

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Constitución y Mejoramiento de una Población de Maíz de Color Azul Mediante
Selección Recurrente de Líneas S₁

Por:

MARÍA GUADALUPE SANTOS GUTIÉRREZ

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

Constitución y Mejoramiento de una Población de Maíz de Color Azul Mediante
Selección Recurrente de Líneas S₁

Por:

MARÍA GUADALUPE SANTOS GUTIÉRREZ


TESIS

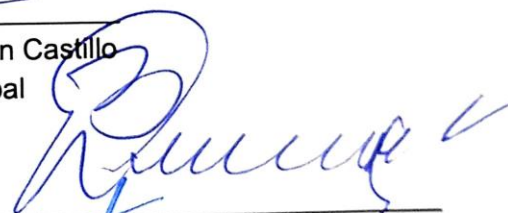
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

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 Alfonso Burciaga Vera
Coasesor


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

Saltillo, Coahuila, México
Junio, 2021



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

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos de 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 el autor original y/o fuente de fuente, así mismo tengo conocimiento de 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 el caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gantos', is written above a horizontal line.

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA TERRA MATER** que paso a ser mi segundo hogar y me permitió forjar mi camino en el área de la Agronomía.

Al **Dr. Humberto De León Castillo**, por haber sido mi maestro, por sus conocimientos y consejos durante más de dos años, pero sobre todo por el apoyo y confianza durante la realización de mi proyecto de tesis.

Al **M.C Eduardo Hernández Alonso**, por estar en la mejor disposición en todo momento, asesorando mis dudas, gracias por su ayuda y tiempo prestado y sobre todo por su amistad sincera.

Al **Ing. Gustavo Alfonso Burciaga Vera**, por su amistad, gracias por estar en la mejor disposición para participar como jurado examinador de este trabajo de tesis.

A todo el personal que labora en el **IMM**, por su amistad y disponibilidad para realizar actividades que tuvieron que ver con este trabajo.

A **Daniela Miranda Juárez**, por su amistad sincera y todo el recorrido juntas a lo largo de nuestra formación como profesionistas, por estar en todo momento cuando la necesité, brindarme su más sincera amistad, cariño, apoyo, comprensión y muchas aventuras a su lado, por todo gracias amix.

A **Vilchis, Xóchitl, Jazmín, Ximena**, por todos los momentos compartidos juntas durante nuestra estancia en la Narrito, por su amistad y cariño muchas gracias.

DEDICATORIAS

A mi hermano menor:

Miguel Ángel Santos† quien fuese el primero en creer en mí, en que podría lograrlo, por darme la motivación para seguir estudiando, y quien hasta la fecha ha sido mi motor para seguir adelante, sé que donde quiera que te encuentres estas feliz de verme lograr un sueño de los muchos que algún día planeamos juntos hermanito, siempre estará presente tu recuerdo en mi mente y en mi corazón.

A mi madre:

Martha Gutiérrez Paz, por ser mi fortaleza y el pilar de la familia desde que faltó papá por hacer de mí una mujer fuerte y enseñarme a no rendirme nunca, por aceptar quedarse sola cuando tuve que partir en busca de mis sueños.

A mi hermano mayor:

José Antonio Santos, por ser como un padre y sacrificar incluso parte de su vida por apoyar mis sueños, por estar siempre en todo momento cuando he necesitado de él, por ser mi ejemplo y enseñarme a no decir: No puedo.

A **José Álvaro Hernández**, por haber llegado a mi vida en el momento justo, por la paciencia, tiempo, cariño y amor que me regala día a día, por ser un amigo incondicional y permanecer a mi lado aun después de todos los problemas, pero sobre todo por ser mi compañero en este viaje que se llama vida, gracias amor.

A mis hermanos **M. De Jesús Santos, Luis Antonio Santos, Juan Gregorio Santos y Norma Santos**, por todas esas veces que me recibieron al momento de llegar a casa, por demostrarme su cariño y amor, los quiero hermanos.

A mi tía **Martha Santos**, por su cariño y apoyo incondicional, por recibirme siempre en su casa y pasar a ser una segunda madre desde que faltó papá †.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del maíz	4
Generalidades del maíz azul	5
Líneas S ₁	6
Índices de selección.....	6
Respuesta a la selección	8
Selección recurrente de autohermanos.....	8
Bloques incompletos con arreglo alfa-látice.....	10
Importancia del riego por cintilla en maíz	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Material genético.....	12
Evaluación de los ensayos de rendimiento.....	12

Descripción de la parcela experimental.....	12
Manejo agronómico	13
Siembra	13
Fertilización.....	13
Control de maleza.....	13
Control de plagas	13
Riego.....	14
Aclareo	14
Cosecha.....	14
Variables agronómicas evaluadas	14
Días a floración masculina (FM).....	14
Días a floración femenina (FF)	14
Altura de planta (AP)	14
Altura de mazorca (AM).....	15
Acame de raíz (AR).....	15
Acame de tallo (AT)	15
Mala cobertura (MCOB).....	15
Plantas con <i>Fusarium</i> spp. (PFUS).....	15
Calificación de planta (CP)	15
Calificación de mazorca (CM).....	16
Peso hectolítrico (PHL)	16
Porcentaje de humedad (HUM)	16
Rendimiento (REND)	16

Análisis estadísticos	17
Análisis de varianza.....	18
Coeficiente de variación.....	19
Gráfico Biplot	20
Índice de selección (IS)	21
Criterios de selección.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Análisis de varianza.....	24
VARIABLES CORRELACIONADAS NATURALMENTE	29
Estimación y análisis del índice de selección.....	30
V. CONCLUSIONES	36
VI. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
4.1	Cuadrados medios y significancias del análisis de varianza para 113 líneas S ₁ de color azul, evaluadas en el terreno denominado “Bajío” del campo experimental de la UAAAN en el ciclo primavera-verano del año 2019.....	26
4.2	Análisis de varianza del índice de selección de las líneas.....	31
4.3	Líneas superiores seleccionadas a partir de los resultados generados del análisis de las LSMEANS y del análisis de un I. S. índice de selección de las LSMEANS.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
4.1	Gráfico Biplot generado a partir de 113 líneas S ₁ experimentales con las 13 variables agronómicas evaluadas.....	30

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en el mejoramiento y constitución de una población de maíz azul, los objetivos de este trabajo fueron i) formar el primer ciclo de selección de la población mediante selección recurrente a partir de familias de autohermanos, ii) eliminar la mayor carga genética dentro de la población y seleccionar las líneas más sobresalientes del total de la población, iii) demostrar la existencia de variabilidad genética entre las líneas evaluadas. El ensayo de rendimiento fue evaluado durante el año 2019 en el campo experimental denominado “el bajo”, para ello se estudiaron 13 variables agronómicas en 120 líneas S_1 bajo un diseño experimental de bloques incompletos al azar con arreglo Alfa-látice. El análisis de varianza demostró la existencia de variabilidad genética dentro de la población, por ello es que se tiene que recurrir a la realización de un índice de selección como herramienta para la identificación de líneas superiores, que permita la selección simultánea de varios caracteres.; obteniendo como resultado las líneas 64, 56, 08, 55 y 83 como las cinco mejores; estas y otras 7 son las que recombinadas conformaron el primer ciclo de selección de la población.

Palabras clave: Selección recurrente, familias de autohermanos, índice de selección, líneas S_1 .

I. INTRODUCCIÓN

México es considerado el centro de origen y diversificación del maíz. Su origen, domesticación y dispersión a partir del teocintle (*Zea mays, ssp. parviglumis*), su ancestro silvestre más directo. Actualmente existen más de 300 variedades derivadas de 64 razas de maíces nativos en el territorio mexicano. Millones de familias campesinas lo han producido ininterrumpidamente durante 350 generaciones, por lo que es considerado patrimonio biocultural de las y los mexicanos (Heinrich, 2019).

