un coeficiente de variación de 26.16 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de estas variables son confiables; y se tiene una media de 34.75 con valores mínimos y máximos de 14.62 a 55.29 respectivamente. En cuanto a la variable de Mala Cobertura se seleccionaron los individuos que presentaron menor daño por patógenos ya sean hongos, insectos o el germinado del grano por la lluvia, el genotipo que mostró menor porcentaje en cuanto a esta variable fue la línea 8 con un valor de 18, esta variable es importantes bajo cualquier circunstancia, ya que afecta directamente el rendimiento.

Para la variable Plantas con *Fusarium* se tiene un coeficiente de variación de 33.08 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que el dato de esta variable es confiable; y presenta una media de 21.27 teniendo valores mínimo y máximo de 5.26 a 49.95 respectivamente. Dentro de la variable de plantas con *fusarium* existe una relación con el factor de sanidad, por ello se seleccionaron individuos que presentaron un porcentaje bajo en cuanto al daño e incidencia de patógenos, quedándonos con los individuos que mostraron ser más resistentes, las líneas 64 y 113 presentaron el porcentaje más bajo en cuanto a la incidencia de patógenos y fueron las líneas que menor daño tuvieron de *fusarium* con un valor de 2.

Uno de los aspectos más importantes para el mejorador en cuanto al rendimiento es seleccionar las plantas y mazorcas con mejor calificación en base a una escala, para ello se tomó la variable de Calificación de Planta y Calificación de Mazorca donde se tiene valores de coeficiente de variación de 29.91 y 22.71 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que los datos de estas variables son

confiables; presentando valores en la media de 2.75 y 4.59 respectivamente con valores mínimos y máximos de 0.87 a 4.55 en calificación de la planta y 2.09 a 9.09 en calificación de mazorca.

Las variables calificación de la planta y calificación de la mazorca son variables muy importantes para el mejorador y el productor ya que están relacionadas con el rendimiento y la calidad del producto final, se busca cuidar el color rojo del grano de las mazorcas debido a la gran cantidad de antioxidantes que estos materiales presentan. Los genotipos que presentaron mejor calificación en planta y mazorca con respecto al resto fueron las líneas 2, 36 y 37 con valores de 4 para calificación de la planta y 7 para calificación de la mazorca respectivamente.

La variable de Humedad presenta un valor de coeficiente de variación de 9.66 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que el dato de esta variable es confiable; tiene una media de 20.56% con valores mínimo y máximo de 14.35% a 26.22% respectivamente.

La humedad en el grano está relacionada con el rendimiento, sanidad y calidad de la mazorca esta variable se define como “grado de humedad” (H) en por ciento del peso del grano, y se refiere a la relación o proporción entre el peso de los almidones, azúcares, sacarosa, fructosa, aceite, entre otros compuestos del grano, y la cantidad de agua presente en el mismo. Esta relación, fijada en la calidad, asume que los primeros compuestos mencionados deben encontrarse en un porcentaje del 86% y el restante 14% deberá ser ocupado por agua, como base para todas las clasificaciones de calidad, esta puede realizarse con diferentes niveles de humedad, sin embargo, se considera que el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento del maíz, es del 14%. Es por eso que se seleccionaron los individuos que presentaron este porcentaje de humedad siendo estos los de mayor calidad y por ende rendimiento. La línea 37, tuvo un valor de 17% de humedad pasando a ser el material con el mejor porcentaje.

El Peso Hectolítrico es un componente muy importante ya que existe relación directa con el rendimiento, esta variable presenta un coeficiente de variación de 4.44 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que el dato de esta variable es confiable, tiene una media de 69.10 kg/hl con un mínimo y un máximo 60.34 kg/hl a 77.56 kg/hl, respectivamente.

El peso hectolítrico es un valor muy útil porque resume en un solo valor qué tan sano es el grano. Esto es importante porque cuanto más sano sea (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, fusariosos o con presencia de cualquier enfermedad) presentan; tanto que es importante ya que el tamaño del grano está relacionado con los rendimientos de molienda del maíz y que la industria molinera prefiere los granos uniformes y grandes ya que contienen una mayor proporción de endospermo. Los genotipos que tienen mejor volumen en cuanto al peso hectolítrico son las líneas 16 y 101 con un valor de 73, estos son los materiales que presentaron mejor volumen en un recipiente de 100 litros.

