

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Selección de Híbridos Experimentales de Maíz Mediante Índices de Selección
como Herramienta de Apoyo

Por:

STEVEN ALEJANDRO VELASCO CERVANTES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Selección de Híbridos Experimentales de Maíz Mediante Índices de Selección
Como Herramienta de Apoyo

Por:

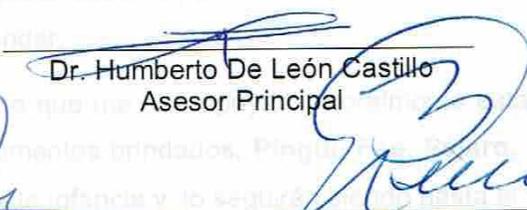
STEVEN ALEJANDRO VELASCO CERVANTES

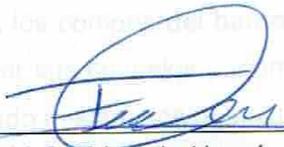
TESIS

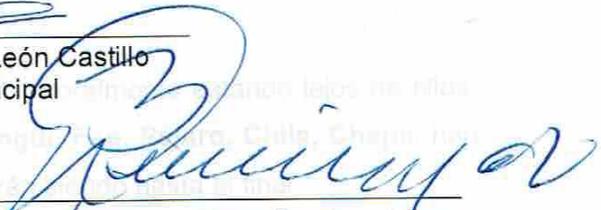
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

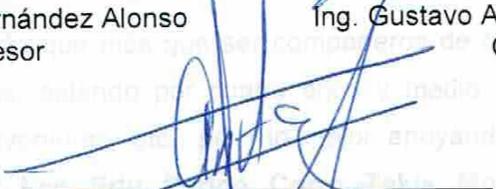
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

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.

Diciembre, 2019.



AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA TERRA MATER** por haberme acogido como un estudiante más, heredándome sus conocimientos para ser un hombre de bien en mi vida profesional.

Al Dr. **Humberto De León Castillo** por haberme confiado este gran proyecto que me será de gran utilidad en un futuro cercano, quien me brindo su paciencia y parte de su personalidad, que más que ser un asesor es como un amigo.

M.C. **Eduardo Hernández Alonso** me brindo más que un apoyo en este trabajo de investigación, una amistad y confianza, no me queda más que agradecerle por todo, esperando que después de este tiempo, siga estando firme la amistad para en un futuro.

Al Ing. **Gustavo Alfonso Burciaga Vera** que ha sido como un amigo para mí, que aconsejándome sobre la vida ha sabido enseñarme infinidad de cosas, ofreciéndome su confianza y parte de su sabiduría.

A la familia **Valverde Reyes** quienes me abrieron las puertas de su acogedor hogar siendo un completo extraño para ellos, gracias por su confianza y apoyo que me han sabido brindar.

A los compas del barrio que me han apoyado moralmente estando lejos de ellos, por sus consejos y momentos brindados, **Pingüi, Feo, Pájaro, Chile, Chepa**; han sido mis amigos desde la infancia y lo seguirán siendo hasta el final.

Al **Equipo Codiciado** que más que ser compañeros de clases y casa, han sido como mis hermanos, estando por cuatro años y medio, en cada momento de diversión, fiestas, aventuras, etc., pero lo mejor apoyándome en los momentos más difíciles **Osbel, Leo, Edu, Perico, Corro, Takis, Mocho, Silver y Marlene** les debo mucho.

DEDICATORIA

El resultado de este trabajo de investigación va dirigido primero que nada a Dios por haberme brindado sabiduría, entendimiento, paciencia y haberme iluminado el camino en los momentos más oscuros y poder así cumplir una meta más en la vida.

En especial a mis padres **Francisco Velasco Gonzales** y **Alejandrina Cervantes Martínez** quienes me dieron la oportunidad, que ellos no tuvieron, de superarme profesionalmente y más que facilitarme el apoyo económico durante mis estudios, me dieron su cariño, confianza y apoyo sin pedirme algo a cambio. Me han ayudado a cumplir un logro más en la vida, mi carrera profesional y al mismo tiempo forjarme como una persona de provecho para la sociedad, sé que no los defraudare como hijo y que con mis futuros logros saldremos siempre adelante.

A mi hermana **Fernanda Velasco Cervantes** por todo el cariño y confianza que depositaste en mi desde el momento que partí y me aleje de ti por buscar un sueño superación profesional, recuerda que te quiero mucho y que hay que sorprender al mundo.

A ti amor **Montserrat Valverde Reyes**, quien con su amor, paciencia y gracia ha sabido sacar lo mejor de mí, brindándome fortalezas ante mis debilidades, siendo de gran apoyo en mi vida, que incondicionalmente estas a mi lado a pesar de todo y que siempre has estado esperando este logro tan importante de mi vida como yo. Espero y dios nos tenga preparado un excelente futuro juntos.

Abuelos, tíos, primos sé que más de uno de ustedes me habrán deseado lo mejor en mi vida de estudiante y me ha apoyado de alguna u otra manera, así que este logro que realizo va para ustedes también, porque sé que al igual que mis padres, también les da orgullo la culminación de vida estudiantil.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Índice de Selección	4
Importancia de los Híbridos.....	5
Importancia del Maíz.....	6
Híbridos simples.....	7
Tipos de híbridos más recomendados	8
Ensayos de rendimiento	9
Bloques incompletos con arreglo alfa látice.....	9
Importancia del riego por cintilla en maíz.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
Evaluación de los ensayos de rendimiento.....	12
Descripción de la parcela experimental	12
Manejo agronómico	12
Siembra	13
Fertilización	13
Control de maleza	13
Control de plagas	13
Riego	13
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).....	14
Acame de raíz (AR).....	15
Acame de tallo (AT)	15
Mala cobertura (MCOB).....	15
Plantas con <i>fusarium spp.</i> (PFUS)	15
Calificación de planta (CP)	15
Calificación de mazorca (CM)	15
Peso hectolitrico (PHL)	16
Por ciento de humedad (HUM)	16
Rendimiento (REND)	16
Análisis estadísticos.....	17
Análisis de varianza	17
Coefficiente de variación	19
Gráfico Biplot	20
Índice de selección (IS).....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Análisis de varianza individual por años	24
Análisis de varianza combinado.....	29
Agrupamiento de las variables.....	35
Estimación del Índice de Selección	37
Índice de Selección	38
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. LITERATURA CITADA.....	44
APÉNDICE	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
4.1	Cuadrados medios del análisis de varianza individual del año 2017 con 13 variables para 141 híbridos experimentales y 3 híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajío de la UAAAN.....	26
4.2	Cuadrados medios del análisis de varianza individual del año 2018 con 13 variables agronómicas para 141 híbridos experimentales y 3 híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajío de la UAAAN.....	28
4.3	Valores medios de las variables evaluadas del combinado a través de años.....	29
4.4	Valores medios del combinado de las 13 variables evaluadas a través de experimentos y años.....	30
4.5	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado del año 2017 y 2018 con 13 variables agronómicas para 141 híbridos experimentales y tres híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajío de la UAAAN.....	32
4.6	Análisis de varianza del índice de selección combinado por años y repeticiones.....	38
4.7	Híbridos seleccionados mediante el valor de índice de selección más dos veces el error.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
4.1	Grafico Biplot construido con las 13 variables de los 141 híbridos experimentales y tres híbridos comerciales.....	36

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación consiste en identificar un grupo de híbridos superiores, para ello se evaluaron 141 híbridos experimentales provenientes del programa de mejoramiento genético del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) “Dr. Mario E. Castro Gil” situado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se evaluaron 13 variables agronómicas para con estas lograr los siguientes objetivos: 1) Demostrar que existe variabilidad entre los híbridos evaluados de acuerdo a los modelos de evaluación establecidos. 2) Emplear un índice de selección y sobre los resultados identificar a los mejores híbridos. 3) Hacer selección de híbridos que iguallen o superen a los testigos comerciales. Los ensayos de rendimiento se evaluaron en el año 2017 y 2018 establecidos en la localidad Buenavista dentro de las instalaciones de la UAAAN, campo experimental bajío, los 141 híbridos se agruparon en tres experimentos de 50 entradas cada uno bajo un diseño de bloques incompletos al azar con un arreglo alfa-látice en ambas evaluaciones utilizando como testigos los híbridos provenientes de MOSANTO (Antílope), PIONEER (3052) y el tercero de la UAAAN (AN 447). De acuerdo a lo anterior se realizó un análisis de varianza individual para ambos años y un análisis combinado, esto con la finalidad de comparar los híbridos evaluados y saber si existen diferencias o similitudes estadísticas, posteriormente con el uso del programa estadístico multivariado de Componentes Principales y su gráfico Biplot resultaron 4 ejes cartesianos donde se identificaron tres agrupamientos naturales, eligiendo la variable más representativa y que tenga correlación en cada grupo con la finalidad de tomarlas en cuenta para generar el índice de selección. En base a los resultados del ANVA con los valores al mérito del índice de selección se logró la identificación de los híbridos superiores los cuales son: Híbrido 13, Híbrido 20, Híbrido 38 y el Híbrido 43.

Palabras Clave: Programa Estadístico; ANVA; Gráfico Biplot; Diseño Experimental; Híbrido Experimental.

I. INTRODUCCIÓN

La semilla de maíz híbrida proporciona a los agricultores variedades que poseen características genéticas mejoradas, como el alto potencial de rendimiento y combinaciones de caracteres únicas para combatir las enfermedades y condiciones de cultivo adversas.

Técnicamente, un híbrido exitoso es la primera generación - F_1 - de un cruzamiento entre dos genotipos claramente diferentes. Normalmente se producen numerosos tipos de híbrido en todos los programas de mejoramiento para combinar diferentes caracteres de los distintos genotipos. En el caso del mejoramiento del maíz, el término híbrido implica un requerimiento específico y diferente, o sea que el híbrido F_1 es usado para la producción comercial. El híbrido debe mostrar un razonable alto grado de heterosis para que el cultivo y su producción sean económicamente viables.

Es importante mencionar que la meta principal de cualquier programa de híbridos, es producir híbridos de cruza simple involucrando líneas homocigotas como progenitores, con el objeto de explotar al máximo la heterosis y obtener híbridos más uniformes y atractivos.