Los maíces pigmentados son producidos por agricultores de subsistencia, en suelos marginales y en pequeñas superficies, y la mayor parte de su producción es para autoconsumo (Arellano *et al.*, 2003).

En cuanto al maíz azul en México hay una gran diversidad de variedades que pertenecen a distintas razas; asimismo existe una gran variabilidad en su tamaño, densidad, dureza de grano y en su composición química (Agama *et al.*, 2011).

El maíz azul es una fuente importante de antocianinas con potenciales antioxidantes. Las antocianinas se caracterizan por un esqueleto básico de 15 átomos de carbono de tipo 2-fenil benzopirona. Son sales de flavilio y glucosidos porque están unidos por un enlace glucosidico a una molécula de azúcar (Stintizing y Carle, 2004).

En el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se trabaja en el desarrollo de un proyecto sobre maíces especiales, se programó el mejoramiento de una población de maíz azul a partir de líneas de autohermanos debido a la no existencia de materiales mejorados

para los pequeños productores, los cuales son agricultores de subsistencia que cosechan materiales criollos y no cuentan con un paquete tecnológico para mejorar el manejo agronómico del maíz azul.

Objetivo general

Obtener una población mejorada de maíz azul a partir de líneas de autohermanos.

Objetivos específicos

- Eliminar la mayor carga genética dentro de la población.
- Seleccionar líneas más sobresalientes en cuanto a sanidad, precocidad, porte y rendimiento, todo esto apoyado por un índice de selección básico.

Hipótesis

Existen líneas dentro de la población con genes favorables para color azul del grano, con resistencia a condiciones desfavorables, buen rendimiento y precocidad, las que se seleccionarán para constituir el primer ciclo de mejoramiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

México es considerado uno de los principales centros de origen del maíz. La diversidad que existe en el país sobre esta gramínea es muy amplia (Sánchez *et al.*, 2000). El maíz representa el sector más importante de la producción agrícola en México. La variedad de maíz azul posee gran cantidad de pigmentos antioxidantes y una gran calidad nutricional. Su nivel de fibra es uno de los más elevados comparados con el resto de cereales. Contiene altos niveles de carbohidratos de fácil digestión y es rico en magnesio, antioxidantes y vitaminas (Castañeda, 2011).

México se caracteriza por la producción de una amplia gama de variedades, por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales. Los principales son tortillas, forrajes, aceites, biocombustibles, almidones, glucosa, fructuosa, dextrosa y etanol. El maíz azul se utiliza para la elaboración de atole, tortillas y tesguiño (De la Parra *et al.*, 2008).

El maíz azul tiene un sabor más intenso, más dulce y más especial que las otras variedades sembradas para el consumo humano. Su consistencia granulada produce una tortilla un poco más densa que las elaboradas con harina de maíz blanco o amarillo (Agama *et al.*, 2011; Salinas *et al.*, 2012).

En términos científicos, los usos culinarios y especiales de las razas nativas de maíz quedan determinados por las características fisicoquímicas del grano.

El conjunto de pruebas para la evaluación de calidad incluye la determinación de la composición química, caracteres biofísicos y propiedades microestructurales de los granos, así como la evaluación de las propiedades térmicas del almidón (Narváez *et al.*, 2007).

El consumo de maíz azul está asociado indirectamente con beneficios a la salud, debido a la presencia de compuestos antioxidantes, los cuales retrasan el daño causado por los radicales libres, con actividad anticancerígena, antineurodegenerativa y antiinflamatoria (Kraft, 2008).

Generalidades del maíz azul

El maíz azul pertenece al reino *Plantae*, a la clase angiosperma, a la clase monocotiledónea, al orden de los cereales y a la familia de las gramíneas (Galarza, 2011).

Las características de mayor definición en el grano respecto al uso alimentario son la dureza (índice de flotación), el tamaño y la gravedad específica (peso hectolítrico) así como la capacidad de absorción de agua (Mauricio *et al.*, 2004).

Los pigmentos responsables de la coloración en las tortillas azules son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides llamadas antocianinas, las cuales se ha reportado ejercen efectos benéficos en el cáncer, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos (Muserref *et al.*, 2014; Pascual y Sánchez, 2007; Zhao *et al.*, 2009).

Las antocianinas en el grano de maíz se acumulan predominantemente en el pericarpio, en la aleurona o en ambas estructuras. La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces. Si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano puede canalizarse al proceso de nixtamalización para la elaboración de productos con tonalidades azules, mientras

que si se acumula en el pericarpio y en cantidad suficiente el grano pigmentado podría considerarse para la extracción de pigmentos (Salinas, 2009).

Las antocianinas, además de ser colorantes inocuos para el consumo humano, poseen importantes actividades biológicas entre las que destacan sus capacidades antioxidantes y antimutagénicas (Zhao *et al.*, 2009).

En la planta de maíz las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, como tallo, vaina, hojas e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en brácteas, raquis y grano. En el grano se ha reportado la presencia de antocianinas principalmente en el pericarpio, en la capa de la aleurona, o en ambas estructuras. La presencia de estos compuestos en el embrión o endospermo, sin incluir a la aleurona, es marginal (Salinas *et al.*, 2005; Cui *et al.*, 2012).

Líneas S₁

Las familias de autohermanos (AH) son en realidad líneas S₁ obtenidas por autofecundación de plantas S₀ (plantas que no han sufrido ninguna autofecundación) de la variedad original (Noroña, 2008).

La finalidad de desarrollar líneas S₁ a partir de poblaciones segregantes es explotar el efecto de la herencia transgresiva en caracteres de interés agronómico, lo que permitiría seleccionar líneas que muestren una mayor expresión fenotípica que la de su mejor progenitor (Rebolloza *et al.*, 2016).

Índices de selección

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 (Rovaris *et al.*, 2011). Los índices de selección son una

herramienta de gran utilidad ya que permiten identificar genotipos que involucren varias características simultáneas y cuyo objetivo principal es maximizar el promedio del valor genético de una población (Rodríguez *et al.*, 2016).

La selección de genotipos basada en la evaluación simultánea de dos o más caracteres se ha hecho, principalmente de acuerdo con el índice de selección desarrollado por Smith, no obstante, sus requerimientos incluyen estimaciones de las varianzas y covarianzas de los valores genotípicos de los caracteres involucrados en la selección (Ceron y Sahagun, 2005).

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).

Un índice de selección es la metodología utilizada para hacer selección de manera simultánea por varias características, la cual toma en consideración además de los aspectos genéticos, la importancia económica de las características involucradas. Este índice está conformado por dos ecuaciones: la primera, es aquella en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, es decir, las que comprenden el objetivo de selección y se denomina genotipo agregado; la segunda se constituye por las características sobre aquellas que se hace la selección, las cuales se denominan criterios de selección (Yáñez, 2005).

Un índice de selección es el mejor predictor lineal del valor de mejoramiento por unidad de selección y toma la forma de regresión múltiple del valor de mejoramiento, sobre todas las fuentes de información (Betancur *et al.*, 2012).

El uso de un índice de selección (IS) permite una superioridad marcada en un rasgo para compensar una inferioridad moderada en otro. Es decir, los segregantes inferiores, pero con algunos atributos favorables se incluyen en el ciclo de selección, lo cual no puede ser logrado directamente con otros métodos de selección (Sharma y Duveiller, 2003).

Respuesta a la selección

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).

La respuesta a la selección podría ser más eficiente si se consideraran simultáneamente caracteres con alta heredabilidad, y positivamente correlacionados con el rendimiento de grano. Al respecto, se ha realizado con éxito la investigación para selección simultánea de caracteres en especies animales y vegetales (Bujak *et al.*, 2007).