En cuanto a la variable de Rendimiento es un carácter de mucha importancia para el mejorador, así como, también para el productor, ya que se buscan líneas que busquen explotar el efecto de la herencia en caracteres de rendimiento e interés agronómico, lo que permitirá seleccionar las líneas más sobresalientes que la de su mejor progenitor en cuanto a esta variable la cual tiene un coeficiente de variación de 19.28 lo que indica que se encuentra en un rango aceptable y que el dato de esta variable es confiable presenta una media de 8.81 t ha⁻¹ con valores mínimos y máximos de 5.38 t ha⁻¹ a 14.49 t ha⁻¹. La línea 6 con un valor de 14 t ha⁻¹ fue el material más rendidor.

El análisis anterior demuestra que las líneas son estadísticamente diferentes para las variables estudiadas, sin embargo, al tener que considerar un gran número de variables dificulta la selección por lo que se tiene que buscar una metodología de selección adecuado al caso, lo cual se hizo con un índice de selección.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de 13 variables agronómicas en 115 familias de auto hermanos o líneas S₁ evaluados en Buenavista Saltillo, Coahuila en el verano del 2019.

Fuentes	G.L.	FM	FH	AP	AM	AR	AT	MC	PFUS	CP	CM	HUM	PHL	REND
Variación		(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(1-9)	(1-9)	(%)	(Vol.)	(t ha ¹)
Repetición	1	59.43**	52.73**	2420.43**	1996.01**	345.58*	35.04*	1135.25**	55.99	0.72	5.52*	36.10**	11.48	18.29*
Bloc (Rep)	10	10.48*	17.33**	885.22**	300.65*	78.60	8.33	2098.26*	177.06**	1.68*	1.39	3.96	9.74	2.07
Genotipos	114	18.67*	17.52**	491.44**	329.34**	110.61**	7.95	16217.11**	105.55**	0.97*	2.27**	11.64**	14.75*	5.04**
Error	86	5.22	4.86	200.33	121.11	51.17	9.76	82.74	51.73	0.67	1.08	3.95	9.44	2.88
Total	211													
C.V.		2.85	2.72	6.72	8.99	43.31	31.58	26.16	33.08	29.91	22.71	9.66	4.44	19.28
Media		80.00	80.84	210.62	122.38	16.51	9.89	34.75	21.74	2.75	4.59	20.56	69.10	8.81
Máximos		85.82	85.97	288.03	150.23	35.15	18.84	55.29	49.95	4.55	9.09	26.22	77.56	14.49
Mínimos		71.08	72.45	168.06	80.99	5.15	7.16	14.62	5.26	0.87	2.09	14.35	60.34	5.38

**=Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); *= Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); BLC(REP)= Bloques dentro de repeticiones; C.V.= Coeficiente de Variación; G.L.=Grados de Libertad para el análisis de varianza; FM= Floración Masculina; FH= Floración Hembra; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Acame de Raíz; AT= Acame de Tallo; MC= Mala Cobertura; PFUS= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de la Planta; CM= Calificación de la Mazorca; HUM= Humedad; PHL= Peso Hectolítrico; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15% de humedad.

El índice de selección es una herramienta muy importante para la identificación de los genotipos más sobresalientes y de mejor comportamiento agronómico, debido a que incluye simultáneamente todas las características deseadas, por lo contrario, sería complicado seleccionar para cada una de las características de los materiales. (Camarena *et al.*, 2008).

Para la construcción del índice de selección se debe explotar el agrupamiento natural existente en las variables de las cuales se debe escoger la de mayor importancia agronómica, económica, que tenga correlación con las demás variables y que estas las represente, dichas agrupaciones se obtienen del grafico Biplot del cual es generado por el programa estadístico multivariado de componentes principales.

Para obtener un buen resultado en la selección es ideal que en cada agrupamiento sobresalgan las siguientes variables: sanidad, porte y el rendimiento.