En algunos experimentos se ha demostrado que las cruza simple son más estables, además de exhibir rendimiento de grano superior con respecto a algunos híbridos comerciales, tuvieron ciclos fenológicos más cortos y altura de planta similar a la que tienen los arqueotipos comerciales actuales, los resultados mostraron que las cruza simple evaluadas pueden representar una opción para la producción de grano (Sánchez *et al.*, 2016).

El objetivo de centrar sus actividades en la investigación y el desarrollo de tecnología en la mejora genética de variedades, complementándolos con asistencia técnica, enseñanza y capacitación a productores, estudiantes, técnicos e investigadores es generar nuevas variedades y materiales híbridos de maíz con mayor calidad de producción y de bajo costo para los pequeños agricultores,

el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) realiza la evaluación y caracterización de nuevos materiales con la finalidad de comprobar su efectividad y potencial y darlos a conocer a los agricultores maiceros de las regiones de adaptación de estas nuevas variedades.

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento agronómico de 141 híbridos simples experimentales pertenecientes del IMM. Dr. Mario E. Castro Gil; ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y tres testigos comerciales a los cuales se les evaluaron 13 variables agronómicas con el objetivo de saber si existe variación entre las variables evaluadas de los híbridos experimentales y obtener al menos un híbrido, que supere o iguale a los testigos con el propósito de identificar los materiales más atractivos y convenientes para para los productores con las características que ellos desean.

Objetivos

1. Demostrar que existe variabilidad entre los híbridos evaluados de acuerdo a los modelos de evaluación establecidos.
2. Emplear un índice de selección y sobre los resultados identificar a los mejores híbridos.
3. Hacer selección de híbridos que igualen o superen a los testigos comerciales.

Hipótesis

1. De los híbridos experimentales evaluados se debe obtener al menos uno que sea igual o superior a los testigos comerciales de acuerdo a sus características agronómicas.
2. Con el uso de modelos multivariados y un índice de selección apoyando la selección, será posible la identificación de híbridos experimentales con potencial comercial.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Índice de Selección

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 (Bujak *et al.*, 2007).

La evaluación del material genético en campo con el uso de diseños experimentales para el análisis de la interacción genotipo x ambiente y la estabilidad del rendimiento son necesarios para la identificación de cultivares superiores, en México ambos enfoques han sido ampliamente estudiados en las últimas cuatro décadas (Rodríguez *et al.*, 2005; González *et al.*, 2010).

Generar un índice de selección para incrementar la tasa de crecimiento y al mismo tiempo controlar las características de reproducción, puede dar una buena respuesta a la selección, en comparación con la selección indirecta para características de crecimiento (Grossi *et al.*, 2009).

Para Gutiérrez *et al.*, (2010) existen varios métodos para el mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres y los tres de mayor importancia son: selección en tándem, selección simultánea de caracteres independientes e índice de selección (IS). El uso de IS permite separar genotipos con base en la evaluación simultánea de varios caracteres (Cerón y Sahagún, 2005).

Rúales *et al.*, (2007) señalan el índice de selección como una función lineal del valor genético de dos o más características, cada una con un peso acorde con un valor económico preasignado. Por ello la utilización de índices relacionados con atributos deseables en los materiales genéticos constituye una alternativa para la identificación de variedades sobresalientes con mayor potencial agronómico (Ruiz y Carrillo, 2005).

Un índice de selección es una metodología utilizada para hacer selección la cual toma en consideración 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, la segunda se constituye las características sobre aquellas que se hace la selección es decir los criterios de selección (Yáñez, 2005).

Importancia de los Híbridos

Los híbridos trilineales permiten aprovechar las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz y en la producción de semilla, al usar como progenitor hembra una crusa simple de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2005; Espinosa *et al.*, 1998).

La adopción de semilla mejorada e híbridos es un proceso de cambio, por lo que conviene que los asesores técnicos e investigadores agrícolas se familiaricen con los factores agroecológicos y sociales que intervienen en el proceso, para apoyar y orientar con eficiencia a los productores (Gonzales *et al.*, 2008)

Copeland y McDonald (2001), mencionan que las semillas de variedades mejoradas e híbridos son el medio para incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas, al servir como puente entre el mejoramiento genético (investigación) y el productor.

Dado que el maíz presente amplia diversidad genética, en un programa de mejoramiento genético es necesario conocer los componentes de variación genética para optimizar las estrategias de aprovechamiento en la producción de grano (Sánchez *et al.*, 2016).

En términos de rendimiento, las variedades mejoradas han demostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales. Esto se debe a ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas, que su mayoría se siembran en los terrenos edafoclimáticamente más limitativo (Turrent *et al.*, 2012) de echo se han reportado razas

que puedes sobrevivir en donde las variedades mejoradas no tiene oportunidad (Vázquez *et al.*,2012 y Bellon *et al.*, 2011).

Virgen *et al.*, (2015) mencionan que la semilla de calidad es el insumo básico para aumentar la productividad de maíz, esto se debe producir con procedimientos y controles estrictos, para ello utilizaron la tecnología de semilla híbrida en el experimento.

Ledezma *et al.*, (2015) mencionan que un programa de mejoramiento genético de maíz basado en patrones heteróticos es fundamental debido a que da orden a la formación de híbridos.

Cervantes *et al.*, (2016) es importante indicar que para obtener un buen híbrido debe seguir un proceso de selección recurrente para incrementar la frecuencia genética aditiva en la calidad y rendimiento de la semilla y vigor en plántulas.

Importancia del Maíz

El maíz es un cereal secundario de mayor importancia en el mundo, sin embargo en México es la base de la alimentación, teniendo una importancia económica y política (FAO, 2010).

Además, es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural; con un consumo promedio per cápita al año de 196.4 kg de maíz blanco especialmente en tortillas; representa 20.9 por ciento del gasto total en alimentos, la producción de granos de maíz en México se divide en blanco y amarillo. El maíz blanco representa el 89.94 % de la producción y se destina principalmente al consumo nacional, el resto del maíz amarillo se destina a la industria o la fabricación de alimentos balanceados para producción pecuaria. (SIAP, 2016).

En México el maíz es uno de los cultivos básicos en la alimentación, debido a su importancia constantemente se realizan estudios sobre el mejoramiento genético para la formación de nuevos híbridos y variedades para uso comercial; teniendo como objetivo principal incrementar la producción por unidad de superficie, resistencia a factores bióticos y abióticos adversos al cultivo (López, 2011).

El maíz es el producto agrícola que más se produce en el mundo, debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial, esto lo ha convertido en uno de los productos más importantes en los mercados internacionales. (FIRA 2016).

Híbridos simples

Rincón *et al.*, (2003) los híbridos simples son derivados de la cruce de dos líneas que mejor conviene y que el resultado sea determinado de componentes de la calidad fisiológica en términos de viabilidad y vigor, los cuales ayudan a predecir un buen híbrido de maíz.

Ortas (2008), señala que es la primera generación (híbrido simple fundacional) resultante del cruce de dos líneas puras.

Molina *et al.*, (2010) en los Estados Unidos de América se usan híbridos de cruce simple en la producción comercial de maíz porque se dispone de líneas autofecundadas con alto potencial de rendimiento. Un propósito importante del mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) por hibridación es generar cruces que superen en rendimiento de grano a las variables locales, criollas y mejoradas.

Escorcía *et al.*, (2010), señalan que una cruce simple es de alto rendimiento cuando las dos líneas progenitoras son de alta ACG, o bien, al menos una línea es de alta ACG, pero presenta efectos positivos de ACE.

Virgen *et al.*, (2016) mencionan que las cruces simple presentan mayor interacción con el ambiente al ser poblaciones de condición más homogénea en

comparación con los híbridos trilineales y dobles, donde las cruzas simples progenitoras hembras tiene atributos genéticos deseables para la producción de semilla.

Tipos de híbridos más recomendados

En los Valles Altos la crusa simple CML-246 x CML-242 (cuyo germoplasma base conjunta materiales de Valles Altos templados y subtropical-tropicales) combinada con las líneas M-39 y M-17 x M-18 de la raza Cónico, son progenitores de los híbridos 'H-40' y 'H-50', respectivamente (Eagles y Lothrop, 1994; Espinosa *et al.*, 2003; Velázquez *et al.*, 2005).

Estudios preliminares (Sierra *et al.*, 2007) permitieron identificar los genotipos HQ1, HQ2, HQ3 y HQ4, híbridos de maíz con características agronómicas deseables, principalmente rendimiento y tolerancia a la enfermedad del "achaparramiento", y propiedades adecuadas para la industria de masa - tortilla.

En el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, se han desarrollado híbridos comerciales de grano blanco mediante la combinación de germoplasma adaptado a áreas ecológicas específicas. Por ejemplo, las cruzas de maíces tropicales x subtropicales dieron origen a los híbridos 'HV-313' (González *et al.*, 2003), 'H-358', 'H-516' y 'H-562' recomendados para zonas tropicales y subtropicales (Ramírez *et al.*, 1995a; Gómez *et al.*, 2001, 2008).

La variedad mejorada de polinización libre 'V-55 A' de grano amarillo representa una alternativa para cubrir la necesidad de variedades mejoradas en México, que además ofrece mayor seguridad de producción por su ciclo vegetativo precoz. Por su precocidad puede sembrarse desde finales de mayo hasta fechas retrasadas como finales de junio. Además de ser una opción para siembra en condiciones de temporal limitado, representa una oportunidad para abastecer la

demanda pecuaria de maíz amarillo (Espinosa *et al.*, 2008, 2010; Tadeo *et al.*, 2010).

Una alternativa para incrementar la producción y atender la demanda de grano de maíz amarillo es el uso de variedades mejoradas de grano amarillo de ciclo corto, que aprovechen las condiciones agroclimáticas disponibles; para ello, se desarrollaron en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC, UNAM), algunas variedades de maíz de grano amarillo, de ciclo precoz, como Oro Ultra 3C, Oro Ultra 2C, Oro Plus 2D (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2012).

Ensayos de rendimiento

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 localidades y durante varios ciclos, para identificar a aquellos con potencial sobresaliente antes de ser recomendados para cultivarse en alguna localidad o región (Tonk *et al.*, 2011).