Selección recurrente de autohermanos

Podemos definir la selección recurrente, como la selección sistemática de individuos con características deseables en una población, seguida de la recombinación de esos individuos seleccionados, para formar una nueva población (Bielsa *et al.*, 2006).

La selección recurrente surgió para evitar los problemas de consanguinidad en plantas alógamas, pues conlleva una limitación para la recombinación génica, dificultando la consecución de nuevas combinaciones superiores. La consanguinidad prolongada, produce casi siempre una disminución de vigor y otros efectos perjudiciales (Bielsa *et al.*, 2006).

El objetivo de la selección recurrente es incrementar gradualmente la frecuencia de alelos favorables de caracteres de herencia cuantitativa y mantener una alta variabilidad genética, para asegurar el mejoramiento progresivo de las poblaciones (San Vicente, 2008).

La varianza aditiva mide la cantidad de variación presente en la población que se debe a efectos aditivos de los genes, en tanto que el coeficiente de variación genético aditivo permite cuantificar la magnitud de la variación genética que puede ser aprovechada por la selección recurrente (Rovaris *et al.*, 2011).

Por otro lado, debe resaltarse que la selección recurrente explota en mayor grado la varianza aditiva, mejora la media poblacional, mantiene la variabilidad genética, e incrementa la probabilidad de desarrollar híbridos y variedades mejoradas superiores (Ríos, 2008).

El mejoramiento de poblaciones mediante selección recurrente puede ser inter o intrapoblacional. La elección intrapoblacional involucra el mejoramiento de una población, y los métodos más comunes para hacerlo son la selección masal y la familiar en cualquiera de sus variantes: medios hermanos paternos o maternos, hermanos completos y de autohermanos (líneas S_1 o S_2). Teóricamente, el método de hermanos completos es más eficiente que el masal y que el de medios hermanos debido a que permite un mejor control parental, por lo que la respuesta a la selección es de mayor magnitud (Ramírez *et al.*, 2000).

La finalidad de desarrollar líneas S_1 a partir de poblaciones segregantes es explotar el efecto de la herencia transgresiva en caracteres de interés agronómico, lo que permitiría seleccionar líneas que muestren una mayor expresión fenotípica que la de su mejor progenitor, lo que conlleva a identificar líneas endogámicas sobresalientes (Falconer y Mackay, 1996).

Bloques incompletos con arreglo alfa-látice

Los diseños látice se propusieron hace aproximadamente 70 años y libros de textos recientes consideran todavía los mismos diseños látice (Martínez *et al.*, 2005).

El diseño de bloques incompletos se usa para disminuir la varianza de error experimental y proporcionar comparaciones más precisas entre tratamientos de lo que es posible con el diseño de bloques completos (González, 2006).

Importancia del riego por cintilla en maíz

Actualmente, el sistema de riego por goteo se emplea en la producción de diversos cultivos por su alta eficiencia en el manejo del agua, ya que las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial y percolación profunda son menores, por lo que el volumen de aplicación es relativamente bajo en comparación con otros sistemas y proporciona la cantidad de agua necesaria para que el cultivo desarrolle sus funciones fisiológicas y productivas (Olague *et al.*, 2006 y Shock, 2013).

La utilización de riego por goteo permite incrementar fuertemente la eficiencia en uso de agua en los cultivos, además el riego es la única forma de reducir el estrés hídrico en las plantas ya que con la escasez de agua en las zonas áridas y semiáridas el riego por goteo es el mejor sobre otros riegos como gravedad y aspersión (Medrano *et al.*, 2007).

Lo que hace eficiente el riego por goteo comparado con otros métodos, es que el agua llega directamente a la zona de la raíz, por lo tanto, hay mayor eficiencia de aplicación, menor pérdida por evaporación y percolación comparándolo con aspersión y gravedad; además de que la fertilización se hace por medio del mismo sistema (Delphine *et al.*, 2005).

El cultivo de maíz es muy sensible al déficit hídrico, especialmente en la etapa de floración, donde la falta de agua afecta seriamente en el llenado de grano. Para evitar estas condiciones de estrés y aspirar a rendimientos élitos en el cultivo, se hace necesario incursionar en sistemas más eficientes en el manejo del agua, tal es el caso de los sistemas de riego por goteo (Bahena y Mario, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El trabajo fue realizado a partir 120 líneas S₁ (familias de autohermanos) de color azul, las cuales fueron derivadas de una población adaptada a la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, tales líneas fueron evaluadas en terrenos propios de la UAAAN en el área denominada “El Bajío”.

Evaluación de los ensayos de rendimiento

Se evaluaron 120 líneas S₁ durante el 2019, bajo un diseño estadístico de Bloques incompletos con arreglo alfa-látice. La siembra se llevó a cabo en la localidad de Buenavista dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro el día nueve de mayo, en el campo experimental “El Bajío”. Dicha localidad presenta un clima seco semi-cálido, cuyas coordenadas geográficas son: 25°21' latitud norte, 101°02' longitud oeste, con una precipitación anual total de 355 a 400 mm y una altitud 1,742 m s. n. m. con una temperatura media anual de 19.8 °C.

Descripción de la parcela experimental

Las líneas se sembraron de acuerdo a las sugerencias de un diseño de bloques incompletos, con arreglo alfa-látice con dos repeticiones y 23 plantas por parcela. La unidad experimental fue de un surco de 3.70 m de largo por 0.80 m de ancho, con 0.16 m de espacio entre plantas.

Manejo agronómico

El manejo se dio de acuerdo a las necesidades del cultivo y lugar; las labores culturales fueron realizadas de forma oportuna durante el ciclo del cultivo, buscando obtener los mejores resultados, haciendo énfasis en los momentos oportunos del cultivo de acuerdo a su etapa de crecimiento.

Siembra

Se realizó manualmente depositando alternativamente 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 estos ensayos de rendimiento fue 200N-100P-100K unidades de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, se distribuyó de la siguiente manera: todo el P, K y la mitad del 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 desarrollo del ciclo vegetativo del cultivo, dándole más importancia en las primeras etapas del desarrollo y crecimiento del cultivo, en el cual se utilizaron los siguientes insecticidas: Proclaim (I.A Benzoato de emamectina) y Topgar (I.A Ciromacina), para el control de gusano cogollero y minador respectivamente.

Riego

Se aplicó mediante el sistema de riego por cintilla, la frecuencia de los riegos fue variable y estuvieron en función de las necesidades hídricas del cultivo.

Aclareo

Esta práctica se realizó cuando el cultivo estaba en la etapa V5, el objetivo fue dejar 23 plantas por parcela útil, eliminando las plantas fuera del surco y las más juntas.

Cosecha

Se realizó manualmente por cada parcela útil establecida, durante esta se calificó la mazorca de forma visual y se determinó peso de campo, porcentaje de humedad y peso hectolítrico.

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 (FF)

Son los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % mas 1 de las plantas de la parcela experimental presentan estigmas visibles de 2 cm de longitud en promedio.

Altura de planta (AP)

Para la obtención de estos datos se utilizaron reglas o estadales de no más de tres metros, este dato fue tomado en centímetros, midiendo desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Altura de mazorca (AM)

Es la medida que existe desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la mazorca principal, este dato fue tomado en centímetros utilizando reglas o estadales de no más de tres metros.

Acame de raíz (AR)

Este dato se tomó en porcentaje y 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 tomó en porcentaje, representa a las plantas quebradas por debajo de la mazorca principal.

Mala cobertura (MCOB)

Se expresa en porcentaje con relación al total de mazorcas que no alcanzaron a cubrir bien su mazorca por las brácteas, quedando descubiertas las puntas de la mazorca.

Plantas con *Fusarium* spp. (PFUS)

Esta enfermedad se presenta antes del llenado de grano. Este dato se obtiene 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 que va de 1 a 9 (tomando el 1 como lo más malo y el 9 como lo mejor).