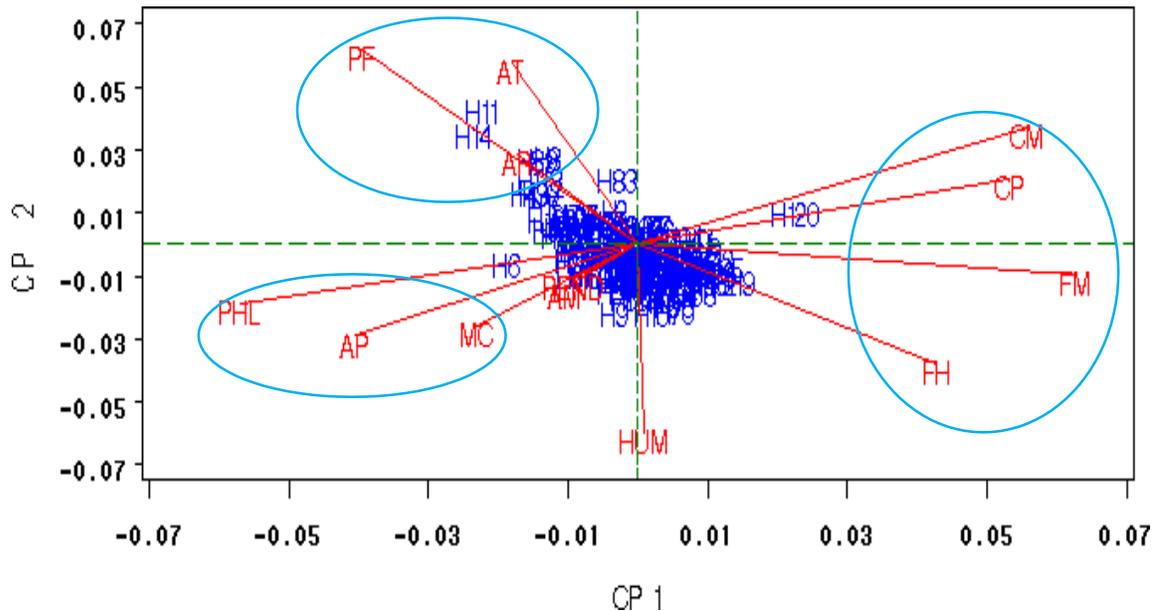
En la Figura 1 se pueden detectar cuatro cuadrantes de los ejes cartesianos en los cuales están presentes las 13 variables agronómicas y nos permite apreciar semejanzas y diferencias entre estas de acuerdo con (Tamayo *et al.*,2012).

Agrupamiento natural de las variables

En el primer agrupamiento se observan las variables de acame de raíz, acame de tallo y plantas con *fusarium*, en este cuadrante se posicionan las variables que se asocian con la sanidad en la que se seleccionó la variable de Plantas con fusarium ya que se busca generar plantas resistentes a patógenos y esta representará y hará una respuesta correlacionada con las demás variables de este grupo.

En el segundo agrupamiento se observan las variables peso hectolítrico, altura de planta y mala cobertura. en este grupo se indican las variables asociadas con el

porte de los materiales, se tomó la variable altura de la planta para considerarla en la construcción del índice de selección ya que se buscan fenotipos de buen porte esta variable representara a todas las variables de este grupo.



Figuro 1. Gráfico Biplot generado a partir de 13 variables (FM= Floración Masculina; FH= Floración Hembra; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Acame de Raíz; AT= Acame de Tallo; MC= Mala Cobertura; PFUS= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de la Planta; CM= Calificación de la Mazorca; HUM= Humedad; PHL= Peso Hectolítrico; REND= Rendimiento en $t\ ha^{-1}$) medidas en 120 familias de medios hermanos o líneas S_1 de maíz evaluados en dos ambientes en el año 2019. CP1 CP2= Primer y segundo componente principal.

En el tercer agrupamiento se encuentran las variables calificación de la mazorca, calificación de la planta, floración macho, floración hembra en este grupo se ubican las variables asociadas con el rendimiento; se tomó la variable humedad ya que esta variable es un factor muy importante asociado al rendimiento la cual representara a todas las variables de este grupo.

En general, el gráfico permitió identificar las variables que mejor representan la variabilidad dentro de cada agrupamiento y las expectativas es que en un índice de selección exista una respuesta correlacionada con el resto de las variables del

grupo, cuando se selecciona un carácter como medio para mejorar otro, deberá considerarse, el grado de asociación del carácter por mejorar (Tucuch *et al.*, 2011).