Bloques incompletos con arreglo alfa látice

Martínez *et al.*, (2006) los diseños látice se propusieron hace aproximadamente 70 años y libros de textos recientes consideran todavía los mismos diseños látice.

M. Kashif *et al.*, (2011) 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 ayudan a las comparaciones varietales en condiciones más homogéneas.

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.

Importancia del riego por cintilla en maíz

Ante la necesidad de implementar un manejo más eficiente del agua y de los fertilizantes en el cultivo de maíz, actualmente se está proponiendo el uso del sistema de riego por goteo debido a su mayor eficiencia en el uso del agua (Bahena *et al.*, 2009).

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).

El riego por goteo combinado con la fertirrigación es una excelente alternativa que permite incrementar los rendimientos en maíz, además es técnica y económicamente factible para este cultivo, que sin duda ha sorprendido con potenciales de rendimiento cada vez más altos (Romo, 2015).

Según la FAO (2011) en la actualidad los sistemas de riego que más se utilizan son: riego por aspersión, riego por micro aspersión, riego por goteo; siendo este último un sistema de riego localizado por lo cual se da un mayor ahorro de agua (Gonzales, 2012).

“El riego moderno puede aumentar la productividad del cultivo de maíz, obteniéndose como resultado un mayor rendimiento y una menor utilización de agua

y fertilizantes con sistemas de riego por goteo se alcanzan mayores rendimientos (10-20%) principalmente debido a la uniformidad y a la fertilización eficiente” (*NaanDanjain Irrigation 2011*).

LAMM (2001), define la eficiencia en el uso del agua como el rendimiento de granos de maíz, entre el total de agua utilizada.

Según la FAOAGL, (2002) el maíz, dependiendo del clima requiere entre 500 y 800 milímetros de agua y el riego por goteo ofrece esa eficiencia en el uso del agua que la planta requiere.

Reyes *et al.*, (2011) mencionan que el sistema de riego superficial es aplicado con una baja eficiencia que va de 45 a 60 % y que además trae como consecuencia bajo rendimientos en materia seca a diferencia del riego por goteo subsuperficial que tiene una mayor eficiencia del agua (95%).

La utilización de riego por goteo es cada vez más adecuado, ya que ayuda a reducir el estrés de la planta, y la eficiencia de aplicación puede ser alta al disminuir la pérdida de agua (*Bralts et al.*, 1987).

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).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado con 141 híbridos simples experimentales de germoplasma de altura normal provenientes del programa de mejoramiento genético del Instituto Mexicano del Maíz, los cuales fueron agrupados en tres experimentos de 47 entradas y tres testigos comerciales cuyas descripciones se presentan en el Apéndice 1 (perteneciente al experimento 5), apéndice 2 (perteneciente al experimento 6) y apéndice 3 (perteneciente al experimento 7).

Evaluación de los ensayos de rendimiento

Se evaluaron 141 híbridos experimentales en el año (2017 y 2018), los cuales se agruparon en tres experimentos, bajo un diseño de bloques incompletos al azar con un arreglo alfa-látice en ambas evaluaciones utilizando como testigos los híbridos provenientes de la empresa MOSANTO (Antílope), PIONEER (3052) y el tercero de la UAAAN (AN 447). La siembra de los experimentos se llevó a cabo en la localidad Buenavista dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, campo experimental bajo. De clima seco semi-cálido, la ubicación geográfica es: 25°21', latitud norte, 101°02', longitud oeste, con una precipitación anual total de 355 a 400 mm y una altitud 1,742 msnm con una temperatura media anual de 19.8°C.

Descripción de la parcela experimental

La unidad experimental es de un surco de 3.70 m de largo por 0.80 m de ancho, con 0.16 m de espacio entre plantas.

Los híbridos se sembraron de acuerdo a las sugerencias de un diseño de bloques incompletos, con dos repeticiones, bajo un arreglo de alfa- látice, divididos en 5 sub bloques (diez parcelas por bloque).

Manejo agronómico

Las labores culturales durante el ciclo del cultivo fueron realizadas de forma oportuna y de acuerdo a las necesidades en cada ambiente de estudio, buscando

obtener los mejores resultados, haciendo énfasis en los momentos oportunos del cultivo.

Siembra

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

Fertilización

La fórmula aplicada en estos ensayos de rendimientos fue 200-100-100 kg ha⁻¹ 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

En todos los ambientes de evaluación se utilizó un herbicida con el nombre comercial Atraplex (cuyo ingrediente activo es Atrazina) a razón de 2 kg ha¹.

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 crecimiento del cultivo, del cual se utilizaron los siguientes insecticidas: Proclaim (Benzoato de emamectina) y Topgar (Cromacina), para el control de gusano cogollero y minador respectivamente.

Riego

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

Aclareo

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

Cosecha

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

Variables agronómicas evaluadas**Días a floración masculina (FM)**

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

Días a floración femenina (FF)

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

Altura de planta (AP)

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

Altura de mazorca (AM)

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

Acame de raíz (AR)

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

Acame de tallo (AT)

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

Mala cobertura (MCOB)

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

Plantas con *fusarium* sp. (PFUS)

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

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 siendo el 1 el más malo y 9 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 desgranadas en campo de la parcela útil, cuyo dato se tomó en el aparato Dickie Jhon.

Por ciento de humedad (HUM)

Este dato se obtuvo a través de la toma de un número de mazorcas en cada parcela, se desgranaron hasta juntar aproximadamente 250 gramos, para tomarle la humedad en el aparato Dickie Jhon.

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:

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

Dónde:

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

PC= peso seco de campo en kg.

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

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

FC= Rendimiento en toneladas 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.

$$APU = (No. de plantas menos uno) \times (dist. entre plantas) \times (dist entre surco)$$

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

Análisis de varianza

El análisis de varianza de este trabajo se realizó con las trece variables evaluadas del experimento, para observar el comportamiento de las repeticiones, bloques dentro repeticiones e híbridos en diferentes años, con la ayuda del paquete estadístico SAS incluyendo 50 tratamientos por experimento con diez tratamientos por bloques. Bajo los siguientes modelos:

Análisis de varianza individual de 141 híbridos experimentales y tres testigos comerciales, por año de evaluación bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + H_{j(i)} + R_{k(e)} + B_{l(ij)} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variables de respuestas.

μ = Efecto de la media general.

E_i = Efecto del i-ésimo experimento.

$H_{j(i)}$ = Efecto del j-ésimo híbrido dentro del i-ésimo experimento.

$R_{k(e)}$ = Efecto del k-ésimo repetición, dentro del e-ésimo experimento.

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

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental.

Para diferenciar el efecto de los híbridos que estos generan sobre las variables de respuesta de interés se realizó un análisis de varianza combinado de 141 híbridos experimentales y tres testigos comerciales agrupados en tres experimentos a través de años de evaluación bajo el modelo de bloques incompletos con arreglo alfa - latice con dos repeticiones. Para ello se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + E_j + AE_{ij} + R_{l(i,j)} + T_{k(j)} + A_{ik(j)} + B_{m(i,l,j)} + \epsilon_{ijklm}$$

Dónde:

Y_{ijklm} Es el valor observado del i-ésimo año, j-ésimo experimento, k-ésimo tratamiento, l-ésima repetición, m-ésimo bloque.

μ = Efecto de la media general.

A_i = Es el efecto del i-ésimo año.

E_j = Es el efecto del j-ésimo experimento.

$AE_{(ij)}$ = Es el efecto del i-ésimo ambiente por el j-ésimo experimento.

$RI_{(ij)}$ = Es el efecto de la l-ésima repetición dentro del i-ésimo año en el j-ésimo experimento.

$Tk_{(j)}$ = Es el efecto del k-ésimo tratamiento dentro del j-ésimo experimento.

$Aik_{(j)}$ = Es el efecto del i-ésimo ambiente por el k-ésimo tratamiento, dentro del j-ésimo experimento.

$Bm_{(i,l,j)}$ = Es el efecto del m-ésimo bloque dentro del i-ésimo año, la l-ésima repetición, el j-ésimo experimento.

ϵ_{ijklm} = Es el efecto del error aleatorio no controlado.

Coeficiente de variación

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

Con base a los resultados obtenidos del análisis de varianza combinado, el procedimiento a seguir fue construir un índice de selección, aplicando el modelo 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 Biplot

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, días, vol; las variables se estandarizaron 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 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, los tres experimentos se someten a una sola matriz realizando un cuadro de doble entrada que por un lado "X" se posicionan los híbridos experimentales y por el lado "Y" los valores estandarizados, con estos valores se realizó el análisis multivariado de componentes principales con el programa estadístico SAS 9.0, con el propósito de observar el gráfico Biplot, para la visualización de los agrupamientos naturales de las trece variables.

Índice de selección (IS)

Después de haber obtenido el gráfico Biplot e identificar los agrupamientos entre los cuadrantes cartesianos por variables correlacionadas, 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: Floración femenina, como carácter correlacionado con floración masculina rendimiento, para el siguiente agrupamiento se seleccionó la variable Rendimiento ya que está correlacionada con humedad, acame de tallo y raíz, peso hectolítrico, plantas con *fusarium* y mala cobertura y por último se seleccionó la variable calificación de planta que tiene correlación calificación de mazorca, altura de planta y mazorca.

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

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

Los índices de selección se construyeron para cada una de las repeticiones, donde se empleó la siguiente ecuación:

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

Dónde:

IS = Índice de selección.

Y_j ... n = Variables en unidades Z

M_j ... n = Meta de selección.

I_j ... 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.

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 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 interesa que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor a cero, la meta deseada se calcula con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

x = Valor de la variable

\bar{x} = Media

σ = Valor estándar

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 se seleccionó tres variables las cuales fueron: Rendimiento con una intensidad de 10; Floración Femenina 9 y Calificación de Planta 8.

Ecuación para el Análisis de varianza individual para el índice de selección (IS)

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_{j(i)} + T_k + AT_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Valor observado de los tratamientos del i-ésimo año, j-ésima repetición, del k-ésimo híbrido.

μ =Efecto de la media general.

A_i =Efecto del i-ésimo año.

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

T_k = Efecto del k-ésimo híbrido.