Peso hectolítrico (PHL)

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 desgranadas en campo, cuyo dato se generó en el aparato de Dickey Jhon.

Porcentaje de humedad (HUM)

Es el porcentaje de humedad contenida en el grano al momento de la cosecha. La medida se obtuvo con el aparato Dickey John (mini GAC plus), a partir de una muestra aleatoria de grano de varias mazorcas de cada parcela.

Rendimiento (REND)

Para estimar el rendimiento en mazorca en toneladas por hectáreas al 15.5 por ciento de 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:

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

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:

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

Donde:

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

APU = (No. de plantas menos uno) x (dist. entre plantas) x (dist. entre surco)

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 mazorca al 15.5 % de humedad (RENDA) se empleó la siguiente formula:

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

Dónde:

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

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

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

Análisis estadísticos

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 siguiendo el procedimiento de transformación angular (arco-seno) para generar una distribución normal.

Para generar los datos transformados: primero al número (proporción) registrado en cada variable se le sumo 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 saco raíz cuadrada, finalmente a este estimado se le cálculo su valor de arco-seno de esta forma se generaron los valores transformados (Segnini, 2008).

Análisis de varianza

El análisis de varianza de un factor sirve para comparar varios materiales en una variable cuantitativa. Esta prueba es de una generación del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal, Joaquín (2016) menciona al ANOVA como una técnica de análisis de varianza o análisis factorial, la cual fue desarrollada por Fisher en 1930.

El ANOVA particiona la varianza total en componentes, sirve para hacer comparaciones robustas entre promedios, hacer predicciones y estimaciones de componentes de varianza por medio de las esperanzas de cuadrados medios.

El análisis de varianza de este trabajo se realizó en 13 variables evaluadas del experimento, para observar el comportamiento de las repeticiones, bloques dentro de repeticiones y entradas (líneas), con la ayuda del paquete estadístico SAS, incluyendo 113 tratamientos por experimento con 20 tratamientos por bloques. Bajo el siguiente modelo:

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

Dónde:

Y_{ijk} = Variables de respuesta.

μ = Efecto de la media general.

R_i = Es el efecto de la i-ésima repetición.

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

T_k = Es el efecto del k-ésimo tratamiento.

E_{ijk} = Es el efecto del error aleatorio no controlado.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de varianza, el procedimiento a seguir fue construir un índice de selección, aplicando el modelo AMMI de componentes principales y su gráfico Biplot, el cual permite observar objetivamente las variables que se agrupan por estar correlacionadas y de cada grupo elegir la variable más indicada que se represente al resto de las variables.

Coefficiente de variación

Medida de la dispersión relativa de un conjunto de datos que indica si la media obtenida es representativa de la muestra; permite determinar la relación que existe entre el tamaño de la muestra y la variabilidad de los caracteres. Para algunos investigadores el coeficiente de variación de Pearson es considerado fundamental como indicador de la calidad del experimento (Ruíz, 2010).

Para calcular el coeficiente de variación (CV), se utilizó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

cv = Coeficiente de variación.

$CMEE$ = Cuadrado medio del error.

\bar{x} = Media general.

Gráfico Biplot

Originalmente el término “biplot” fue descrito por Gabriel (1971), la utilidad del “biplot” es más evidente si se remplaza la necesidad de emplear figuras, es importante trabajar con medidas ajustadas de más de dos dimensiones, remplazar análisis de agrupamiento y cuadros de coeficientes de correlación (Sánchez, 1995).

Para realizar y visualizar si existen agrupamientos entre las 13 variables, estandarizadas, ya que cada carácter fue tomado en diferentes unidades (% , t ha⁻¹, cm, días, vol., etc.) para ello fue necesaria la estandarización de los datos de las variables como requisito primordial para la utilización de los datos de este análisis (Crossa *et al.*, 2000) con una prueba de Z con la finalidad de igualar los valores teniendo una media igual a cero y una desviación estándar igual a uno.

Para obtener dichos resultados se empleó la siguiente formula:

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

Donde:

Z = Valor estandarizado

Y_i = Valor observado

\bar{Y} = Promedio

σ = Desviación estándar de la variable de la ecuación.

Una vez realizada la estandarización de los datos de las 13 variables se corrió el modelo AMMI, con el propósito de observar el grafico Biplot, para la visualización de los agrupamientos naturales de las trece variables estudiadas, de esta forma se analizó el modelo AMMI para la generación de su grafico Biplot cuya rutina fue propuesta por (Vargas y Crossa, 2000).

Después de haber obtenido los datos del gráfico Biplot e identificar los agrupamientos de las variables entre los cuadrantes del plano cartesiano, se seleccionó una variable de cada agrupamiento que tuviera correlación con otras dentro del mismo grupo y que representara al resto.

Para este estudio las variables seleccionadas fueron las siguientes tres: plantas con *Fusarium*. como carácter correlacionado con la sanidad y dentro de las cuales se encuentran las variables acame de raíz, acame de tallo, calificación de planta, peso hectolítrico; en el segundo agrupamiento se seleccionó la variable rendimiento como representante de las demás, las cuales fueron calificación de mazorca, altura de planta y altura de mazorca; donde además del rendimiento el mejorador busca estética en la planta siendo el porte un atributo estético muy importante que resalta a la vista; la variable floración femenina se seleccionó como carácter correlacionado con floración masculina las cuales se encuentran asociadas a la precocidad.

Con ayuda de estas variables se construyó el índice de selección para identificar las líneas más sobresalientes en cuanto a sanidad, porte, precocidad y rendimiento. Los valores de cada variable y línea seleccionada se emplearon para estimar el valor al mérito de cada línea evaluada, empleando un software diseñado para realizar el índice de selección (IS) para cada línea atendiendo la fórmula propuesta por (Barreto *et al.*, 1991).

Índice de selección (IS)

Los valores estimados de IS se utilizaron como variable de respuesta y fueron modelados como un bloque completo al azar a través de las repeticiones, corroborando las diferencias en los valores obtenidos del índice de selección permitiéndonos demostrar la variación existente entre líneas, seleccionando los mejores por medio de los valores de un IS como criterio de discriminación.

Los valores obtenidos del índice de selección se utilizaron como variables de respuesta en un análisis de varianza, también se utilizó la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$), los individuos seleccionados fueron los que tuvieron el índice más bajo, dado que son las distancias más cercanas a la meta deseada y que según son los superiores respecto a los genotipos buscados.

Los índices de selección se construyeron con base a la metodología propuesta por Barreto *et al.*, (1991), la estimación se realizó para cada una de las repeticiones, la fórmula empleada para estimar el índice fue la siguiente:

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

Dónde:

IS = Índice de selección.

$Y_j \dots n$ = Variables en unidades Z.

$M_j \dots n$ = Meta de selección.

$I_j \dots n$ = Intensidad de selección.

La meta de selección asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar con respecto a la media o promedio que se desea lograr en la selección (Hernández, 2017).

La meta 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: la precocidad, altura de planta, etc., por el contrario, los valores positivos son importantes para variables que interese que su expresión sea superior a la media de la población, por ejemplo: el rendimiento, la calidad., etc., aquellos genotipos que interesa se encuentren por arriba 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 formula:

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

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 para 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 (Hernández, 2015). En este experimento se seleccionaron tres variables las cuales fueron: Rendimiento con una intensidad de 10; Plantas con *Fusarium* 9 y Floración femenina 8.