Con los resultados obtenidos de las tres variables identificadas en cada agrupamiento del gráfico de Biplot se procedió a hacer el índice de selección a través del modelo descrito por (Barreto *et al.*, 1991) para seleccionar de manera más eficiente y como indica Barreto se clasificó a cada variable de acuerdo a su importancia económica, lo que permitió asignar metas e intensidades para cada variable involucrada en este IS.

El valor de intensidad más pequeño (0), es asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10), representa la variable de mayor importancia. En este experimento la intensidad que se asignó a cada variable fueron las siguientes: Plantas con fusarium 8, Altura de la planta 9 y Humedad 10.

Estimación del índice de selección

El siguiente paso fue estimar el índice de selección con las tres variables seleccionadas de cada agrupamiento, se procedió a construir el índice de selección y con ello calcular el valor al mérito de cada genotipo evaluado de los valores obtenidos de cada repetición empleando para ello un software, estos valores se utilizaron como variable de respuesta y fueron modelados bajo un diseño de bloques completos al azar para poder demostrar la existencia de variación que existe dentro de estos materiales y poder seleccionar los mejores por medio de los valores del índice de selección.

En el cuadro 4.2. se tiene que la fuente de variación Repeticiones no presentó diferencias significativas, indicándonos que dentro de esta no hubo efecto diferente en el comportamiento de los índices de selección de los genotipos.

Cuadro 4.2. Resultados del análisis de varianza del índice de selección.

Fuentes de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Repeticiones	1	4.78	4.78
Líneas	115	1810.43	15.74**
Error	100	780.19	7.8
Total	216	2590.64	
C.V.	16.45		
Media	16.97		
E.E.	2.38		

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); *Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); G.L. = Grados de Libertad; C.V.= Coeficiente de Variación; E.E. = Error Estándar.

En la fuente de variación en las Líneas se detectaron diferencias altamente significativas, esto indica que los índices de selección se expresaron de manera diferente y que al menos una línea es diferente, la selección de las líneas superiores con atención al valor del mérito será de manera exitosa.

Índice de Selección

Para seleccionar los mejores genotipos se recurrió al análisis estadístico y prueba del agrupamiento de Duncan donde se identificaron las líneas más sobresalientes de acuerdo a las 13 variables agronómicas dejando como superiores aquellas que mostraron porte, sanidad, precocidad, rendimiento, y sobre todo el color de la mazorca, la selección del 10% de los mejores materiales se hizo seleccionando los genotipos que arrojó el agrupamiento de Duncan los cuales se leyeron de abajo hacia arriba, de acuerdo a esto, los índices más bajos son los genotipos más sobresalientes. En el Cuadro 4.3. se presenta el 10% de los genotipos más sobresalientes, es decir, las 12 líneas que resultaron ser superiores al resto.

Como resultado de la selección se identificó la línea 16 siendo el genotipo que mostró menor valor al mérito del índice de selección 11.11 posicionándolo como el

primer lugar, dicha línea sobresale en cuanto en las variables altura de la planta y altura de la mazorca lo cual la hace de buen porte, pero presentó un valor alto en cuanto a la variable de Mala Cobertura.

Como segundo lugar se encuentra la línea 101 con un valor de índice de selección de 11.12, esta línea muestra un buen comportamiento agronómico en precocidad y porte siendo muy prometedora en cuanto las variables de floración hembra, floración macho, altura de la planta y altura de la mazorca. además de que presenta buena calificación en planta y mazorca, y tiene un valor bajo en cuanto a plantas con *fusarium*; relacionando estas variables, está línea muestra una adecuada sanidad, y por si fuera poco presenta uno de los valores más altos de rendimiento siendo su valor 13 t ha^{-1} , este tipo de líneas son de suma importancia para el Fitomejorador ya que, entre otras cosas, es lo que se busca en un programa de mejoramiento genético. de acuerdo con (Peña, 2008) estos genotipos se consideran como superiores ya que sus valores son los más cercanos a los criterios expresados en la meta asignada a cada variable.