AT_{ik} = Efecto del i-ésimo año en interacción del k-ésimo híbrido.

ϵ_{ijk} = Efecto del error aleatorio no controlado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza individual por años

En este capítulo se presentaran e interpretaran los cuadros, gráfica y datos de los análisis generados de la evaluación de los 150 híbridos, de los cuales 141 son experimentales y los 3 restantes son testigos de diferentes empresas semilleras, evaluados en el ciclo Primera – Verano (PV) del año 2017 y 2018 con el siguiente orden; i) comenzando con el desglose de los análisis de varianza individuales y combinados de las 13 variables agronómicas utilizadas; ii) construcción del índice de selección tomando en cuenta las variables representativas de grupos correlacionados; iii) se culminara con la identificación de los híbridos experimentales superiores en base al índice de selección fenotípico básico.

En el cuadro 4.1, en la fuente de variación Experimentos, se observaron diferencias altamente significativas para las características agronómicas: FM, FF, AP, AM, AR, CM, PHL y HUM; al mismo tiempo resultaron diferencias significativas para una variable: PFUS, estas diferencias indican que los experimentos estadísticamente no tuvieron el mismo comportamiento para esas variables, esto es importante ya que permite minimizar el efecto de error experimental teniendo una mejor apreciación de las diferencias entre los diferentes experimentos.

Para la fuente de variación Híbridos dentro de Experimentos, se detectaron efectos altamente significativos para las características, FM, FF, AP, AM, AR, MCOB, CM, REND, PHL y HUM; también se encontró una diferencia significativa para la variable CP, esto indica que los híbridos experimentales al menos unos e diferente al resto, tomando en cuenta estas diferencia se puede hacer selección en cuanto a precocidad para regiones de precipitación pluvial baja, en cuanto a la altura de planta para emplear el cultivo como doble propósito, sanidad de la planta en cuanto a problemas que tengan los productores.

Algo importante en cuanto a la calidad de la mazorca es la mala cobertura que tiene por parte del totomoxtle ya que al no cerrar por completo puede entrar humedad directo al grano y crearse hongo o germinación directa obteniendo como resultado pérdida de grano. El rendimiento es fundamental para todo programa de mejoramiento ya que este va enfocado a incrementar el potencial de un cultivo y claramente se puede observar que en esta fuente de variación resultaron híbridos igual o superior a los ya comerciales.

Para la fuente de variación Repetición dentro de Experimentos, resultaron diferencias altamente significativas para las características: FM, FF, AM, AR y CM, así como diferencias significativas para REND, existe variabilidad en las repeticiones, es de suma importancia recalcar esto ya que permitirá hacer una selección más precisa.

En la fuente de variación Bloques dentro de Experimentos y de Repeticiones, se tiene diferencia altamente significativa únicamente para la variable CP y diferencias significativas para las variables AP y AM, estas diferencias indican la variación existente en el terreno de evaluación permitiendo determinar la eficiencia del bloqueo en los ambientes señalados lo cual permite una selección más precisa de los materiales experimentales en cuanto al porte que estos expresaron.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza individual del año 2017 con 13 variables para 141 híbridos experimentales y 3 híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajo de la UAAAN.

FV	GL	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (vol.)	HUM (%)
EXP	2	2178**	1967**	3445**	5120**	229**	5	74	567*	0	6**	12.716	130**	15**
HIB(EXP)	147	27**	30**	765**	515**	60**	6	276**	152	2*	4**	27.552**	95**	13**
REP(EXP)	3	41**	37**	718	1583**	78**	0	211	247	0	4**	16.295*	33	2
BLOC(EXP,REP)	24	6	7	450*	299*	15	5	97	114	3**	0	4.778	24	4
ERROR	123	4	5	274	173	14	7	127	139	1	0.7	4.866	22	3
TOTAL	299													
CV%		2	2	7	11	215	344	121	198	30	19	18.854	6	10
MEDIA		82	84	213	110	1	0.79	9	6	4	4	11.7	72	17
MAXIMA		86	89	241	132	21	4	38	4	33	7	22	77	20
MINIMA		76	77	179	85	0	0	1	1	3	3	1.447	51	12

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); * = Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); F.V.= Fuente de variación; EXP= Experimentos; HIB(EXP)= Híbridos dentro de Experimentos; REP(EXP)= Repeticiones dentro de Experimentos; BLOC(EXP,REP)= Bloques dentro de Experimentos y 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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad.

Se pudo identificar que existe un comportamiento diferente en los híbridos experimentales para las variables estudiadas en el año 2017, sin embargo, al tener un gran número de variables dificulta la selección, esto se analizara más afondo con otra metodología más adecuada.

El segundo Cuadro 4.2 del año 2018, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza individual, donde los Experimentos muestran las diferencias altamente significativas para las variables FM, FF, AR, MCOB, PFUS, CP, CM, REND y PHL; mientras que la variable AP se muestra con significancia, intuyendo que los experimentos son estadísticamente diferentes es decir, un experimento fue superior a los demás.

En la fuente de variación Híbridos dentro de Experimentos, se presentó diferencia altamente significativa para la variable FM, FF, AM, MCOB, PFUS, CP, CM, REND, PHL y HUM mientras que AP mostró significancia, esto indica existe variación para estas variables en los híbridos evaluados teniendo oportunidad de selección dentro de los experimentos.

Para Repetición dentro de Experimentos tenemos diferencias altamente significativas para AP, AM, PFUS y CM, mientras que CP obtuvo diferencia significativa, esto indica que las repeticiones fueron diferentes para estas variables permitiendo detectar diferencias y por ende su efecto no se acumuló en el error, es decir que las repeticiones fueron efectivas.

En cuanto a la fuente de variación de Bloques dentro de Experimentos y de Repeticiones, se tienen diferencias altamente significativas para AM y CP; y diferencias significativas para AP y CM, representando la variabilidad en el bloque, lo que es de gran importancia ya que esta variación permitirá hacer la selección con más precisión.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza individual del año 2018 con 13 variables agronómicas para 141 híbridos experimentales y 3 híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajo de la UAAAN.

FV	GL	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (vol.)	HUM (%)
EXP	2	1048**	975**	1469*	659	140**	1	284**	89**	9**	6**	101.008**	69**	4
HIB(EXP)	147	20**	24**	689*	601**	12	4	152**	20**	3**	3**	41.119**	20**	3**
REP(EXP)	3	3	4	3897**	4469**	0.54	2	61	67**	1*	2**	2.142	28	4
BLOC(EXP,REP)	24	2	3	814*	616**	10	5	49	11	1**	0.83*	10.043	9	1
ERROR	123	2	2	470	277	9	4	44	13	0.43	0.48	6.264	11	1
TOTAL	299													
CV%		1	2	9	12	302	296	99	140	12	16	16.968	4	7
MEDIA		79	80	241	135	1	0.7	6	2	5	4	14.75	72	18
MAXIMA		84	84	269	168	7	3	27	8	8	7	31.877	75	21
MINIMA		73	74	211	108	0	0	0	0	3	3	1.742	66	16

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); * = Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); F.V.= Fuente de variación; EXP= Experimentos; HIB(EXP)= Híbridos dentro de Experimentos; REP(EXP)= Repeticiones dentro de Experimentos; BLOC(EXP,REP)= Bloques dentro de Experimentos y 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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad.

Análisis de varianza combinado

En el Cuadro 4.5 la fuente de variación Años, las variables FM, FF, AP, AM, MCOB, PFUS, CP, REND y HUM, mostraron diferencias altamente significativas, mientras que las variables AR y CM obtuvieron diferencias significativas, con estos resultados se puede inferir que el comportamiento de los años fueron diferentes, tomando en cuenta que el ambiente (clima, precipitación pluvial, temperaturas), diferente manejo agronómico y cuidado que se dio en cada año.

De manera breve y más explícita, presento del cuadro 4.3 donde viene incluido los valores de las medias del año 2017 y 2018, con el propósito de complementar este capítulo con lo siguiente.

Cuadro 4.3. Valores medios de las variables evaluadas del combinado a través de años.

AÑOS	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (vol.)	HUM (%)
1	82A	84A	213B	110B	1A	0.7A	9A	5A	4B	4A	11.7B	72A	17B
2	79B	80B	241A	135A	1B	0.7A	6B	2B	5A	4B	14.7A	72A	18A

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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad; Valores con la misma letra son iguales estadísticamente iguales.

De acuerdo a las medias tenemos que para FF resultaron diferencias en ambos años siendo el segundo año más precoz estas diferencias pueden ser al diferente tipo de clima que se presentó siendo uno de los factores para la diferenciación de esta variable.

Mientras que para las variables CP y REND el segundo año muestra ser mejor que el primero, se infiere a que se tuvo un mejor control en la parte de plagas y enfermedades que dañan al cultivo, por ende se tienen plantas de mejor presentación y más sanas dando una mejor expresión del rendimiento, está puede manifestar su rendimiento con el máximo potencial.

Para la fuente de Experimentos se obtuvieron diferencias altamente significativas para las variables FM, FF, AP, AM, AR, PFUS, REND y HUM; y significativas para la variable CP, deduciendo que los experimentos se mostraron diferentes debido a los diferentes lugares donde se establecieron en los diferentes años.

En el cuadro 4.4 se presentan los valores de las medias de los tres experimentos evaluados en los años 2017 y 2018 los cuales nos indican lo siguiente.

Cuadro 4.4. Valores medios del combinado de las 13 variables evaluadas a través de experimentos y años.

EXP	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	FUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (vol.)	HUM (%)
1	76C	78C	225B	120B	2.93A	0.64A	8A	5A	4B	4A	13.63A	72A	17B
2	80B	82B	232A	128A	0.72B	0.65A	7A	4A	4AB	4A	13.09A	72A	18A
3	84A	85A	226B	120B	0.53B	0.93A	7A	2B	4A	4A	12.98A	72A	17AB

EXP= Experimentos; 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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad; Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tenemos que para FF hubo diferencia entre los tres experimentos, sobresaliendo el experimento uno en cuanto a precocidad en ambos años, deduciendo que este carácter se mantuvo fijo a pesar de los diferentes climas, tipos de suelo y manejos agronómicos.