Criterios de selección

De las 120 líneas evaluadas se seleccionarán de acuerdo a su comportamiento en: color de grano, precocidad, sanidad, porte y rendimiento. El 10 % superior, por medio de un índice de selección se identificarán las mejores líneas de interés agronómico. El índice de selección se construyó con las variables de: floración hembra para precocidad, plantas con *Fusarium* para sanidad, y rendimiento para mejorar el potencial productivo de la población.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan e interpretan los cuadros, gráficas y datos de los análisis de varianza generados de la evaluación de 120 líneas S₁ de color azul, en el ciclo de Primavera – Verano durante el 2019, en el siguiente orden; i) comenzando con el desglose del análisis de varianza de las 13 variables agronómicas evaluadas; ii) construcción del índice de selección tomando en cuenta las variables representativas de grupos correlacionados, arrojados por el modelo AMMI atendiendo componentes de rendimiento, precocidad, tonalidad del grano y sanidad; y iii) se culminara con la identificación de las líneas superiores en base al índice de selección fenotípico básico.

Análisis de varianza

En el cuadro 4.1, en la fuente de variación Repeticiones, se observaron diferencias altamente significativas al $P \leq 0.01$ para las variables agronómicas: FM, FH, AP, AR, AT y REND; al mismo tiempo resultaron diferencias significativas al $P \leq 0.05$ para la variable: AM, estas diferencias nos brindan la pauta de decir que estadísticamente las repeticiones no tuvieron el mismo comportamiento para esas variables, esto es importante ya que permite minimizar el efecto del error experimental teniendo una mejor apreciación de las diferencias entre las líneas evaluadas.

Para la fuente de variación: Bloques dentro de Repeticiones, se obtuvieron valores con efectos altamente significativos al $P \leq 0.01$, para las características AP, AM, AR, PFUS y REND, tomando en cuenta esta diferencia se puede afirmar que el diseño alfa-látice fue efectivo al lograr detectar diferencias entre bloques, esto

permitirá una mayor precisión en la elección de los mejores fenotipos ya que se ha eliminado gran parte del efecto ambiental.

Para la fuente de variación Genotipos (se tiene 112 grados de libertad en lugar de 119 porque se eliminaron 7 líneas que no tenían buen desarrollo agronómico), se detectaron diferencias altamente significativas al $P \leq 0.01$ para las variables: FM, FH, AM, MCOB, PFUS, REND y PHL, así como diferencias significativas al $P \leq 0.05$ para AP, AR, y CM, lo que demuestra la existencia de variabilidad entre los genotipos o líneas evaluadas, estas diferencias indican que al menos una línea es diferente al resto y es de suma importancia para una selección más precisa tomando en cuenta siempre el color de grano como un criterio de selección principal.

Para las variables FM y FH el valor del coeficiente de variación es el mismo, con un valor de dos, indicando que se encuentran en un rango aceptable y que existe confiabilidad en los datos, con una media de 81 días para FM y 82 días para FH, un máximo de 89 días en FM y FH, mientras que los mínimos para FM es de 72 días y 73 días para FH considerándolos como floraciones intermedias favoreciendo de alguna manera al productor que cuenta con los recursos para suministrar humedad artificial al cultivo o a productores establecidos en regiones con precipitación pluvial alta satisfaciendo la necesidad hídrica del cultivo durante su ciclo de producción, mientras que los mínimos para FM es de 72 días y 73 para FH considerándose como un material precoz, siendo considerado por los productores que cuentan con sistemas de riego sofisticado la oportunidad de establecer dos ciclos de cultivo en un mismo año.

Las variables AR, AT, MCOB, PFUS, CM y HUM tienen un coeficiente de variación alto, esto se debe a que no tienen una distribución normal tomando el error estándar como un valor que permita estimar la confiabilidad de los datos y realizar un índice de selección con estas variables, estos datos se estiman en porcentajes mismos que luego se transformaron.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancias del análisis de varianza para 113 líneas S₁ de color azul, evaluadas en el terreno denominado “Bajío” del campo experimental de la UAAAN en el ciclo primavera-verano del año 2019.

Fuentes Variación	G.L.	FM (días)	FH (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha⁻¹)	HUM (%)	PHL (Vol.)
Repetición	1	220.18**	208.46**	2106.86**	1013.43*	2075.28**	137.78**	28.26	3.14	0.06	2.37	22.21**	23.26	14.15
Bloc(Rep)	10	4.38	5.25	594.99**	908.5**	262.58**	8.56	126.53	66.89**	0.17	1.99	5.58**	29.62	9.37
Genotipos	112	11.81**	10.88**	316.56*	322.16**	102.45*	10.51	135.19**	44.77**	0.33	2.24*	5.42**	17.96	15.26**
Error	73	3.69	3.65	197.41	184.37	73.93	12.75	80.06	25.51	0.36	1.58	2.08**	23.02	9.22
C.V.		2	2	6.8	10.6	44.8	34.1	32.4	34.4	21	27	19	23	4.3
Media		81	82	205	127	19.1	10.4	27.5	14.6	3	5	7.5	20	70
Máximos		89	89	240	164	55.8	17.8	56.7	33.9	4	9	15	48	80
Mínimos		72	73	165	92	3.4	5.27	10	2.5	2	2	3.4	13	60

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); * = Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); Bloc(Rep) = Bloques dentro de Repeticiones; C.V.= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad para el análisis de varianza; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MCOB= Mala cobertura; PFUS= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de la planta; CM= Calificación de la mazorca; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15% de humedad; HUM= Humedad; PHL= Peso Hectolítrico.

Para las variables de AP y AM el C.V. es de 6 y 10 respectivamente considerándolo como datos confiables, se obtuvo una media de 205 cm en AP y 127 cm en AM con valores máximos de 240 cm en AP y 164 cm en AM, estas medidas son considerables para un cultivo de doble propósito en la obtención de forraje, al utilizar este material en siembras de altas densidades aprovechando la mayor superficie con mejor éxito.

Para la variable CP se obtuvo un C.V. de 21 lo que indica que los datos estimados son confiables existiendo variabilidad entre ellos siendo el error estándar el que indica que existe precisión en la media y que es confiable, la calificación de esta variable fue tomada del 1 al 9 considerando el 1 como el peor y el 9 como el mejor material.

El coeficiente de variación en la variable REND fue de 19 el cual se consideró aceptable, con una media de 7.5 t ha^{-1} y con un mínimo y máximo de 3.4 t ha^{-1} y 15 t ha^{-1} respectivamente, esta variable es un factor clave después de la intensidad de la coloración de grano, ya que además de la obtención de buenos rendimientos se buscan líneas precoces, con buen porte, resistentes a plagas y enfermedades. Existe una relación estrecha entre el consumo de agua del maíz y la producción de grano (Puech y Hernández, 1973). Siendo el largo de la mazorca un parámetro de influencia directa en el rendimiento acompañado del diámetro y el llenado de la mazorca de maíz (Wong y Gutiérrez, 2007).

La variable PHL es muy importante para el mejorador ya que los materiales con alto volumen están relacionados con la variable REND, para esta variable el C.V. se encontró dentro del rango de confiabilidad con un valor de 4.3.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza donde se detectó variabilidad para la mayoría de las características evaluadas, esto dificultara la selección de líneas al hacerlo de una manera discriminante considerando de manera conjunta todas las variables, simultáneamente todas las características, es

por ello que se tiene que utilizar una herramienta llamada índice de selección que permita la selección simultánea sin discriminar líneas que sobresalgan en unas características pero que sean débiles en otras y para ello está comprobado que un índice de selección es la mejor alternativa en estos casos.

Actualmente se requiere en el mejoramiento del maíz una metodología para determinar que caracteres deben incluirse en la selección simultánea a fin de mejorar la producción de grano (Rodríguez *et al.*, 2013).

El índice de selección es un método útil para el programa de mejoramiento genético (Cerón y Sahagun, 2005), al ser una herramienta de gran utilidad en la identificación de líneas sobresalientes y de buen comportamiento agronómico; involucra el análisis de las diferentes características estudiadas sintetizado todo en un solo valor, por lo contrario, sería complicado seleccionar para cada una de las características de los materiales evaluados.