La línea 82 tomo el tercer lugar con un índice de selección de 11.27, esta línea presenta buen porte mostrando ser muy prometedora en cuanto a la altura de la planta y de la mazorca, tiene un valor de 0 en cuanto acame de tallo y presenta muy buena calificación en la mazorca siendo un factor relacionado con el rendimiento el cual fue de 12 t ha^{-1} pasando a ser una de las líneas más rendidoras. Los caracteres involucrados en índices que presentaron mayor eficiencia fueron aquellos que consideraron al rendimiento de grano, lo cual concuerda con (Robinson, *et al.* 1951) y con lo reportado por (Searle, 1965).

En cuarto lugar, se encuentra la línea 64 con un índice de selección de 12.15, línea que obtuvo valores bajos en cuanto acame de raíz, acame de tallo y plantas con *fusarium* relacionando estas variables con una muy buena sanidad, además de que presentó buen puntaje en cuanto a la calificación de planta y mazorca

Cuadro 4.3. Líneas sobresalientes seleccionadas mediante el valor del índice de selección.

Líneas	IS	FM (días)	FH (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	PF (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	HUM (%)	PHL (vol.)	REND (t ha ⁻¹)
16	11.11	81	81	202	116	7	0	58	5	3	6	20	73	8
101	11.12	77	78	232	112	4	1	20	3	4	6	19	73	13
82	11.27	82	82	223	140	8	0	38	10	2	7	21	71	12
64	12.15	80	80	209	97	1	0	25	2	4	6	22	69	11
2	12.73	79	79	233	131	24	0	22	25	4	7	18	66	11
113	12.85	81	82	209	130	5	0	46	2	2	6	23	70	10
33	14.16	81	82	193	119	6	0	29	15	3	7	26	67	9
8	14.22	74	76	201	80	19	9	18	23	2	7	18	66	12
36	14.35	80	81	212	153	1	1	63	9	4	7	20	70	9
37	14.44	81	80	233	128	1	3	31	13	4	7	17	72	9
108	14.49	77	77	225	102	20	0	22	9	4	6	21	62	10
6	14.59	72	74	215	118	9	0	54	19	2	6	22	70	14

IS= Índice de selección; FM= Floración Masculina; FH= Floración Hembra; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Acame de Raíz; AT= Acame de Tallo; MC= Mala Cobertura; PFUS= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de la Planta; CM= Calificación de la Mazorca; HUM= Humedad; PHL= Peso Hectolítrico; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15% de humedad.

Como resultado de la selección se identificó la línea 2 que se posiciona en el quinto lugar, con un valor de índice de selección de 12.73, esta línea sobresale en cuanto a las variables de floración hembra y floración macho relacionando estas variables con precocidad siendo este un gran atributo, además de que es una de las líneas con mayor calificación en planta y mazorca.

La línea 113 se encuentra en la sexta posición con un valor de índice de selección de 12.85, este genotipo es de características deseables dado que presenta buen porte, tiene un valor del 0 en cuanto a acame de tallo, y presenta un valor de 2 en cuanto a plantas con *fusarium* mostrando ser una línea resistente, presenta una buena calificación en la mazorca lo cual la hace prometedora al interés del mejorador por presentar las características agronómicas deseadas.

En cuanto a la línea 33 se obtuvo un índice de selección de 14.16, tomado el séptimo lugar, esta línea presenta buena calificación en planta y mazorca, tiene valores bajos en acame de raíz y acame de tallo teniendo buen comportamiento agronómico y en las variables de importancia las cuales son porte y sanidad de la planta.

La línea 8 se encuentra en la octava posición, esta presenta un índice de selección de 14.22, muestra muy buenos valores en cuanto a floración macho y hembra siendo un material precoz, además de que tiene buen porte al presentar valores prometedores en altura de planta y mazorca, estos genotipos son importantes para el mejorador por presentar las características agronómicas deseadas entre ellas el rendimiento siendo una de las líneas más rendidoras con un valor de 12 t ha⁻¹.

En noveno lugar se encuentra la línea 36, con un índice de selección de 14.35, con valores bajos en acame de raíz y acame de tallo, presenta muy buenos valores en calificación de la planta y la calificación de la mazorca siendo esta línea considerada la mejor en relación a la sanidad. Los objetivos de mejorar las poblaciones coinciden con lo propuesto por (Antuna *et al.*, 2003) quienes comentan que es recomendable ir formando poblaciones de porte bajo que toleren altas densidades de siembra y

resistencias al acame, sin descuidar la relación positiva de altura de planta con el potencial de rendimiento de grano.