En cuanto a la variable CP solo se mostró la diferencia entre el experimento uno con el experimento dos y tres, siendo este el último el que obtuvo un mejor desempeño en cuanto a estética de la planta y sanidad, mientras que para REND se puede observar que no mostró diferencias estadísticas siendo superior el experimento uno, si bien este atributo se puede asociar con la variable FF que al igual fue superior en el mismo experimento.

En la fuente de variación correspondiente a la Interacción Experimentos por Años tenemos que solo se observó diferencias significativas para las variables FM, FF, AP, AM, CP, CM, REND y PHL; esto permite deducir que los experimentos se

portaron de una forma inconsistente en los distintos años significando que el comportamiento diferencial se debió a la falta de estabilidad de los experimentos a través de años a los que se someten.

Para Híbridos dentro de Experimentos se detectó que las variables obtuvieron diferencias altamente significativas las cuales fueron FM, FF, AP, AM, AR, MCOB, CP, CM, REND, PHL y HUM, indicativo de que al menos uno de los híbridos evaluados fue diferente a los demás pudiendo hacer selección dependiendo a la necesidad que el productor le emplee.

En la fuente de variación Repetición dentro Experimentos y Años encontramos que solo las variables FM, FF, AP, AM, AR y CM, mostraron diferencias altamente significativas indicándonos que el diseño estadístico fue el adecuado ya que los efectos de las repeticiones no refleja el error mostrándonos diferencia entre las repeticiones de los experimentos evaluados a través de diferentes años y que por lo menos un híbrido de la repetición es mejor que otro.

Para la interacción Años por Híbridos dentro de Experimentos observamos diferencias altamente significativas para las variables AR, MCOB, CP, PHL y HUM, mientras que las variables FF y REND presentaron diferencias significativas lo cual indican que los híbridos cambiaron de orden a través de los años dificultándonos la selección. El estudio de la interacción genotipo-ambiente (GE) en el mejoramiento genético vegetal es muy importante, pues esta es el resultado de la respuesta de cada genotipo frente a las variaciones ambientales (Crossa *et al.*, 2006). En las demás variables no hubo niveles de significancia mostrándonos que presentan comportamientos estables a través de años.

El modelo AMMI ajusta los efectos principales aditivos, de genotipos y ambientes mediante el ANOVA y posteriormente, describe la parte no aditiva (interacción genotipo x ambiente = IGA), mediante el ACP (Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990).

Cuadro 4.5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado del año 2017 y 2018 con 13 variables agronómicas para 141 híbridos experimentales y tres híbridos comerciales evaluados en los terrenos del bajo de la UAAAN.

FV	GL	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MCOB (%)	PFUS (%)	CP (1-9)	CM (1-9)	REND (t ha ⁻¹)	PHL (Vol.)	HUM (%)
AÑOS	1	1314**	2113**	116259**	94125**	77*	1	947**	1683**	105**	2*	1489.978**	54	146**
EXP	2	3082**	2808**	3140**	3878**	356**	5	112	552**	4*	0	47.950**	22	18**
EXP*AÑOS	2	144**	133**	1774**	1901**	14	1	245	103	5**	13**	59.507**	178**	1
HIB(EXP)	147	40**	48**	1109**	919**	50**	6	267**	89	4**	6**	57.333**	67**	11**
REP(EXP, AÑOS)	6	22**	20**	2308**	3026**	39**	1	136	157	0	3**	9.219	30	3
AÑOS*HIB(EXP)	147	4	5*	332	190	20**	5	154**	74	1**	0	7.570*	45**	4**
BLOC(EXP,AÑOS,REP)	48	4	5*	632**	457**	12	5	73	63	2**	0	7.41	17	3
ERROR	246	3	3	372	225	12	5	85	76	1	0.6	5.577	17	2
TOTAL	599													
CV%		2	2	8	12	248	324	116	204	21	18	17.836	5	9
MEDIA		80	82	227	123	1	0.74	8	4	4	4	13.241	72	17
MAXIMA		83	85	254	150	13	2	21	18	6	7	21.877	75	20
MINIMA		74	75	196	96	0	0	2	0	3	2	1.19	60	15
E.E.		0.98	1	10	8	1	1	5	4	0.56	0.42	1.306	2	0.8

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); * = Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); F.V.= Fuente de variación; EXP=Experimentos; EXP*AÑOS= Experimentos por años; HIB(EXP)= Híbridos dentro de Experimentos; REP(EXP,AÑOS)= Repeticiones dentro Experimentos y años; AÑOS*HIB(EXP)= Años por Híbridos dentro de Experimentos; BLOC(EXP,AÑOS,REP)= Bloques dentro de Experimentos, Años y 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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad.

En la fuente de variación Bloques dentro de Experimentos por Años por Repeticiones se tuvieron tres variables con diferencias altamente significativas las cuales fueron AP, AM y CP; y una variable con diferencia significativa la cual fue FF; no hubo similitud entre los bloques siendo el diseño eficiente al mostrar las distintas variaciones que tuvieron los experimentos a través de los años.

Para las variables FM y FF el valor de coeficiente de variación es el mismo, con un valor de dos indicando que se encuentran en un rango aceptable y que existe confiabilidad en estos datos, con una media de 80 días para FM y 82 días para FF, con un máximo de 83 días en FM y 85 días en FF considerándolos como floraciones intermedias favoreciendo de alguna manera al productor que cuenta con los recursos de 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 74 días y 75 días para FF considerándose como un material precoz considerado para productores que cuentan con sistemas de riegos sofisticados teniendo la oportunidad de establecer dos ciclos en el mismo año, dichos datos se recabaron en días a floración.

En las variables AP y AM el C.V. es de 8 y 12 considerando como datos confiables teniendo una media de 227 cm en AP y 123 cm en AM con los valores máximos de 254 en AP y 150 cm en AM, siendo estas medidas las indicadas para considerar un cultivo de doble propósito como es el caso, beneficiando así al productor en la obtención de forraje y grano y en los mínimos de 196 cm en AP y 96 cm en AM pudiéndose utilizar este material en siembras de altas densidades aprovechando la mayor superficie con un mayor éxito.

Las variables AR, AT, MCOB y PFUS tienen un coeficiente de variación variado, esto se debe a que no tienen una distribución normal tomando el error estándar para estimar la confiabilidad de los datos y realizar un índice de selección con estas variables, estos datos se estiman en porcentajes de acuerdo al total de plantas establecidas en el experimento.

Para la variable CP se tiene un coeficiente de variación de 21 el cual se tomó como bueno ya que no está muy alejado al valor, 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 considerándose el 1 como el peor y el 9 como el mejor material.

El C.V. de CM es menor al establecido y se considera aceptable, teniendo las medidas de esta variable como máximo de 7 y mínimo de 2 lo que representa que existe gran variabilidad en los materiales en evaluación en cuantos a estas variables, las calificaciones se tomaron en un rango de 1 – 9 siendo el 9 como el mejor material y el 1 como el peor.

En la variable de REND se tiene un coeficiente de variación de 17.8 el cual se considera aceptable (teniendo una media de 13.241 tha^{-1} con un mínimo y máximo de 1.19 tha^{-1} y 21.877 tha^{-1} , esta variable es el factor clave para el mejorador ya que además de obtener un híbrido precoz, con buen porte, resistentes a plagas y enfermedades el rendimiento debe ser igual o superior a los híbridos comerciales.

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

Una vez analizados los resultados de los análisis de varianza individuales por año y combinando de ambos años, podemos observar que existió mucha diferencia entre las variables evaluadas, esto complicara las selección de híbridos considerando simultáneamente todas las características, es por ello que se tiene que recurrir a una herramienta que permita la selección simultanea sin discriminar híbridos que sobresalgan en unas características pero sean débiles en otras y para ello se ha reportado que un índice de selección es la mejor alternativa en estos casos.

El índice de selección es una buena herramienta para la identificación de híbridos sobresalientes y de buen comportamiento agronómico, debido que incluye simultáneamente todas las características deseadas, por lo contrario sería complicado seleccionar para cada una de las características de los materiales.

Para la construcción del IS se debe explorar 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 mediante un gráfico Biplot del 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 sobresalga la variable de precocidad, adecuado porte de planta, aceptable sanidad y la más importante el rendimiento, todas estas en un híbrido.

Para la obtención del gráfico Biplot se utilizaron las medias ajustadas de las 13 variables de cada experimento individual a través de sus dos repeticiones y dos años, dichas medias se estandarizaron con los valores Z esto para igualar los valores donde todas las variables deben tener una media igual a cero y una desviación estándar igual a uno.

Los valores estandarizados se acomodaron en una sola matriz, los tres experimentos con ellos se realizó un cuadro de doble entrada donde por un lado "X" se encuentran los materiales experimentales y por el otro lado de Y los valores estandarizados de las variables, con estos valores se alimenta la base de datos del programa estadístico multivariado de Componentes Principales el cual arrojará el gráfico Biplot; dicho gráfico nos muestra cuatro ejes cartesianos en los cuales sobresaldrán los agrupamientos naturales de estos se debe escoger mínimo tres grupos donde exista correlación, menos de tres agrupamientos no es adecuado para un índice de selección.

Agrupamiento de las variables

La Figura 4.1 corresponde al gráfico Biplot de los 141 híbridos experimentales y los tres testigos de cada experimento de los cuales se puede detectar cuatro cuadrantes de los ejes cartesianos los cuales están presentes las 13 variables agronómicas. Dentro del primer grupo se encuentra la variable floración masculina y femenina; en este grupo se encuentran las variables asociadas con la precocidad donde se seleccionó floración femenina ya que aparte de generar híbridos rendidores se busca encontrar materiales precoces y dicha variable representa a la otra dentro del agrupamiento.

