



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

GENÉTICA

VARIACIÓN DE PLÁNTULA Y PRODUCTIVIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO

NEFTALÍ CRUZ PÉREZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, **“NEFTALÍ CRUZ PÉREZ”**, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **“DR. FERNANDO CASTILLO GONZÁLEZ”**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **“VARIACIÓN DE PLÁNTULA Y PRODUCTIVIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO”**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 21 de noviembre de 2018

NEFTALÍ CRUZ PÉREZ

Vo. Bo. del DR. FERNANDO CASTILLO GONZÁLEZ

La presente tesis titulada: **VARIACIÓN DE PLÁNTULA Y PRODUCTIVIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO** realizada por el alumno: **NEFTALÍ CRUZ PÉREZ** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



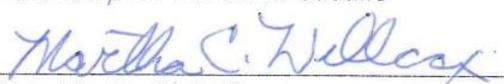
Dr. Fernando Castillo González

ASESORA



Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

ASESORA



Dra. Martha C. Willcox

Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., noviembre de 2018

VARIACIÓN DE PLÁNTULA Y PRODUCTIVIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO

Neftalí Cruz Pérez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

México es centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, el cual se mantiene bajo el dinamismo que imprime la selección de semilla por los productores y las condiciones ecológicas propios de su sitio de cultivo. Para comprender la variación genética del cultivo en cada microrregión y diseñar estrategias de aprovechamiento de manera participativa con los agricultores, se plantea el estudio de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, donde prevalecen las siembras bajo humedad residual, mediante la valoración de la variación entre FMHM para vigor a la emergencia, componentes del rendimiento de grano y brácteas, de modo que se pueda estimar la respuesta esperada de la selección participativa, valorar en qué proporción se pueden presentar individuos con expresión deseable para tales atributos, además del estudio de una posible correlación entre las variables asociados al vigor y la productividad en campo, con la finalidad de identificar individuos con mayor potencial productivo y agronómico. Se evaluaron cuatro poblaciones locales de la raza Chalqueño representados por 60 FMHM de cada población, se incluyeron 11 poblaciones nativas de maíz de la región de la Mixteca Oaxaqueña del sistema de siembra “tipo cajete”, tres híbridos locales y una población recombinante adaptado a valles altos como testigos. Para la evaluación del vigor en etapas tempranas se usaron camas de arena bajo invernadero, con siembras a 20 cm de profundidad. En campo, la siembra se realizó en dos localidades: Montecillo y Ayapango ambos en el Edo. de México, en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2017 a una densidad de 50 mil plantas por ha, bajo el diseño de parcelas divididas en BCA con tres repeticiones. Se consideraron características relacionadas a vigor de plántulas, mazorca, grano, planta y totomoxtle. Para vigor inicial hubo diferencias altamente significativas en repeticiones y entre poblaciones para todas las variables, dentro de las poblaciones de Marcelino y Pedro hubo mayor variación para longitud del mesocótilo; la heredabilidad para medias de familias en las variables velocidad y porcentaje de emergencia así como porcentaje de plántulas normales estuvo en el rango entre 0.51-0.77, 0.36-0.67, 0.21-0.56, respectivamente, siendo la población de Pedro la de valores altos de heredabilidad 0.49 para