Como décimo lugar está la línea 37, presenta un índice de selección de 14.44, esta línea tiene muy buen porte y sanidad se puede detectar que es una línea de características deseables excepto en la variable de rendimiento ya que muestra ser una de las líneas que presenta los valores más bajos con 9 t ha⁻¹.

La línea 108 tiene un índice de selección de 14.49, está se encuentra en la onceava posición, es una línea muy prometedora ya que muestra buena precocidad, la altura de la planta y de la mazorca es ideal para ampliar más la densidad de la población aprovechando más el terreno de la siembra, obteniendo un buen rendimiento, por otro lado, es una línea susceptible a *fusarium* y presenta un valor bajo en cuanto a mala cobertura, presenta buena calificación en planta y mazorca lo que la hace una de las líneas más sobresalientes siendo de gran importancia para el Fitomejorador y por consecuencia al agricultor.

Ubicándose en la doceava y última posición, se encuentra la línea 6, con un valor al mérito de índice de selección de 14.59, esta línea es sobresaliente en cuanto a la floración hembra y macho, es la línea más precoz, tiene buena calificación en mazorca, presenta valores bajos en las variables acame de raíz y acame de tallo, es de buena estética y tiene el valor más alto en rendimiento que va de 14 t ha⁻¹ siendo esta última la de mayor interés para el mejorador y el productor.

V. CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias estadísticas entre las líneas evaluadas y las variables estudiadas de acuerdo al análisis de varianza utilizado como medio de evaluación, lo que da una oportunidad adecuada a la selección.

El índice de selección resultó eficiente ya que fue una herramienta estadística de gran ayuda para seleccionar las líneas superiores.

Se logró la identificación de las 12 líneas más sobresalientes que presentaron excelentes características agronómicas deseables con buen potencial de rendimiento, materiales precoces, con porte promedio para su doble propósito forraje o la siembra de altas densidades, plantas libres de acame de raíz y tallo, y buena sanidad dejando las plantas con menor incidencia en cuenta a *fusarium*; pero lo que más se respetó dentro del índice de selección fue el color del grano.

VI. LITERATURA CITADA

- Agama-Acevedo, E., Otthenhof, M. A., Farhat, I. A., Paredes O., López, J., Ortíz-Cereceres and Bello-Pérez, L. A. (2004).** Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia* 29:643-649.
- Antuna, G. O., Rincón, S. F., Gutiérrez del R. E., Ruiz, T. N. A., Bustamante, G. L. (2003).** Componentes genéticos de caracteres agronómicas y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:11-17.
- Arnold, L. E., Lofthouse, N. and Hurt, E. (2012).** Artificial food colors and attention-deficit/hyperactivity symptoms: Conclusions to die for. *Neurotherapeutics.* 9(3):599-609. doi: 10.1007/s13311-012-0133-x.
- Arellano, V. J., Tut, C., Ramírez, A. M., Salinas, Y., Taboada, G. (2003).** Maíz azul de los valles Altos de México: I Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:101-107.
- Asif, M., Khalid, F., Yaqub, M. and Zubair, A. (2008).** Improvement in Precision of Agricultural Field Experiments through Desing and analysis. *Pak. J. life soc. sci.* 6 (2): 89-91 pp.
- Barreto H. J., Bolaños, J. y Córdova, H. S. (1991).** Programas índices de selección. Guía para la operación del software. CIMMYT. México, D.F. 27 p.
- Bellon, M. R. y Hellin, J. (2011).** Planting Hybrids, Keeping Landraces: Agricultural Modernization and Tradition Among Small-Scale Maize Farmers in Chiapas, Mexico. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), D.F., Mexico. pp: 1434-1443.
- Borel, J. C., Patto, R. M. A., Rezende, F. de C. V. and Barbosa, A. A. de F. (2013).** Genetic and phenotypic parameters in common bean segregant populations from intra and inter-gene pool crosses of elite lines. *Euphytica.* 193:39-47.