Para la construcción del índice de selección se debe analizar los grupos de correlación natural existente en las variables de las cuales se debe escoger la de mayor importancia agronómica, que tenga ascendencia con las demás variables y sea representativa de las mismas, dichas agrupaciones se obtienen por medio de un gráfico Biplot el cual es generado por el programa estadístico multivariado de Componentes Principales.

Para tener un buen resultado en la selección es ideal que en cada agrupamiento sobresalgan características de precocidad, porte, sanidad y rendimiento además de la coloración de grano, todas estas en una línea.

Para la obtención del gráfico Biplot se utilizaron las medias ajustadas de las 13 variables evaluadas a través de sus dos repeticiones en las 113 líneas, dichas medidas se estandarizaron con los valores Z esto para igualar los valores donde

todos deben de tener una media igual a cero y una desviación estándar igual a uno.

Los valores estandarizados se acomodaron en una sola matriz por un lado los valores para X y por otro los de Y, formando un cuadro de doble entrada, con estos valores se alimenta la base de datos del programa estadístico multivariado de Componentes Principales, de estos se debe seleccionar mínimo tres variables de cada grupo, donde exista correlación, menos de tres agrupamientos no es adecuado para un índice de selección.

Variables correlacionadas naturalmente

Para detectar este tipo de agrupamiento se corrió un análisis AMMI y en función a sus resultados se muestra un gráfico cuya Figura 4.1 corresponde al Biplot de las 13 variables medidas en las 113 líneas S₁, de las cuales se pueden detectar las variables agronómicas agrupadas en los cuatro cuadrantes del plano cartesiano, las cuales a su vez se encuentran agrupadas formando tres grupos.

El análisis a través de un gráfico de dispersión permite identificar la importancia de cada variable en la explicación de la variación del conjunto de datos (Vallejo *et al.*, 2005). Dentro del primer agrupamiento se encuentra las variables acame de raíz, acame de tallo, calificación de planta, plantas con *Fusarium*, peso hectolitro, dichas variables están asociadas con la sanidad, de las cuales se seleccionó la variable plantas con *Fusarium* como representante de este grupo.

En el segundo agrupamiento se observan las variables que se asocian con el porte y rendimiento, la cuales fueron calificación de mazorca, altura de planta y altura de mazorca, ya que además del rendimiento el mejorador busca estética en la planta siendo este un gran atributo que resalta a la vista, y se seleccionó la variable de rendimiento como representante de las demás dentro del agrupamiento.

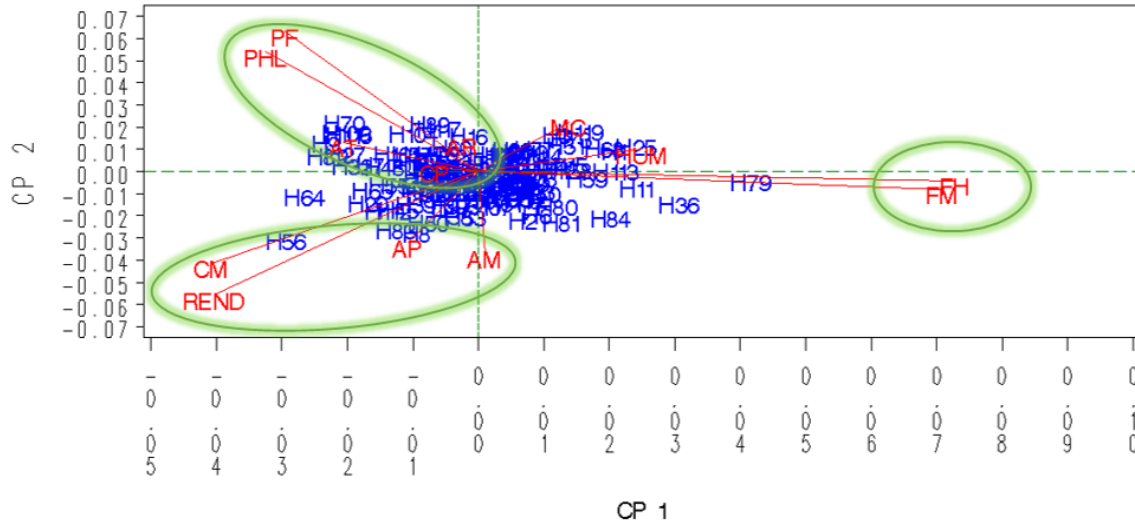


Figura 4.1. Gráfico Biplot generado a partir de 113 líneas S₁ experimentales con las 13 variables agronómicas evaluadas; FM= Floración masculina; FH= Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC= Mala cobertura; PF= Plantas con *fusarium*; CP= Calificación de la planta; CM= Calificación de la mazorca; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15 % de humedad; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

El tercer agrupamiento se encuentran las variables de floración femenina y floración masculina las cuales se encuentran asociadas a la precocidad, donde se seleccionó floración femenina y dicha variable representa a la otra dentro del agrupamiento.

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

Estimación y análisis del índice de selección

Para analizar el índice de selección se optó por utilizar la metodología propuesta por Barreto *et al.*, (1991). Con las tres variables seleccionadas de cada agrupamiento, se construyó el índice de selección y con ello se calculó el valor al mérito de cada línea evaluada de los valores obtenidos en cada repetición;

empleando estos valores como variable de respuesta y con ellos se realizó el análisis de varianza para detectar las diferencias en los valores obtenidos del índice y poder demostrar la existencia de variación que existe entre las líneas y seleccionar las mejores por medio de los valores del IS, los índices de selección ayudan a seleccionar los mejores individuos para el próximo ciclo de selección en base a valores fenotípicos observados (Cerón *et al.*, 2006).

En el Cuadro 4.2 se tiene que las fuentes de variación repeticiones y líneas que presentaron diferencias altamente significativas, indicando que las repeticiones tuvieron efectos diferentes en el comportamiento de los índices de selección de las líneas.

En las fuentes de variación: 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 al mérito será de manera exitosa.

Cuadro 4.2. Análisis de varianza del índice de selección de las líneas.

Fuentes de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Repeticiones	1	278.6	278.6**
Líneas	119	1467.87	12.33**
Error	113	595.08	5.26
Total	233	2330.85	
C.V.	16.84		
Media	13.61		

** = 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.

Para obtener el grupo de líneas superiores se recurrió a la prueba de rango múltiple propuesta por Tukey, cuyo resultado permitió la identificación de las líneas estadísticamente superiores que se encontraban dentro de dicho rango, se identificaron 12 líneas sobresalientes de acuerdo al criterio no solo de las variables seleccionadas como representante en cada grupo, sino que además de dichos valores se tenían que cumplir como requisito la tonalidad azul, siendo esta el criterio de selección principal seguido por el rendimiento, precocidad sanidad y porte ante los ojos del mejorador.

En el Cuadro 4.3 se presentan las 12 líneas seleccionadas, estas se deben de leer de arriba hacia abajo, de acuerdo a esto los índices más bajos son las líneas más sobresalientes.

Como resultado de la selección se identificó la línea 64 siendo esta la línea que mostro el menor valor al mérito con un índice de selección de 5.2 posicionándola en primer lugar, dicha línea sobresale en cuanto a valores de precocidad, acame de raíz, acame de tallo, con buena calificación de planta y mazorca, siendo la segunda línea más rendidora, además de tener una altura de planta y mazorca que sobresale en el porte y estética.

En segundo lugar, se encuentra la línea 56 con un valor en el I.S. de 5.9, esta línea muestra un buen comportamiento agronómico en precocidad y porte de la planta, pero no tan favorable en la cobertura, esta es una desventaja al presentarse enfermedades a causa de la humedad, teniendo como atributo de compensación ser la línea con el valor más alto en la calificación de mazorca y rendimiento con un valor de 15.25 t ha⁻¹.