longitud del mesocótilo con una respuesta a la selección de 5 % por ciclo, mientras que para Porcentaje de emergencia y plántulas normales fue de 13 % por ciclo. En campo hubo diferencias altamente significativas entre FMHM de cada población para todas las variables. La heredabilidad de medias de FMHM para rendimiento de grano en la población de Enrique y Manuel fue de 0.3 con una respuesta a selección de aproximadamente 400 kg/ha/generación. Los valores altos de heredabilidad corresponden a Días a Floración (0.5-0.7), Altura de Mazorca (0.4-0.5), Número de Hileras en la mazorca (0.5-0.6), Número y longitud de hojas del totomoxtle (0.3-0.6) y (0.4-0.6) respectivamente. El análisis de correlación canónica muestra una relación positiva entre las dos primeras variables canónicas (Vigor1 y Rendimiento1) para todas las poblaciones con un coeficiente canónico de entre 0.5 a 0.59 y 0.91 para las poblaciones testigos, donde las variables con mayor influencia en la variable canónica vigor fueron la longitud del mesocótilo y de la parte aérea, porcentaje y velocidad de emergencia, mientras que para Rendimiento las variables con mayor efecto fueron altura de planta y mazorca, hojas totales y peso del totomoxtle, así como las dimensiones de grano. La variación, heredabilidad y la respuesta a la selección estimada por ciclo entre las FMHM, así como la correlación entre las variables asociados al vigor a la emergencia y la productividad del cultivo, permiten señalar que se puede mejorar a las poblaciones aumentando la frecuencia de alelos favorables de características importantes como rendimiento de grano y producción de hojas para tamal, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores, manteniendo la diversidad genética.

Palabras clave: maíz, vigor a la emergencia, rendimiento, totomoxtle, variación genética

**SEEDLING VARIATION AND PRODUCTIVITY IN NATIVE CORN
POPULATIONS IN SOUTHEASTERN STATES OF MEXICO**

**Neftalí Cruz Pérez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018**

ABSTRACT

Mexico is a center of origin, domestication and diversification of maize, which is maintained under the dynamism determined by seed selection process practiced by local farmers and the ecological conditions of its cultivation site. To order to understand the genetic variation of the crop in each micro-region and design utilization approaches in a participatory manner with farmers. The study of native maize populations in the southeastern part of the state of Mexico, where residual moisture sowing prevails, is proposed by evaluating the variation between families of maternal half sibs for plantlets emergency vigour, components of grain yield and cornhusks, so that the expected response of the participatory seed selection can be estimated, as well as evaluating the proportion in which individuals with desirable expression for such attributes can be present, and studying a possible correlation between the variables associated with vigour and field productivity, with the purpose of identifying individuals with greater productive and agronomic potential. Four local populations of the Chalqueño race, represented by 60 families of maternal half sibs from each population, were evaluated, together with 11 native populations of maize from Oaxacan Mixteca region which are planted under the “Cajete system”, and three local hybrids and a recombinant population adapted to high valleys as cheks. Evaluation of vigor in the early stages was carried out using a river sand bed under greenhouse conditions, planting at a depth of 20 cm. yield trials were carried out in two locations: Montecillo and Ayapango, both in the State of Mexico, in the Spring-Summer 2017 agricultural season, at a density of 50,000 plants per ha, under split plots into random complete blocks design with three replications. Characteristics related to vigor of seedlings plus attributes of ear, grain, plant and “totomoxtle” were considered. For initial vigor there were highly significant differences among replications and between populations for all traits, within the populations of Marcelino and Pedro there was greater variation for mesocotyl length; heritability for half sibs family means for speed and emergency percentage as well as percentage of normal seedlings was in the range of 0.51-0.77, 0.36-0.67, 0.21-0.56, respectively, being the Pedro population with higher heritability values of 0.49 for mesocotyl length heritability with a response to selection of 5 % per cycle, while for Emergency Percentage and normal seedlings

it was 13 % per cycle. For field information, there were highly significant differences between half sib families for each population and for all variables. The heritability for half sib family means for grain yield in Enrique and Manuel's population was 0.3 with a response to selection of approximately 400 kg/ha/generation. There were higher heritability values for Day to Flowering (0.5-0.7), Ear Height (0.4-0.5), Number of ear Rows (0.5-0.6), Number and length of Totomoxtle leaves (0.3-0.6) and (0.4-0.6) respectively. The canonical correlation analysis showed a positive relationship between the first two canonical variables for each of the four populations with a canonical coefficient between 0.5 to 0.59, and 0.91 for the checks populations, where the variables with the greatest influence on the canonical variable for Vigour were length of the mesocotyl and the aerial part, percentage and speed of emergence, while for grain yield component the variables with the greatest effect were plant and ear height, total number of leaves and weight of totomoxtle and kernel dimensions. The variation, heritability, and the estimated response to selection by cycle among maternal half sib families as well as the correlation between the variables associated with seedling vigour and crop productivity, allow us to point out that populations can be improved by increasing the frequency of favorable alleles of important traits such as grain yield and totomoxtle leaf production, under simple selection techniques and in a participatory manner with farmers, while maintaining genetic diversity.