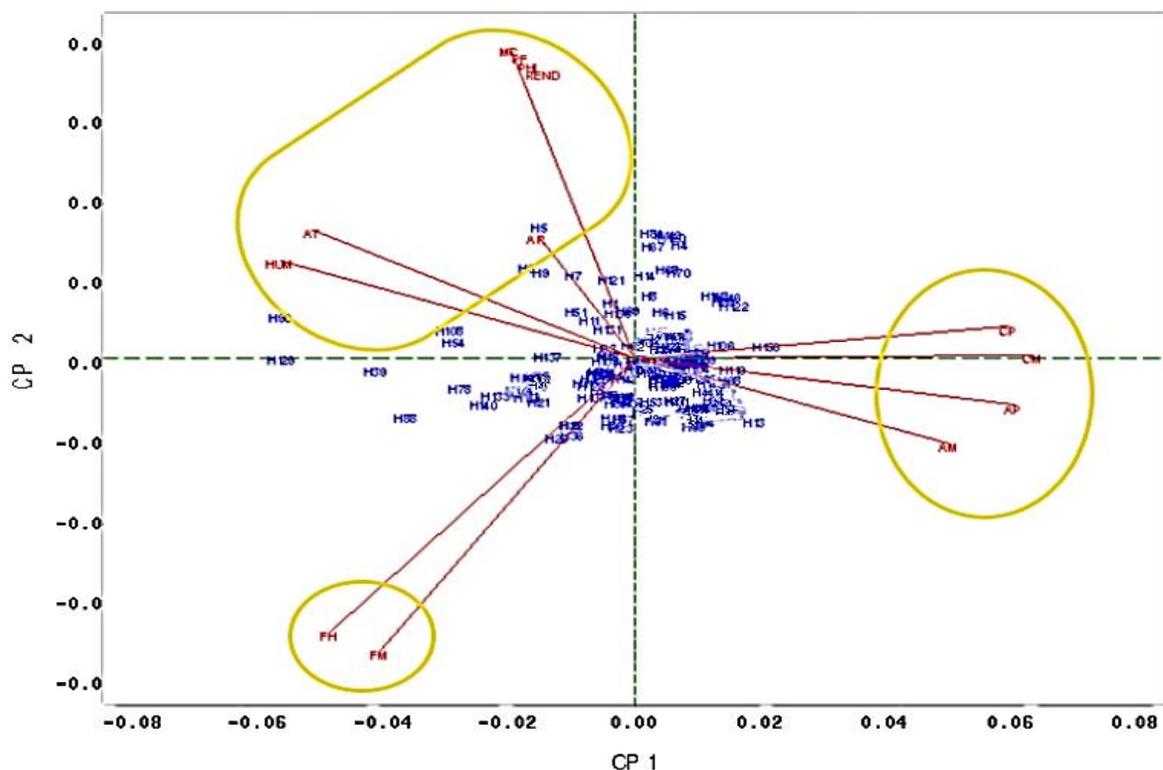


Figura 4.1. Gráfico Biplot generado a partir de 141 híbridos experimentales y tres testigos en cada experimento con las 13 variables agronómicas evaluadas; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR= Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MCOB= Mala cobertura; PFUS= Plantas con *fusarium*; CP= Calidad de la planta; CM= Calidad de la mazorca; REND= Rendimiento en t ha⁻¹ al 15% de humedad; PHL= Peso hectolítrico; HUM= Humedad.

En el segundo grupo se observan las variables humedad, acame de tallo y raíz, rendimiento, peso hectolítrico, plantas con *fusarium* y mala cobertura, estas se asocian con la sanidad y este caso se seleccionó la variable la variable Rendimiento

para generar el índice de selección ya que el objetivo del mejorador es encontrar híbridos sanos con excelentes rendimientos superiores a los ya comerciales.

El tercer grupo se detectan las variables calificación de la planta y calificación de mazorca, altura de planta y mazorca dichas variables se asocian con el porte de la planta de la cual se escogió la variable calificación de la planta, ya que aparte de rendimiento el mejorador busca estética en la planta siendo un gran atributo para su comercialización, esta variable representa a la otra en este grupo.

Estimación del 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 híbrido evaluado de los valores obtenidos en cada repetición y localidad empleando para ello un software, estos valores se utilizaron como variable de respuesta y fueron modelados como un combinado de bloques completos al azar a través de años para así detectar las diferencias en los valores obtenidos del índice para poder demostrar la existencia de variación que existe entre híbridos y poder seleccionar los mejores por medio de los valores del índice de selección.

En el Cuadro 4.4 se tiene que la fuente de variación Años y Repetición dentro de Años presentaron diferencias altamente significativas, indicándonos que los años al igual que las repeticiones tuvieron efectos diferentes en el comportamiento de los índices de selección de los híbridos.

Cuadro 4.6. Análisis de varianza del índice de selección combinado por años y repeticiones.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
AÑOS	1	28.001	28.001**
REP(AÑOS)	2	406.042	203.021**
HIB	149	5370.753	36.045**
AÑOS*HIB	141	619.164	4.391*
ERROR	280	1066.261	
TOTAL	573		
CV	14.689		
MEDIA	13.284		
EE	0.99125726		

** = Diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$); * = Diferencias significativas a ($P \leq 0.05$); Rep (Años)= Repetición dentro de Años; Hib= Híbridos; Años*Hib= Años por Híbridos; GL= Grados de Libertad; CV= Coeficiente de Variación; EE= Error Estándar.

En la fuente de variación Híbridos detectaron diferencias altamente significativas, esto indica que los índices de selección se expresaron de manera diferente y que al menos un híbrido es diferente, la selección de los híbridos superiores con atención al valor al mérito será de manera exitosa.

Únicamente tenemos que la fuente de variación Años por Híbridos mostró diferencias significativas, esto quiere decir que en las entradas hubo variación a través de los años influyendo ligeramente en el comportamiento de los índices de selección para los híbridos.

Índice de Selección

Para identificar el grupo de híbridos superiores se recurrió al valor del error estándar, que resulto del análisis de varianza del índice de selección, este multiplicándose por dos, cuyo resultado se le sumó el valor del híbrido con el valor del índice más bajo

y cuyo resultado permitió la identificación de los híbridos estadísticamente superiores que se encontraban dentro de dicho rango, se identificaron 10 híbridos de los cuales, 9 híbridos son experimentales y uno es híbrido comercial como testigo.

El cuadro 4.7 se presenta los 10 híbridos seleccionados, los cuales se deben leer de arriba hacia abajo, de acuerdo a esto, los índices más bajos son los híbridos más sobresalientes.

Como resultado de la selección se identificó el híbrido 4 el cual es generado por la cruza (LPxPN316) xM35) xM35}-3-B] x [], siendo el híbrido que mostró el menor valor al mérito de índice de selección 7.5 posicionándolo como el primer lugar, dicho híbrido sobresale en cuanto a precocidad siendo este su gran atributo superando al testigo en dicha característica que le permitirá a los agricultores establecer este híbrido en regiones en donde la precipitación pluvial es muy baja o el agua sea muy escasa para usarla en la agricultura además de tener un buen porte en cuanto a la altura y calificación de planta.

Como segundo lugar se encuentra el híbrido 15 generado por ML4] x [(24-26) xM22xM8-2-B] con un valor de IS de 7.6, este híbrido muestra un buen comportamiento agronómico en precocidad y porte de planta, pero no tan favorable en el porcentaje de susceptibilidad a *fusarium*, en cuanto al rendimiento es aceptable para los productores ya que va desde las 16 t ha⁻¹ comparándolo con los testigos, estos rinden más pero suelen ser más tardíos.

El híbrido 50 generado por MONSANTO se posiciono en tercer lugar con 8.3 como valor de índice, híbrido utilizado como testigo, con la finalidad de compararlo con los híbridos experimentales el cual muestra un buen comportamiento agronómico en la mayoría de las variables, con un excelente rendimiento de 21 t ha⁻¹ pero un poco tardío.

Cuadro 4.7. Híbridos seleccionados mediante el valor de índice de selección más dos veces el error.

HIB	GENEALOGIA	IS	FM	FH	AP	AM	AR	AT	MC	PF	CP	CM	REND	PHL	HUM
			(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(1-9)	(1-9)	(t ha ⁻¹)	(vol.)	(%)
4	(LPxPN316)xM35)xM35}-3-B]x[]	7.5	72	73	233	115	1	0	11	7	6	5	16.661	74	17
15	ML4]x[(24-26)xM22xM8-2-B]	7.6	74	75	232	137	2	3	8	12	6	5	16.429	74	15
50	MONSANTO	8.3	82	81	238	126	0	0	5	3	8	7	21.263	72	17
43	(MLxM46)xML}-2]x[(S3-28xM7)xM7]-1-B]	8.4	77	78	227	117	4	1	0	0	6	5	18.197	74	21
20	(MLxM25)xM6-1-B]x[(M13xv52)xM15-1]	8.9	79	80	250	148	6	0	6	1	6	6	19.677	74	18
30	(MLxM46)xML}-3]x[M6]	9.0	74	76	231	128	0	0	1	8	5	5	16.129	74	17
38	(MLxM46)xML}-3]x[(232RxC)xC]-1]	9.2	77	77	224	115	0	0	3	0	6	5	17.742	75	15
12	(LPxPN316)xM8xM8-2-B]x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1)-2-B]	9.2	75	76	231	134	3	2	11	3	6	6	16.842	76	16
14	(LPxPN316)xM8xM8-2-B]x[(P x PN)- 16]	9.2	71	73	221	119	2	2	15	18	5	5	16.045	72	16
13	(LPxPN316)xM8xM8-2-B]x[(MLxM22)xML-4]	9.3	79	82	253	153	2	0	4	0	6	7	18.190	71	18

HIB=Híbridos; IS= índices de selección; 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; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Humedad.

El híbrido 43 generado por (MLxM46) x ML}-2] x [(S3-28xM7) x M7}-1-B] tomo el cuarto lugar con un índice de selección de 8.4, este híbrido sobresale en cuanto a la sanidad ya que no mostro porcentaje en cuanto a susceptibilidad de *fusarium* y mala cobertura de mazorca, este tipo de híbrido es de suma importancia para el mejorador ya que es lo se busca en un programa de mejoramiento genético además de tener un buen rendimiento que va de las 18 t ha⁻¹ .

Como quinto lugar tenemos el híbrido 20 generado por (MLxM25) x M6-1-B] x [(M13xv52) x M15-1] con valor de IS de 8.9 híbrido que obtuvo el rendimiento más alto que fue de 19 t ha⁻¹ entre los híbridos experimentales, además de mostrar un buen comportamiento agronómico en las variables de mayor importancia en cuanto al porte y sanidad de la planta, considerándose como un híbrido tardío.