El tercer lugar está dado por la línea 8 teniendo 9.1 como valor de índice de selección, la cual muestra buena sanidad en cuanto a la presencia de *Fusarium* y un valor intermedio en la calificación de mazorca, presentando al mismo tiempo un buen rendimiento de 11.92 t ha⁻¹.

Cuadro 4.3. Líneas superiores seleccionadas a partir de los resultados de un LSMEANS y de un I.S. de las LSMEANS.

LÍNEAS	I.S	FM (días)	FH (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	HUM (%)	PHL (vol.)	REND (t ha ⁻¹)
64	5.2	78	78	206	126	0	0	7	12	3	7	18	73	12.38
56	5.9	77	78	220	130	4	4	19	6	2	9	23	67	15.25
8	9.1	78	79	223	136	17	1	29	0	2	5	22	65	11.92
55	9.8	79	79	208	128	18	0	3	6	3	4	20	72	9.08
83	9.8	80	82	216	141	18	0	4	4	3	7	22	68	11.74
112	10.1	78	79	211	121	0	0	33	3	3	8	23	68	8.83
39	10.1	81	80	222	143	16	3	19	0	3	4	19	72	10.3
48	10.2	80	81	206	117	18	4	12	12	3	6	21	73	8.67
20	10.3	79	79	210	141	9	3	34	0	2	7	18	73	9.32
45	10.5	79	80	210	128	7	3	4	1	3	6	20	70	9.34
91	11.5	81	82	181	115	25	0	19	2	4	6	21	71	10.16
50	11.9	78	81	217	138	16	0	21	2	3	7	20	67	8.83

IS= Índice de selección; FM= Floración macho; FH= Floración hembra; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MCOB= Mala cobertura; PFUS= Plantas con *Fusarium*; CP= Calificación de la planta; CM= Calificación de la mazorca; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15% de humedad; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad.

La línea 55 tomo el cuarto lugar con un índice de selección de 9.8, esta línea es precoz, de buen porte, no presenta acame de tallo, con una calificación de mazorca aceptable y un rendimiento de 9.08 t ha⁻¹.

La sexta línea seleccionada es la 112 con un índice de selección de 10.1, siendo un material precoz, de buen porte, la cual no presento acame de raíz y tallo lo cual es fundamental en la estética de la planta ante los ojos del mejorador, teniendo una buena calificación de mazorca y un rendimiento promedio igual al de la línea 50.

La línea número 39 con valor de índice de selección de 10.1 es la séptima seleccionada, nos indica que está libre de *Fusarium*, presenta buen porte y calificación de planta, no presenta valores altos en cuanto acame de tallo, pero si en cuanto acame de raíz, en rendimiento se encuentra entre las cinco más rendidoras con 10.30 t ha⁻¹.

La octava línea seleccionada es la 48 con un valor de 10.2 como I.S. en esta línea se puede detectar una buena calificación de mazorca, lo cual demuestra la presencia del color azul, pero presenta una mala cobertura y susceptibilidad ante *Fusarium*.

La novena línea es la 20 con el valor del índice de 10.3, siendo esta una línea precoz y libre de *Fusarium* con una alta calificación de mazorca y calificación de planta, tiene buenos rendimientos en comparación con las demás, pero presenta mala cobertura.

Como décimo lugar se encuentra la línea 45 con un valor de 10.5 en el I.S, la cual presenta valores bajos en cuanto a mala cobertura, presencia de fusarium, acame de raíz, y valores altos y muy aceptables en calificación de mazorca y planta.

El lugar once en la lista es la línea número 91 con índice de selección de 11.5, siendo el material menos precoz con 81 días para la floración masculina y 82 días para la floración femenina, de buen porte, con baja presencia de *Fusarium*, sin acame de tallo, pero si con acame de raíz.

Por último, se encuentra la línea 50 con un índice de selección de 10.7, siendo esta una línea precoz, de buen porte, con baja presencia de *Fusarium*, no presenta acame de tallo, pero si acame de raíz tiene buena calificación de mazorca, presentando un rendimiento igual a la línea 112 de 8.83 t ha⁻¹, siendo este el rendimiento más bajo de las 12 líneas seleccionadas, Modarresi *et al.*, (2004) mencionan que el rendimiento es un carácter cuantitativo y existe la relación positiva de altura de planta con el potencial de rendimiento de grano (De la Cruz *et al.*, 2010).

V. CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias estadísticas entre las líneas evaluadas y variables estudiadas de acuerdo al análisis de varianza realizado como medio de evaluación, lo cual demuestra la existencia de variabilidad entre los genotipos o líneas evaluadas siendo el color de grano el principal criterio de selección.

El índice de selección resulto eficiente al ser una herramienta estadística de gran ayuda en la selección de las líneas superiores.

Se identificaron las líneas superiores las cuales son: las más rendidoras, sanas, con buen porte y calificación de mazorca, además de la presencia del color en el grano.

VI. LITERATURA CITADA

- Agama, A. E., Salinas, M. Y., Pacheco, V. G. y Bello, P. L. A. (2011).** Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 2(3):317-329. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n3/v2n3a2.pdf>
- Arellano, V. J. L., Tut, C. C., María, R. A., Salinas, M. Y. Taboada, G. O. R. (2003).** Maíz azul de los Valles Altos de México. I: Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):101-107. Disponible en <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-2/5a.pdf>
- Bahena D. G. y Mario, A. T. C. (2007).** La Tecnología de Microirrigación, una Alternativa para el Manejo Sustentable del Agua en la Producción de Maíz en el Estado de Morelos, México. *Agricultura.* Núm. 809.
- Barreto, H. J., Bolaños, J. A., Córdova, H. S. (1991).** Programa Índices de Selección. Guía para la operación del Software. CIMMYT. México, D. F. 27 p.
- Betancur, J. G., Yoda, M., Tomari, Y. (2012).** miRNA-like duplexes as RNAi triggers with improved specificity. *Frontiers in Genetics.* 3:127.
- Bielsa, A. A. C. (2006).** Evaluación agronómica de ciclos de selección recurrente intrapoblacional en poblaciones sintéticas de maíz. *Eupla Zaragoza.* Pp. 28-29.
- Borel, J. C., Patto, R. M. A., Rezende, F. de C. V., 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.

- Bujak, H., Kaczmarek, J., Jedynski, S., Dmochowska-Huba, K., Adamczyk, J., Kurczyk, Z. (2007).** Index Selection in Maize Breeding. *Plant Genetic and Breeding* 24: 58-65.
- Castañeda, A. S. (2011).** Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul. *Temas selectos de Ingeniería en alimentos. Cholula-Puebla.* 75-83.
- Cerón, R. J. J., Crossa, J., Sahagún, C. J., Castillo, G. F., Santacruz, V. A. (2006).** A Selection index method based on Eigennalysis. *Crop Sci.* 46:1711-1721.
- Cerón, R. J. J., Sahagun, J. (2005).** Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia.* 39(6): 667-677.
- Crossa, J., Cornelius, L. P., Vargas, M. (2000).** Modelos estadísticos multiplicativos para el análisis de interacción genotipo x ambiente. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo. p. 30. Disponible en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3487/68592.pdf>
- Cui, L., Rongqi, G., Shuting, D., Zhang, J., Peng, L., Zhang, H., Meng, J., Shi, D. (2012).** Effects of ear shading on the anthocyanin contents and quality of kernels in various genotypes of maize. *Aust. J. Crop Sci.* 4:704-710.
- De la Cruz, E., Castañón, N. G., Brito, M. N. P., Gómez, V. A., Robledo, T. V., Lozano, del Río A. J. 2010.** Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton, Int. J. Exp. Bot.* 79(1):11-17. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v79n1/v79n1a03.pdf>
- De la Parra, C., Serna, S., Hai, L. (2008).** Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas and tortilla chips, *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 55: 4177 - 4183.
- Delphine, L., Vidal, A., Smith, M., Dausat, J. (2005).** More crop per drop: how to make it acceptable for farmers? *Agricultural Water Management.* 76(2): 108 -119pp.