Key words: maize, seedling vigor, cornhusk, genetic variation

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría en ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, PREGEP-Genética por la oportunidad brindado para formar parte del área y realizar mis estudios

A los integrantes del Consejo Particular: Dr. Fernando Castillo González, Dra. Martha Wilcox, Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, por el apoyo en la dirección de la investigación, así como por la dedicación, paciencia y valiosos aportes que permitieron la realización del trabajo de investigación

Al Ing. Antonio Ramírez Hernández, por el apoyo invaluable en la conducción y ejecución del experimento y por todo el apoyo brindado

Al Ing. Erick, a Don Pedro y Don Miguel, por su valioso apoyo durante el registro de variables

A Karen, Erisel, Itzel, Agustín. y a todos los compañeros por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo y en la medición de las variables

A Doña Mari, Fabiola, la Sra. Mari y todo el personal de apoyo, por su valiosa participación en el manejo del experimento y en la toma de datos y al personal del programa de Genética.

Al personal de apoyo en la comunidad de Ayapango, por su gran colaboración en el manejo agronómico y registro de variables del experimento.

DEDICATORIA

A Dios por protegerme y permitirme llegar a este momento tan especial y por bendecirme todos los días, con mucho más de lo que merezco.

A mi esposa Eugenia por su apoyo incondicional y a nuestro hijo Eithan Kerim, que es el motivo y la inspiración para seguir adelante y que libra mi mente de todas las adversidades que se presentan. Ustedes han sido siempre la luz que ilumina el porvenir de mi felicidad.

A mis padres Angélica Pérez y Tomás Cruz, por sus innumerables consejos y ejemplo de vida, pues con su apoyo he podido ser un hombre de bien. Por el simple hecho de ser mis padres merecen mi más sincero agradecimiento y respeto.

A mis hermanos Melquiades, Carlos y Emigdio, por el apoyo que siempre me brindaron día a día para cumplir mi meta y por mostrarme lo bueno que es tener hermanos.

A los amigos y compañeros con quienes tuve la oportunidad de convivir durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTO DE FIGURAS	xv
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
HIPÓTESIS	8
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
LITERATURA CITADA	9
CAPÍTULO I.- VIGOR DE PLÁNTULA A LA EMERGENCIA EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO	12
1.1.-RESUMEN	12
1.2.-SUMMARY	13
1.3.-INTRODUCCIÓN	14
1.4.-OBJETIVOS	18
1.5.-HIPÓTESIS	18
1.6.-MATERIALES Y MÉTODOS	18
1.6.1.-Ubicación del experimento	20
1.6.2.-Conducción del experimento	20
1.6.3.-Análisis Estadísticos	22
1.6.4.-Modelo General	23
1.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
1.7.1.- Comparación de medias por población para variables asociadas al vigor de plántulas a la emergencia en poblaciones del SE del Edo. de México y los testigos	28
1.7.2.- Variación entre familias de medios hermanos maternos para variables con mayor influencia en la expresión de vigor de plántulas a la emergencia	29
1.7.3.- Variación entre las poblaciones testigos para variables asociadas al vigor de la plántula a la emergencia	32