- Camarena, MF., Chura, ChJ., Blas SR. 2008.** Mejoramiento Genético y Biotecnológico de plantas. Primera Edición. UNALM-Concytec. 241 p.
- Camp, C. R. (1998).** Subsurface drip irrigation: A review. Trans. of the Am. Soc. Agric. Eng. 41: 1353-1367.
- Celis A. H; J. D. Molina. G. y A. Martínez G. 1986.** Estimación de parámetros genéticos e índices de selección de la variedad de maíz (*Zea mays* L.) Zac 58. Agrociencia. Vol. 63:134-136.
- Cerón, J. J., Crossa, J., Sahagún, F., Castillo, and Santacruz, A. (2006).** A selection index method base don eigenanalysis. Crop Sci. 46:1711-1721.
- Dzib-Aguilar, L. A., Segura, J. C., Ortega, R. y Latournerie, L. (2011).** Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. Trop. Subtrop. Agroecosys. 14:119-127.
- Egesel, C. O., Wong, J. C., Lambert, R. J., Rocheford T. R. (2003).** Combining ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols Crop Sci. 43(1):818-823.
- Escribano-Bailon, M. T., Beulga-Santos, C. y Rivas-Gonzalo, J. C. (2004).** Anthocyanins in Cereals. Journal Chromatography. 1054:129-141.
- Espinosa, T. E., Mendoza, C. M. del C., Castillo, G. F., Ortiz, C. J., Delgado, A. A. y Carrillo, S. A. (2009).** Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. Rev. Fitotec. Mex. 32(4):303-309.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. F. C. (1996).** Introduction to quantitative genetics. 4th Ed. Longman Group Ltd, London, England. 312-321 pp.
- Gabriel, J., Castro, C., Valverde, A., Indacochea, B. (2017).** Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Ecuador. 146 p.
- Garbuglio, D. D., De Miranda Fihlo, J. B. y Cella, M. (2009).** Variabilidade genética em famílias S₁ de diferentes populações de milho. Acta Sci. Agron. Maringá. 31(2):209-213.
- Guevara E., A., G. Bárcenas H., F. R. Salazar M, E. González S. y H. Suzán A. 2005.** Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. Agrociencia 39:431-439.

- Hallauer, A. R. (1981).** Selection and breeding methods. In: plant breeding II. Frey, K. J. (Ed.). Iowa State University Press. Ames. Iowa. 497 p.
- Hernández-Uribe, J. P., Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J. J., Tovar, J. and Bello-Pérez, L. A. (2007).** Chemical composition and in vitro starch digestibility of pigmented corn tortilla. *J. Sci. Food Agric.* 87:2482-2487.
<https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- Kafkafi, U. y Tarchitzky, J. (2012).** Fertirrigación: Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo de agua. Suiza.
- Kashifa, M. I., Khanb, M., Arifb, M., Anwerc, and M. Ijazzc (2011).** Efficiency of Alpha Lattice Design in Rice Field Trials in Pakistan. *J. Sci. Res.* 3(1): 91-95.
- Kato, T. A., Mapes, C. S., Mera, O. L. M., Serratos, H. J. A. y Bye, B. R. A. (2009).** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. 116 p. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n4/v32n4a2.pdf>
- Lecaros, B. J.M. 2011.** El Riego por Goteo. Seminario Internacional de Riego y Fertirrigación. Chiclayo, Perú.
- León, A. E. y Rosell C. M. (2007).** Maíz. En *De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación de Iberoamérica (73-100)*. Córdoba, Argentina: Irastorza.
- Liu, R. H. (2007).** Whole grain phytochemicals and health. *J. Cereal Sci.* 46:207–219.
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee C. H., Parkin, K. L., García, S. H. (2009).** Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:1187-1192.
- López-Martínez, L. X., Parkin K. L. and García, H. S. (2011).** Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods Hum. Nutr.* 66:41- 47.
- Mendoza-Mendoza, C. G., Mendoza-Castillo, M. C., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., Kato-Yamakake, A. y Cruz-Izquierdo, S. (2017).** Antocianinas

totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Rev. Fitotec. Mex.* 40(4):471-479