- Dzib-Aguilar, L. A., Segura, J. C., Ortega, R., Latournerie, L. (2011).** Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14:119-127.
- Falconer, D. S., Mackay, T. F. C. (1996).** Introduction to quantitative genetics. 4th Ed. Longman Group Ltd, London, England. 312-321 pp.
- Galarza, J. M. (2011).** Situación actual perspectivas del maíz en México. SIAP. Disponible en: <http://www.stap.gob.mx>.
- González, H. I. J. (2006).** Diseños experimentales de bloques incompletos y aplicaciones en la industria. Monografía para obtener el título de Ingeniero Industrial. Pachuca de santo Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Heinrich, B. S. (2019).** México: Un país de maíz. Ciudad de México. Disponible en: <https://mx.boell.org/es/2019/04/17/mexico-un-pais-de-maiz>.
- Hernández, A. E. (2015).** Selección de híbridos en maíz pre-comercial con base a comportamiento agronómico y estabilidad para el sureste de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en:
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6608/63296%20HERNANDEZ%20ALONSO,%20EDUARDO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Hernández, A. E. (2017).** Formación de una población de maíz enano adaptada al bajío mexicano, a partir de líneas con favorables efectos de aptitud combinatoria y buen desempeño agronómico. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en:
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42920/Hern%C3%A1ndez%20Alonso%2C%20Eduardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Joaquín, A. R. (2015).** ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. Disponible en:
https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova

- Kraft, T. (2008).** Phytochemical composition and metabolic performance enhancing activity of dietary berries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 26:654-660.
- Martínez, L. C., Mendoza, O. L. E., García, de los S. G., Mendoza, C. M. del C., Martínez, G. A. (2005).** Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):127-133.
- Mauricio, S. R. A., Figueroa, C. J. D. Taba, S., Reyes, V. M. de L., Rincón, S. F., Mendoza, G. A. (2004).** Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(3):213-222. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027301>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas, C. M., Gulías, J. (2007).** Eficiencia en uso de agua en las plantas. *Investigaciones geográficas*. Num. (43).63-84 pp.
- Modarresi, M.; Assad, M. T., Kheradnam. M. (2004).** Determining selection indices in corn hybrids (*Zea mays* L.) to increase grain yield. *J. Sci. & Tech. of Agric. and Natural Resources*. 7(4):71-82. Disponible en línea: http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2-486&slc_lang=en&sid=1
- Muserref, H. S., A. Ahmad, F., M. Zahid, Q., G. B and A. Aliye. (2014).** Anthocyanins: Targeting of Signaling Networks in cancer cells. *Asia Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15: 2379-2381.
- Narváez, G. E. D., Figueroa, C. J. de D., Taba, S. (2007).** Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30 (3):321-325. Disponible en: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-3/14a.pdf>
- Noroña, J. (2008).** Caracterización y evaluación agromorfológica de 64 accesiones de maíz negro y 27 accesiones de maíz chupil (*Zea mays* L.). Colectado en la serranía del Ecuador. Quito. EC. INIAP. P. 12-20.
- Olague, R. J., Montemayor T. J. A., Bravo S. S. R., Fortis H. M., Aldaco N. R. A., Ruiz C. E. (2006).** Características agronómicas y calidad del maíz

forrajero con riego sub-superficial. Torreón, Coahuila, México: ITA 10, Técnica Pecuaria en México. Vol. 44 No. 3, pp. 351-357.

- Pascual, S.T., M.T Sánchez B. (2007).** Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry*, 7: 281-299.
- Puech, J., Hernández, M. (1973).** Evapotranspiration comparée de différentes cultures et étude de quelques facteurs influencant les rythmes de consommation. *Annales. Agronomiques*, 24(4): 435-437.
- Ramírez, J. L. D., Ron J. P., Sánchez, J. J. G., Chuela, M. B. (2000).** Selección recurrente en la población de maíz subtropical pabgt-ce. Campo Experimental de Jalisco. INIFAP. Disponible en: www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2000/ene-feb-4.pdf
- Rebolloza, H. H., Castillo, G. A., Carapi, R. V. E., Andrade, R. M., Villegas, T. O. G., Nuñez, V. M. E., Suarez, R. R., Perdomo, R. F. (2016).** Estimación de parámetros genéticos y selección de líneas S1 en una población segregante de maíz tropical. *Rev. Mex. Cienc.* 7(8).
- Ríos, H.L., Almekinders C., Verde G., Ortiz R., Pireirre, R. L. (2008).** El sector informal preserva la variabilidad y el rendimiento del maíz en Cuba. Disponible en: www.prgaprogram.org.org/cds/fmp/NADINE-PDF/RIOS.pdf
- Rodríguez, P. G., Zavala, G. F., Gutiérrez, D. A., Treviño, R. J. E., Ojeda, Z. C. M. y Mendoza, E. M. (2016).** Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. *Phyton* 85(2):194-202. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572016000200004
- Rovaris, S. R. S., Araújo, P. M., Garbuglio, D. D., Prete, C. E. C., Zago, V. S., 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.
- Ruíz, R. J. (2010).** Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 28:149-154.

- 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., Pérez, A. J. J., Vázquez, C. G., Aragón, C. F., Velázquez, C. G.A. (2012).** Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia* 47:815-825.
- Salinas, M Y., Salas, S. G., Rubio, H. D., Ramos, L. N. (2005).** Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *J. Chromat. Sci.* 43:483-487.
- San Vicente, F. (2008).** Selección recurrente para mejoramiento de poblaciones de Maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. V Jornadas Científicas del maíz. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congreso/jornadas%20de%maiz/5%20jornadas/9.htm>
- Sánchez, G. J. J. (1995).** El análisis biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 18:188-203.
- Sánchez, J. J., Goodman, M. M., Stuber, C. W. (2000).** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- Segnini, S. (2008).** Fundamentos de bioestadística. Universidad d los Andes facultad de ciencias. Departamento de biología. P. 298.
- Sharma, R. C., Duveiller, E. (2003).** Selection index for improvig helminthosporium leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. *Crop. Sci.* 43:2031-2036 pp.
- Stintizing, F., Carle, R. (2004).** Functional properties of anthocyanins in plants, food and human nutrition. *Trends food Science Technology.* 15:19-38.
- Vallejo, F. A., Espitia, M. M. C., Lagos, T.C. B., Coral, E. O. C., Salazar, F. A. V., Restrepo, E. F. S. (2005).** Análisis estadístico para los diseños genéticos en Fitomejoramiento. Palmira. Universidad Nacional de Colombia se Palmira: 209-244.

- Vargas, M., Crossa, J. (2000).** The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit. CIMMYT, México. p. 39. Disponible en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/585/73247.pdf?sequence=1>
- Wong, R., Gutiérrez, Del R. J. (2007).** Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex. 30: 181-189, 2007.
- Wu, J., J. N., Jenkins, J. C., Mc Carty., Wu, D. (2006).** Variance component estimation using the additive, dominance, and additive x additive model when genotypes vary across environments. Crop Sci. 46:174-179.
- Yáñez, C. L. F. (2005).** Índices de selección: sugerencias para su utilización. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Págs. 107-110.
- Zhao, X., Zhang, C., Guigas, Y. M., Corrales, M., Tauscher, B., Hu, X. (2009).** Composition, antimicrobial activity, and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. European Food Research and Technology, 228: 759-765.