1.7.4.- Estimación de la heredabilidad para medias de FMHM en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del estado de México	33
1.7.5.- Respuesta esperada a la selección para FMHM en variables asociadas al vigor de plántulas en siembra profunda.....	34
1.8.-CONCLUSIONES.....	35
1.9.-LITERATURA CITADA	36
CAPITULO II. VARIACIÓN GENÉTICA EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO	39
2.1.-RESUMEN.....	39
2.2.-SUMMARY	40
2.3.-INTRODUCCIÓN.....	41
2.4.-OBJETIVOS.....	47
2.5.-HIPÓTESIS	47
2.6.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
2.6.1.-Ubicación de los experimentos	48
2.6.2.-Conducción del experimento	49
2.6.3.-Diseño y parcela experimental	51
2.6.4.-Análisis estadísticos	51
2.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
2.7.1.- Análisis para variables agronómicas	53
2.7.2.- Análisis para atributos de mazorca y grano	56
2.7.3.- Análisis para atributos de brácteas (totomoxtle) de las mazorcas.....	58
2.7.4.- Comparación de medias por población y los testigos.....	60
2.7.5.- Variación entre las poblaciones testigos para variables agronómicas, componentes de rendimiento de grano y totomoxtle por localidad.....	62
2.7.6.- Estimación de la heredabilidad para medias de FMHM en las cuatro poblaciones nativas	64
2.7.7.- Respuesta esperada a la selección para medias de FMHM en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México	67
2.8.-CONCLUSIONES.....	69
2.9.-LITERATURA CITADA	70

CAPÍTULO III.- VIGOR A LA EMERGENCIA Y SU RELACIÓN CON PRODUCTIVIDAD Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ	75
3.1.-RESUMEN.....	75
3.2.-SUMMARY	76
3.3.-INTRODUCCIÓN.....	77
3.4.-OBJETIVOS.....	81
3.5.-HIPÓTESIS	81
3.6.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	81
3.6.1.-Ubicación de los experimentos	81
3.6.2.-Conducción de experimentos.....	83
3.6.3.-Diseño y parcela experimental	86
3.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.8.-CONCLUSIONES.....	94
3.9.- LITERATURA CITADA	95
DISCUSIÓN GENERAL.....	97
CONCLUSIONES GENERALES	98

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Material Genético y su Origen geográfico	19
Cuadro 1.2.- Variables asociados a vigor de plántula a la emergencia registradas durante el desarrollo del experimento y en la extracción de las plántulas	21
Cuadro 1.3.- Modelo del cuadro de análisis de varianza para una población y sus FMHM con las esperanzas de los cuadrados medios	22
Cuadro 1.4- Cuadrados medios de los análisis de variación para variables asociados al vigor de plántulas en la evaluación de FMHM en cuatro poblaciones de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2017	26
Cuadro 1.5.- Coeficientes de correlación y significancia estadística de las variables en la prueba de vigor para cuatro poblaciones y los testigos. Montecillo, Edo. México, 2017	27
Cuadro 1.6.- Comparación de medias por población para variables asociadas al vigor de plántula a la emergencia en poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017	28
Cuadro 1.7.- Heredabilidad para medias de FMHM en cuatro poblaciones nativas de maíz, para variables asociadas al vigor de plántulas a la emergencia.	34
Cuadro 1.8.- Respuesta esperada a la selección de FMHM para variables asociadas a vigor de plántulas en siembra profunda (20 cm) en cuatro poblaciones de maíz nativo	35
Cuadro 2.1.- Descripción del Germoplasma y su origen geográfico	48
Cuadro 2.2.-caracteres observados para el estudio de la variación genética en cuatro poblaciones de maíz nativo del Edo. de México, 2017.....	50
Cuadro 2.3.- Modelo de esperanzas del cuadrado medio	52
Cuadro 2.4.- Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para variables agronómicas en la evaluación de FMHM en cuatro poblaciones de maíz del SE del Edo. de México, Montecillo y Ayapango, Edo. Méx., 2017	55