- Milligan, S., Balzarini, B. and White, W. H. (2003).** Broad sense heritabilities genetic correlations and selection indices for sugarcane borer resistance and their relation to yield loss. *Crop Sci.* 43:1729-1735.
- Miranda, C. S. (2000).** Mejoramiento genético del maíz en la época prehispánica, *Agricultura técnica en México.*
- Mohammandi, S. A., Prasanna, B. M., and Singh, NN. (2003).** Se-quential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. *Crop science* 43:1690-1697.
- Peleman, J. P., Van der Voort, J. R. (2003).** Breeding by design. *Trends in Plant Sci.* 7:330-334.
- Peña, D. A. Z. (2008).** Identificación de germoplasma con atributos para desarrollar híbridos de maíz. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Rabiei, R., Valizadeh, M., Ghareyazie, B., Moghaddam, H. (2004).** Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. *Field Crops Research* 89(2-3):359-367.
- Robinson, H. F., Comstock, R. E. and Harvery, P. H. (1951).** Genetic variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics* 40:45-60. Disponible en línea: <http://www.scielo.br/pdf/cbab/v11n1/v11n1a01.pdf>
- Rovaris, S. R. S., Araújo, P. M., Garbuglio, D. D., Prete, C. E. C., Zago, V. S. and da Silva, L. J. F. (2011).** Estimates of genetic parameter in maize commercial variety IPR 114 at Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum. Agron. Maringá.* 33(4):621-625.
- Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Coutiño-Estrada, B. y Vidal-Martínez, V. A. (2013).** Variabilidad en contenido tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:185-294.
- Salinas, M. Y. (2009).** Uso de maíces con pigmento tipo antociano. En: *Temas Selectos de la Cadena Maíz-Tortilla: Un Enfoque Multidisciplinario.* Universidad Autónoma Metropolitana. pp:177-202.

- Salinas, M. Y., Soto, H. M., Martínez, B. F., González, H. V., Ortega, P. R. (1999).** Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161-174.
- Sánchez-Toledano., Blanca Isabel., Kallas., Zein., Gil., José María. (2017).** Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 49, núm. 2, pp. 269-287.
- Searle, S.R. 1971.** The value of indirect selection: I. Mass selection. *Biometrics* 21(3):682-707.
- Segnini, S. (2008).** Fundamentos de bioestadística. Universidad d los Andes facultad de ciencias. Departamento de biología. P. 298.
- Serna-Saldívar, S. O. and Gutiérrez-Uribe, J. A. (2015).** Anthocyanins and phenolic acids of hybrid and native blue maize (*Zea mays* L.) extracts and their antiproliferative activity in mammary (MCF7), liver (HepG2), colon (Caco2 and HT29) and prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70:193-199.
- Smith, HF. 1936.** A discriminant function for plant selection. *Biometrics. Ann. Eugen.* 7(2):240-250.
- Tosquy Valle, O. H., Palafox Caballero, A., Sierra Macías, M., Zambada Martínez, A., Martínez Morales, R., y Granados Reinaut, G. (2005).** Comportamiento agronómico de híbridos de maíz en dos municipios de Veracruz, México.
- Tucuch, C.C. A., Rodríguez, H. S. A., Reyes, V. M. H., Pat, F. J. M. Tucuch, C. F. M. y Córdova, O. H. S. (2011).** Índices de Selección para Producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 22(1):123-132. Disponible en: línea: <http://www.uneditorial.net/uflip/Mejoramiento-genetico-deplantas/pubData/source/Mejoramiento-genetico-de-plantas.PDF>
- Tonk A. F.; Ilker E. and Tosun, M. (2011).** Evaluation of genotype environment interactions in maize hybrids using GGE biplot analysis. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 11:1-9.
- Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Muy-Rangel, M. B., Valdez-Torres, J. B., Vallejo, F. A. y Estrada, E. I. (2002).** *Mejoramiento Genético de Plantas.* Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Cali, COL. p. 402. Disponible en: línea:

<http://www.uneditorial.net/uflip/Mejoramiento-genetico-deplantas/pubData/source/Mejoramiento-genetico-de-plantas.PDF>

- Zhao, X., Zhang, C., Guigas, C. M., Yue Ma, M., Corrales, B., Tauscher and Hu, X. (2009).** Composition, antimicrobial activity, and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *Eur. Food Res. Technol.* 228: 759–765.
- Zilic, S., Serpen, A. G., Akillioglu, V., Gökmen and Vancetovic, J. (2012).** Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *J. Agric. Food Chem.* 60: 1224–12.