El sexto híbrido seleccionado es el 30 generado por (MLxM46) x ML}-3] x [M6] con un IS de 9, este híbrido se encuentra libre de acame de raíz y tallo, es precoz, con altura promedio, buena cobertura de mazorca pero tiene cierta presencia de susceptibilidad a *fusarium* de acuerdo al porcentaje obtenido.

El híbrido 38 con el valor de índice de selección de 9.2 es el séptimo seleccionado y está formado por (MLxM46) x ML}-3] x [(232Rx C) x C}-1], nos indica que está libre de *fusarium* así como de acame de raíz y tallo además de mostrar estética en la planta siendo esta fundamental para su comercialización por lo tanto quiere decir que es sano, de buen porte y rendidor siendo de gran importancia para el mejorador y por consecuencia al agricultor.

El octavo híbrido seleccionado es el 12 proveniente de la crusa (LPxPN316) x M8xM8-2-B] x [(IE-4-1-A-Ax351) x (E-4-1) -2-B] con un valor de 9.2 como IS, se puede detectar que este híbrido es de características deseables excepto en la variable de mala cobertura de mazorca ya que muestra un porcentaje alto.

El noveno híbrido es el 14 con el valor de índice de 9.2 conformado por (LPxPN316) x M8xM8-2-B] x [(P x PN)- 16] aparte de mostrarnos buena precocidad, la altura de la planta es ideal para ampliar más la densidad de población aprovechando más el

terreno de siembra, obteniendo un buen rendimiento, por otro lado es un híbrido susceptible a *fusarium* con una mala cobertura de mazorca poniéndolo en desventaja.

Como decimo y último seleccionado tenemos al híbrido 13 con un valor al mérito de índice de selección de 9.3 dicho híbrido está formado por (LPxPN316) x M8xM8-2-B] x [(MLxM22) x ML-4] sobresaliente en altura de planta, siendo ideal para utilizarlo como doble propósito, obteniendo más masa cruda que se puede utilizar en el ensilaje y al mismo tiempo grano, caracterizándose como un híbrido tardío el cual es de mayor importancia para agricultores que se encuentran en zonas con excelentes precipitaciones pluviales o tengan los recursos necesarios para suministrar agua al cultivo, libre de *fusarium* y acame de tallo, con buena estética y un buen rendimiento que va de las 18 t ha⁻¹ significando que es de mayor interés para el mejorador y el productor.

V. CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias estadísticas entre los híbridos evaluados y variables estudiadas de acuerdo a los análisis de varianza individuales y combinado utilizados como medio de evaluación, lo que da una oportunidad una adecuada selección.

El índice de selección resulto eficiente ya que fue una herramienta estadística de gran ayuda para seleccionar a los híbridos superiores.

Se logró la identificación de los híbridos superiores los cuales son: Híbrido 13, Híbrido 20, Híbrido 38 e Híbrido 43 los cuales presentan excelentes características agronómicas deseables como un buen potencial de rendimiento, un porte promedio de la planta para su diferentes usos y libre de acames y *fusarium*.

VI. LITERATURA CITADA

- Antuna-Grijalva, Rincón-Sánchez, Gutiérrez del Río, Ruiz-Torres y Bustamante-García.** (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 26 (1): 11 – 17.
- Asif-Masood, Khalid-Farooq, Yaqub-Mujahid and Zubair-Anwar.** (2008). Improvement in Precision of Agricultural field Experiments through Design and analysis. *Pak. j. life soc. sci.* Vol. 6(2): 89-91
- Bahena D., G.; 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.
- Bahena D., G. et al.** 2009. Sustentabilidad del Agua en la Producción de Maíces Criollos en Xalostoc, Morelos, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Vol. 6, Núm. 2.
- Barreto, H. J. Bolaños, A.J. Córdova, S. H.** (1991). Programa de índices de selección, Guía para la operación de software. CIMMYT. México, D.F. 27 p.
- Bujak, H., J. Kaczmarek, K. Dmochowska-Huba, H. Bujak, S. Jedynski, J. Adamczyk y Z. Kurczyk.** (2007). Index Se lection in Maize Breeding. *Plant Genetic and Breeding* 24: 58-65.
- Cerón, R., Jesús J., Sahagún, C. J.** (2005). Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia*, Vol. 39, núm. 6, 2005, pág. 667-677 Colegio de postgraduados Texcoco, México
- Cervantes-Ortiz, Hernández-Esparza, Rangel-Lucio, Andrio-Enríquez, Mendoza-Elos1, Rodríguez-Pérez y Guevara-Acevedo.** (2016). Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas s3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 39 (3): 259 – 268.

- Escorcia-Gutiérrez, José D. Molina-Galán, Castillo-González y Mejía Contreras.** (2010). Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 33 (3): 271 – 279.
- Espinosa, C. A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., M. Sierra M., A. Palafox C., G. Vázquez C., F. Rodríguez M., B. Zamudio G., I. Arteaga E., E. I. Canales I., B. Martínez Y. y R. Valdivia B.** (2012) H-51 AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos del centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 347-349.
- Gonzales R., A., E.**2012. Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en Zamorano, Honduras.1:48
- Hongyu K., M. García Peña, L. Borges de Araújo and C. T. dos Santos Días.** (2014). Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype environment interaction. *Biometrical Letters* 51:89-102.
- Ledesma, M. A., Ramírez d. J.I., Vidal M. V. A., Peña R. A., Ruiz C. J.A., Salinas, M. Y. Y Preciado O. R. E.** (2015). Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. ii. evaluación de mestizos y cruza. *Revista. Fictotec.Mex.* Vol. 38 (2). pág. 133-143.
- Lozano-Ramírez A., A. Santacruz-Varela, F. San-Vicente-García, J. Crossa, J. Burgueño y J. D. Molina-Galán** (2015) Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:337-347.
- M. Kashifa, M. I. Khanb, M. Arifb, M. Anwerc, and M. Ijazc** (2011). Efficiency of Alpha Lattice Design in Rice Field Trials in Pakistan. *J. Sci. Res.* Vol. 3 (1), 91-95.
- Martínez-Lázaro C., L. E. Mendoza-Onofre, S. G. García-de los Santos, M. C. Mendoza-Castillo y Á. Martínez-Garza** (2005) Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a

la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:127-133.

McDermott B. and R. Coe (2012) *An Easy Introduction to Biplots for Multienvironment Trials*. Statistical Services Center, University of Reading, UK and World Agroforestry Centre, Kenya. 62 p

Nzuve F., S. Githiri, D. M. Mukunya and J. Gethi (2013) Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in maize hybrids. *Journal of Agricultural Science* 5:75-85

Ocho M. E., Núñez H. G., Sánchez D. J. I., Rodríguez H. K., Figueroa V. U. 2012. Calidad, Eficiencia en el Uso del Agua y Producción de Maíz con dos Fuentes de Nitrógeno y Sistemas de Riego. *Agrofaz*. 12 (4).

Paliwal R. L. 2001. Mejoramiento del maíz por selección recurrente. Depósito de documentos de la FAO departamento de Agricultura.

Ramírez, D. J. L., Ledesma M. A., Vidal, M. V.A., Gómez M. N.O, Ruiz C. J. A., Velázquez C. G. A., Ron P. J., Salinas M. Y. Y Nájera C. L. A. (2015). Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 38 (2) pág. 119 – 131

Rojas Martínez, Basilio A. (2006). The expanded family of lattices. *Agrociencia*. septiembre-octubre, Colegio de Postgraduados Texcoco, México. Vol. 40, (5): 627-640

Romo P., M. 2015. Introducción al Cultivo de Maíz en Riego por Goteo. *Intagri*. 1:2

SIAP. (2016). Planeación agrícola nacional 2017-20130. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Documents/articulos%20maiz/introduccion.pdf>
Consultado 16/11/18

Sierra M., M.; Palafox C., A.; Espinosa C., A.; Caballero H., F.; Rodríguez M., F.; Barrón F., S.; y Valdivia B., R. 2005. Adaptabilidad de híbridos triples de

maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía Mesoamericana* 16 (1): 13–18.

Tadeo, R. M., A. Espinosa C., A. M. Solano y R. Martínez M. (2003) Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 14:15-19.

Tadeo, R. M., A. Espinosa C., J. Serrano R., M. Sierra M., F. Caballero H., R. Valdivia B., N. Gómez M., A. Palafox C., F. A. Rodríguez M. y B. Zamudio G. (2010) Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:273 - 287.

Tonk A. F.E. Ilker and M. Tosun, (2011) Evaluation of genotype environment interactions in maize hybrids using GGE biplot analysis. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* .11:1-9.

Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. (2011). Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(6):829-844.

Turrent F. A. (2009) El potencial productivo del maíz. *Ciencias* 92-93:126-129

Virgen-Vargas, Zepeda-Bautista, Rosalba, Ávila-Perches, Rojas-Martínez, Espinosa-Calderón, Gámez-Vázquez, A. Josué. (2016). Desespigamiento en cruza simple progenitoras de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para valles altos de México. *Agrociencia*, 50.

Yáñez, C. L. F. (2005) Índices de selección: sugerencias para su utilización. Manual de ganadería de doble propósito. pág. 106-110.

Zamora S. S.; Fenech L. L.; Ruiz E. F. H.; Pérez D. W.; López G. A. 2007. Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea Mays* L.) con riego por goteo, en el Valle de la Paz, Baja California Sur, México. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.16 (3)33:36

Zobel R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch Jr. (1988) Statistical analysis of yield trial. *Agronomy Journal* 80:388-39.

APÉNDICE

Apéndice 1. Descripción de la genealogía de los híbridos experimentales y testigos comerciales del experimento 5 empleados en el año 2017 y 2018.

Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos	Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos
1	(LPxPN316)xM35)xM35)-3-B)x[(M47xV524)xM47]-2-B]	26	(MLxM46)xML)-1-B)x[(MLxM22)xML]-4]
2	(LPxPN316)xM35)xM35)-3-B)x[M23]	27	(MLxM46)xML)-3)x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]
3	(LPxPN316)xM35)xM35)-3-B)x[C2]	28	(MLxM46)xML)-3)x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1)-2-B]
4	(LPxPN316)xM35)xM35)-3-B)x[]	29	(MLxM46)xML)-3)x[(M22XC)x C]-1]
5	(LPxPN316)xM36xM36xLPxPN-2-B)x[C2]	30	(MLxM46)xML)-3)x[M6]
6	(LPxPN316)xM36xM36xLP)xPN-2-B)x[LP x PV] - 11]	31	(MLxM46)xML)-3)x[(112xM6)xM7x112-1-B]
7	(LPxPN316)xM36xM36xLP)xPN-2-B)x[(P x PN)- 16]	32	(MLxM46)xML)-3)x[(PE146xPE203)-3-AxN135xM75-3-B]
8	(LPxPN316)xM36xM36xLP)xPN-2-B)x[]	33	(MLxM46)xML)-3)x[(MLxM25)xM35-1]
9	(LPxPN316)xM8xM8-1-B)x[(24-26)xM22xM8-2-B]	34	(MLxM46)xML)-3)x[(112xM6)xM7x112]-1-B]
10	(LPxPN316)xM8xM8-1-B)x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1)-2-B]	35	(MLxM46)xML)-3)x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]
11	(LPxPN316)xM8xM8-2-B)x[(24-26)xM22xM8-2-B]	36	(MLxM46)xML)-3)x[(LPxPN316)xM8xM8-1-B]
12	(LPxPN316)xM8xM8-2-B)x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1)-2-B]	37	(MLxM46)xML)-3)x[(MLxM22)xML]-4]
13	(LPxPN316)xM8xM8-2-B)x[(MLxM22)xML-4]	38	(MLxM46)xML)-3)x[(232RxC)x C]-1]
14	(LPxPN316)xM8xM8-2-B)x[(P x PN)- 16]	39	(MLxM46)xML)-3)x[MCS41]
15	ML4)x[(24-26)xM22xM8-2-B]	40	(MLxM46)xML)-1)x[(S3-28xM7)xM7]-1-B]
16	ML4)x[(M22XC)x C-1]	41	(MLxM46)xML)-1)x[(MLxMLxML)-1]
17	ML4)x[M6]	42	(MLxM46)xML)-1)x[(CM22xC)xM22-2]
18	ML4)x[(P x PN)- 16]	43	(MLxM46)xML)-2)x[(S3-28xM7)xM7]-1-B]
19	(MLxMM25)xML)-2-B)x[]	44	(MLxM46)xML)-3)x[(S3-28xM7)xM7]-1-B]
20	(MLxM25)xM6-1-B)x[(M13xv52)xM15-1]	45	(MLxM46)xML)-3)x[(MLxM25)xM35-2]
21	(MLxM25)xM6-1-B)x[]	46	(MLxM46)xML)-3)x[(MLxL1C)xML]-1]
22	(MLxM7)xM7)-1-B)x[(MLxMLxML)-3]	47	(MLxM46)xML)-3)x[(232xM2)xM22-1]
23	(MLxM7)xM7)-1-B)x[232-10-11]	48	AN447
24	(MLxM46)xML)-1-B)x[(M42xV524)xM42-4-B]	49	PIONEER
25	(MLxM46)xML)-1-B)x[(MLxM7)xM7-1-B]	50	MONSANTO

Apéndice 2. Descripción de la genealogía de los híbridos experimentales y testigos comerciales del experimento 6 empleados en el año 2017 y 2018.

Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos	Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos
1	(MLxM22)xML-1]x[(MLxL1C)xML]-1]	26	(MLxM25)xM35-2]x[(M7x351)xM29-2]
2	(MLxM22)xML-1]x[(232xM2)xM22-1]	27	(MLxM25)xM35-2]x[232-10-11]
3	(MLxM22)xML-2]x[(MLxM7)xM7]-1-B]	28	(MLxM25)xM35-2]x[]
4	(MLxM22)xML-2]x[(MLxMLxML)-1]	29	(MLxM25)xM35-3]x[(M15xV524)xM29-2]
5	(MLxM22)xML-2]x[(232xM2)xM22-1]	30	(MLxM25)xM35-3]x[232-10-11]
6	(MLxM22)xML-2]x[(CM22xC)xM22-2]	31	(MLxLC)xMC-1]x[(LE-7-A-AxM29)xM29]-3-13]
7	(MLxM22)xML-3-E]x[(MLxM7)xM7]-1-B]	32	(MLxLC)xMC-2]x[(232RxM22)Xm2-1]
8	(MLxM22)xML-3-E]x[(CM22xC)xM22-2]	33	(MLxLC)xMC-3]x[(PE61x47)xM-7-1-B]
9	(MLxM22)xML-4]x[43-46]	34	(MLxM25)xM35-4]x[(LPx PV)-1]
10	(MLxM25)xM35-1]x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]	35	(MCxMC)ML]x[(MLxM7)xM7]-1-B]
11	(MLxM25)xM35-1]x[(232xM2)xM22-1]	36	(MLxMLxML)-1]x[(MLxM7)xM7]-1-B]
12	(MLxM25)xM35-1]x[(232xM2)xM22-1]	37	(MLxL1C)xML-1]x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]
13	(MLxM25)xM35-2]x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]	38	(MLxL1C)xML-1]x[(MLxM22)xML]-4]
14	(MLxM25)xM35-2]x[(MLxMLxML)-1]	39	(MLxL1C)xML-1]x[(M13xv52)xM15-1]
15	(MLxM25)xM35-2]x[(232xM2)xM22-1]	40	(MLxL1C)xML-1]x[MCS41]
16	(MLxM25)xM35-2]x[(CM22xC)xM22-3]	41	(232xM2)xM22-1]x[(PE61x47)xM-7-1-B]
17	(MLxM25)xM35-3]x[(M42xV524)xM42]-4-B]	42	(232xM2)xM22-1]x[(M13xV524)xM13]-2]
18	(MLxM25)xM35-3]x[(M47xLC)x LC]-1-B]	43	(232xM2)xM22-1]x[(CM22xC)xM22-3]
19	(MLxM25)xM35-3]x[S3-21-4xM42)xM42]-2-B]	44	(232xM2)xM22-1]x[(M224x(43-46xML)xM21-3]
20	(MLxM25)xM35-4]x[(M42xV524)xM42]-4-B]	45	(232xM2)xM22-1]x[]
21	(MLxM25)xM35-4]x[(M47xLC)x LC]-1-B]	46	(232xM2)xM22-1]x[(232RxM22)Xm2-1]
22	(MLxM25)xM35-4]x[(S3-28xM7)xM7]-3-B]	47	(232xM2)xM22-1]x[(M224x(43-46xML)xM21-3]
23	(MLxM25)xML-1]x[(LE-7-A-AxM29)xM29]-3-13]	48	AN 447
24	(MLxM25)xML-1]x[232-10-11]	49	PINEER
25	(MLxM25)xML-1]x[]	50	MONSANTO

Apéndice 3. Descripción de la genealogía de los híbridos experimentales y testigos comerciales del experimento 7 empleados en el año 2017 y 2018.

Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos	Híbridos	Genealogía de híbridos experimentales y testigos
1	(232xM2)xM22-1]x[]	26	(232RxC)xC-1]x[(232xlinea C)xC]-2]
2	(232xlinea C)xC-1]x[(MLxMM25)xML]-2-B]	27	(232RxC)xC-1]x[(232RxM7)xM7]-1]
3	(232xlinea C)xC]-1]x[(M15xV524)xM29-2]	28	(232RxC)xC-1]x[(232RxM7)xM7]-2]
4	(232xlinea C)xC]-2]x[(M7x351)xM29-2]	29	(232RxC)xC]-1]x[M29]
5	(232xlinea C)xC]-2]x[(M15xV524)xM29-2]	30	(232RxC)xC]-1]x[M36]
6	(232xlinea C)xC]-2]x[(CM22xC)xM22-3]	31	(232RxC)xC]-1]x[PE212]
7	(232RxM7)xM7]-1]x[(M42xV524)xM42]-4-B]	32	(232RxC)xC]-2]x[(M7x351)xM29-2]
8	(ML x M25)xM35]-1]x[(MLxM25)x ML-2-B]	33	(232RxC)xC]-2]x[M29]
9	(232RxM7)xM7]-1]x[(PE61x47)xM-7-1-B]	34	(232RxC)xC]-3]x[(M42xV524)xM42]-4-B]
10	(232RxM7)xM7]-1]x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1)-2-B]	35	(232RxC)xC]-3]x[LE-30-5-AxM29]M7-1-B]
11	(232RxM7)xM7]-1]x[M36]	36	(232RxC)xC]-3]x[(MLxMLxML)-3]
12	(232RxM7)xM7]-1]x[]	37	(232RxC)xC]-3]x[(M7xV524)xM7]-3]
13	(232RxM7)xM7]-2]x[(IE-4-1-A-Ax351)x(E-4-1))-3-B]	38	(232RxC)xC]-3]x[(M13xV524)xM13]-2]
14	(232RxM7)xM7]-2]x[(232xlinea C)xC]-2]	39	(232RxC)xC]-3]x[(M23xV524)xM23]-3]
15	(232RxM7)xM7]-2]x[(M7xV524)xM7]-3]	40	(232RxC)xC]-3]x[M29]
16	(232RxM7)xM7]-3]x[(M42xV524)xM42]-4-B]	41	(232RxC)xC]-3]x[M36]
17	(232RxM7)xM7]-3]x[(232RxM22)xM2-3]	42	(232RxC1)xC2-3]x[M29]
18	(232RxM7)xM7]-3]x[(M7xV524)xM7]-3]	43	(232RxC1)xC2-3]x[M7]
19	(232RxM22)xM2-2]x[(M13xV524)xM13]-2]	44	(232RxC2)xC-2]x[(232RxM7)xM7]-2]
20	(232RxM22)xM2-2]x[C2]	45	(232RxC2)xC-2]x[]
21	(232RxM22)xM2-3]x[(PE146xPE203)-3-AxN135xM75-3-B]	46	(232RxC2)xC-2]x[(M23xV524)xM23]-3]
22	(232RxM22)xM2-3]x[(MLxM46)xML]-1-B]	47	(232RxC2)xC-2]x[43-46]
23]x[(MLxMM25)xML]-2-B]	48	AN447
24]x[232-10-11]	49	PIONNER
25	(232RxC)xC-1]x[(IE-4-1)-A-Ax351)x(E-4-1))-3-B]	50	MONSANTO