Cuadro 2.5.- Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para caracteres de mazorca y grano, Montecillo y Ayapango, 2017 ..	57
Cuadro 2.6.- Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para brácteas de mazorca. Ayapango y Montecillo, Edo. de México 2017.....	59
Cuadro 2.7 Comparación de medias en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México. Ayapango y Montecillo, Edo. Méx.,2017	61
Cuadro 2. 8.- Comparación de medias en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, Híbridos comerciales y poblaciones de cajete. Ayapango y Montecillo, Edo de México, 2017	63
Cuadro 2.9.- Componentes de varianza para familias (σf^2) y heredabilidad (hF^2) de las variables en estudio. Ayapango y Montecillo, Edo. de México, 2017.	66
Cuadro 2.10.- Respuesta a la selección para medias de FMHM en variables de componentes de la productividad y rendimiento. Ayapango y Montecillo, Edo. de México, 2017.	68
Cuadro 3.1.- Descripción y origen del Germoplasma en el estudio	82
Cuadro 3.2.-Caracteres registrados para el estudio de la variación genética para vigor de plántulas y productividad	84
Cuadro 3.3.-Primeras correlaciones canónicas entre variables asociados al vigor a la emergencia y productividad en cuatro poblaciones nativas del SE del Edo. Méx., 2017	88
Cuadro 3.4.- Valores con los primeros vectores característicos para las variables asociados a vigor a la emergencia en la primera variable canónica Vigor 1 correspondiente a cada población. Montecillo, 2017	89
Cuadro 3.5.- Valores con los primeros vectores característicos para las variables de componentes de rendimiento en la primera variable canónica Rendimiento 1 correspondiente a cada población. Ayapango, Montecillo, 2017	90

LISTO DE FIGURAS

Figura 1.1- Longitud del mesocótilo en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017	30
Figura 1.2.- Longitud de la parte aérea en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017	30
Figura 1.3.- Porcentaje de emergencia en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017	31
Figura 1.4.- Velocidad de emergencia en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017	31
Figura 3.1.-Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Enrique (tipo palomo).....	92
Figura 3.2.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Manuel (tipo azul)	92
Figura 3.3.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Marcelino (tipo Cremoso).....	93
Figura 3.4.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Pedro (tipo Cremoso)	93
Figura 3.5. - Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Poblaciones Testigos	94

INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en el mundo y en especial para México, debido a sus cualidades como alimento de la población humana, para la producción de proteína animal y como materia prima en la industria nacional e internacional, siendo así el cereal de mayor producción mundial con 1, 060'107, 470 toneladas, superando al trigo y el arroz. Adicionalmente, el cultivo y la transformación del maíz es fuente de empleo para un número importante de personas en el mundo. Estados Unidos es el país que se posiciona como el mayor productor de maíz con 384, 777, 890 toneladas, seguido de China y Brasil, colocándose México en el quinto lugar con 28, 250, 783 toneladas (FAOSTAT, 2016).

Desde el punto de vista alimentario, la cocina tradicional en México tiene como base al maíz, con un consumo anual *per cápita* aparente de 209.8 kg (Morris y López, 2000) que se abastece por el cultivo de las numerosas variedades nativas; aunque el maíz blanco es el de uso predominante para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, del cual también se puede obtener aceite para usos comestibles y muchas otras preparaciones culinarias tradicionales. El grano de maíz amarillo se utiliza también para consumo humano en una amplia variedad de platillos; sin embargo, su principal destino es el pecuario en la alimentación del ganado y en la industria de la producción de almidones. Actualmente se estima que cerca de cuatro mil productos tienen como base el maíz y derivados, incluso el combustible conocido como bioetanol, actualmente ha cobrado gran relevancia; todas las partes de la planta se utilizan con diferentes propósitos.

Desde el punto de vista económico el maíz es sustento de muchas familias, razón por la cual es de gran importancia en la política pública y en el entorno social y cultural. El maíz se cultiva en aproximadamente 54.6 % de la superficie agrícola nacional, lo que equivale a 8 millones de hectáreas, en la cual predomina la siembra en condiciones de temporal con aproximadamente el 80

%; la producción de grano en el año 2016 fue de aproximadamente 28.3 millones de toneladas, que significó un valor de la producción de 99.8 miles de millones de pesos; se informa que la producción anual ha sido dinámica en los últimos años, determinada en gran medida por efectos ambientales como sequías, heladas tempranas e inundaciones; la producción en México para este año estuvo en la proporción de maíz blanco y amarillo con 24.5 y 3.5 millones de toneladas respectivamente (SIAP, 2016).

En México el maíz es producido en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-invierno, bajo diversas condiciones agroclimáticas de humedad: secano (temporal), punta de riego y riego (SIAP, 2007). La adaptación del cultivo al gran mosaico de condiciones ambientales en el país ha dado como resultado una gran diversidad genética que los campesinos han manejado, diversificado y conservado por muchos años (Aguirre *et al.*, 2000; Bellon y Hellin, 2011), que aunado a la variedad de usos que se le da, se determina la relevancia del cultivo.

Con base en estudios arqueológicos, se cree que el maíz fue domesticado hace aproximadamente 7,000 a 10,000 años por los antiguos habitantes de Mesoamérica a partir del teocintle, una gramínea muy similar al maíz, que crece de manera natural principalmente en México y en parte de Centroamérica (Matsuoka *et al.*, 2002). Por su parte, Benz (1997) menciona que la evolución del maíz es producto de la interacción de los procesos biológicos y factores ecológicos con la dinámica cultural y los intereses del hombre. De acuerdo a Piperno *et al.* (2009) el maíz se originó en los valles altos de México, de donde se dispersó a todo el Continente Americano por los habitantes nativos, y en el siglo XVI a Europa y Asia por los exploradores europeos; por lo tanto, México es considerado como centro de origen, domesticación, diversificación genética y dispersión del maíz y su pariente silvestre (teocintle) con las cuales han coexistido desde la antigüedad.

La amplia diversidad genética y fenotípica del maíz es atribuible a diversos factores como: el flujo de polen entre el maíz y el teocintle, la estructura y morfología del maíz ya que es una

planta alógama, monoica y con polinización cruzada, la heterogeneidad de los entornos agroecológicos en los que se cultivan las plantas y el comercio local; todos estos factores continúan moldeando la diversidad genética del maíz (Linhart and Grant, 1996; Ruiz *et al.*, 2008), esto hace que existan poblaciones que aún no han sido estudiadas a profundidad. En los primeros estudios realizados por Wellhausen *et al.* (1951) se reportaban 25 razas diferentes de maíz en México, más la mención de otras variantes con necesidad de estudiar más detalladamente, en estudios posteriores se reporta un total de 59 razas bien definidas y asociadas a diferentes regiones agroecológicas (Sanchez *et al.*, 2000; Kato *et al.*, 2009), donde se define como raza taxonómica, a poblaciones entrecruzadas dentro de una especie que tiene suficientes rasgos transmisibles para caracterizarla como distinta de otras poblaciones similares (Anderson and Cutler, 1942).

Considerando la gran diversidad y las principales variedades de maíz que actualmente se conocen, se clasifican dentro del género *Zea* de la familia de las gramíneas (Poaceae), dicha familia comprende de aproximadamente 600 géneros de las cuales dos son los más emparentados con el maíz (*Tripsacum* y *Zea*); además en esta familia también encontramos otros cultivos de importancia agrícola, como el trigo, arroz, caña de azúcar, por mencionar algunos (Doebley & Iltis, 1980; Galinat, 1988).

La demanda del grano de maíz en México es mayor que la producción nacional, por lo que desde hace ya varios años la balanza comercial del maíz en México ha sido deficitaria, de acuerdo al Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados (CEFP, 2007), en años recientes se ha incrementado la importación del maíz, principalmente de Estados Unidos, como consecuencia de los bajos niveles de rendimiento, la apertura comercial comprometida por tratados como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), además de factores estructurales internos como la falta de acceso al crédito por parte de los productores, la limitada infraestructura de riego, la concentración del mercado en muy pocas empresas privadas, la

insuficiente investigación científica y asesoría técnica en este campo, y las políticas y financiamientos insuficientes del Gobierno a este sector comparado con los que reciben los productores en países europeos y en Estados Unidos, principalmente.

También es evidente que de los ocho millones de hectáreas que se siembran para la producción de maíz en México, predomina en el 80% la siembra de maíces nativos (criollos); los maíces mejorados (híbridos) ocupan tan sólo 20% de la superficie total sembrada, pese a la difusión de estos materiales, ocupando áreas de riego en el noroeste de México o de buen temporal en Jalisco, principalmente. Los maíces nativos que se siembran en el 80 % de la superficie, se cultivan bajo condiciones de temporal o seco (SIAP, 2016), en terrenos con pendientes fuertes y con variantes del maíz adaptadas a condiciones ecológicas específicas del amplio mosaico de variantes ecológicas en el centro y sur del país. Los productores siembran los maíces criollos por varias razones, entre ellas las cuestiones económicas, ya que el grano de tales variedades puede lograr un sobreprecio si el productor accede a un mercado especializado; por otra parte, muchas de las variedades nativas generan numerosos productos, además del grano, para los que existen mercados importantes, como es el caso de las hojas de maíz (“totomoxtle”) que se utilizan para envolver los tamales (Hellin *et al.*, 2013) ya que en algunos casos los ingresos por estos productos pueden superar al obtenido por el grano. Esta situación obliga a plantear el trabajar sobre el complejo de diversidad genética constituido por las poblaciones nativas de cada condición ecológica por microrregión. Dichas poblaciones nativas de maíz han estado bajo el dinamismo que imprime la selección de semilla por los productores y los cambios del clima en su sitio de cultivo; es decir, están de manera permanente en proceso de evolución bajo domesticación, de tal modo que el acrecentamiento del potencial productivo y agronómico del patrimonio genético del maíz deberá basarse en la diversidad y variación del maíz en cada microrregión de manera participativa y en el sitio. En poblaciones individuales que constituyen solo una porción de la variación total, se mejora

de manera permanente haciendo selección fenotípica por parte de los productores en un proceso de evolución bajo domesticación, por lo que es esencial comprender los factores genéticos que contribuyen a la determinación de la extensa variación fenotípica y que permite la mejora continua en las poblaciones, satisfaciendo la demanda de la población humana y los cambios en las condiciones climáticas.

La variación genética en el maíz es la materia prima para el mejoramiento del cultivo, debido a que permite aprovechar y acrecentar las características de mayor interés, como rendimiento, calidad del grano, resistencia al estrés biótico o abiótico. De acuerdo a CONABIO (2010), la diversidad genética dentro de una determinada especie permite su evolución bajo condiciones cambiantes del ambiente y presiones de selección; así mismo, el conocimiento de la diversidad genética es indispensable para diversificar las fuentes de germoplasma, tratar de minimizar los riesgos de vulnerabilidad genética e incrementar las probabilidades de detectar alelos favorables, así como proponer técnicas de mejoramiento y de conservación adecuadas para cada nicho ecológico.

Se han desarrollado diversas metodologías para la cuantificación de la diversidad genética, con información de tipo morfológico, bioquímico, citogenético, molecular, siendo el de caracteres morfológicos el más ampliamente usado pese a algunas limitaciones; para mencionar algunos trabajos: Wellhausen *et al.* (1951), describen las razas de maíz de México; Herrera *et al.* (2004), desarrollan una investigación para evaluar la diversidad genética de un grupo de poblaciones de maíz de raza Chalqueño, recolectadas en el oriente del Estado de México; López *et al.* (2005) clasificaron 118 poblaciones de maíz de la raza Zapalote Chico en la región del Istmo de Tehuantepec; Hortelano *et al.* (2008), encontraron una amplia variabilidad morfológica entre los maíces nativos cultivados en el Valle de Puebla, entre otros trabajos. Uno de los propósitos de la agronomía ha sido la mejora de la productividad; por ello, Castillo *et al.* (2000) propusieron

algunas alternativas para acrecentar la productividad en poblaciones nativas manteniendo la diversidad genética: Encontrar variantes de poblaciones que muestren mayor rendimiento, aprovechar la variación entre plantas dentro de cualquier población nativa la cual se puede lograr haciendo selección masal, cruzamientos entre poblaciones nativas que se cultivan en regiones ecológicas similares, con poblaciones locales elegidas como probadores ya que indican efectos de heterosis hasta de 2 t/ha en rendimiento de grano.

La selección ha permitido aprovechar la variación de los atributos de interés de los cultivos en el mejoramiento genético, la cual consiste en elegir un grupo selecto de organismos de una población para que sean los progenitores de la siguiente generación. La selección es un procedimiento de mejoramiento genético que se ha aplicado por los primeros agricultores desde siglos, aunque de manera empírica, y en las últimas décadas, mediante procedimientos basados en métodos científicos y en los avances en el estudio de la genética y áreas afines, lo cual permite aprovechar de mejor manera los efectos genéticos aditivos. Para ello es importante tener información acerca de la magnitud de los componentes de varianza genética eso permite precisión en la selección de los mejores genotipos de la población, pues así se tiene un parámetro para la predicción de ganancia por selección: La heredabilidad.

La heredabilidad es el conocimiento de la contribución relativa de los genes a la variabilidad fenotípica de un carácter que se está considerando (Márquez, 1992). La heredabilidad en sentido amplio (H^2) se define como la proporción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética total: $H^2 = \sigma_g^2 / \sigma_f^2$

La heredabilidad en sentido estricto (h^2) es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética aditiva: $h^2 = \sigma_A^2 / \sigma_f^2$

La estimación de la heredabilidad de los caracteres es de gran importancia para la predicción de la respuesta a la selección (Nyquist and Baker, 1991), teniendo herramientas para diseñar métodos adecuados de mejoramiento genético. Bajo la consideración de estos antecedentes, es de vital importancia conocer de manera detallada la diversidad de los recursos genéticos, así como la valoración del potencial agronómico, lo cual permitirá realizar el aprovechamiento eficiente de ello, así como la conservación de los maíces locales en las condiciones de la agricultura tradicional. Por lo que este estudio se enfocó en una microrregión en el sureste del Edo. de Méx., donde prevalecen las siembras de maíz en condiciones de humedad residual, donde frecuentemente se debe depositar la semilla a gran profundidad para alcanzar la humedad disponible, lo que conlleva a bajos porcentajes de emergencia y densidad de población, siendo necesario la “resiembra”, lo que incrementa los costos de producción y afecta negativamente al rendimiento; a pesar de ello poco se ha estudiado e incorporado el vigor de la plántula a la emergencia en programas de mejoramiento en siembras profundas. En esta región, se presenta de manera notable el uso integral del cultivo de maíz, que consiste en la comercialización las brácteas de la mazorca (totomoxtle) las cuales se destinan principalmente como envoltura para tamales y puede ser económicamente equivalente a la producción de grano. Se han estudiado ampliamente las funciones fisiológicas del totomoxtle; sin embargo, se dispone de información limitada sobre el nivel de variación morfológica y su base genética en las poblaciones nativas.

El estado de México ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la producción de maíz para grano, con un rendimiento promedio de 4.4 t/ha, después de los estados de Sinaloa y Jalisco (SIAP, 2016); en la región SE del Estado de México se ha llevado a cabo selección participativa sobre los atributos de mazorca, grano y planta, con resultados prometedores (Zambrano, 2013) por lo que se propone ampliar los criterios de selección agregando el vigor en plántulas para garantizar la emergencia y las densidades de población, así como caracteres asociados a la producción de

totomoxtle, tomando en consideración que existe variación entre plantas dentro de las poblaciones; sin embargo, se dispone de información limitada sobre el nivel de la variación en las características del totomoxtle y el potencial de las variedades locales de maíz para la producción de brácteas aprovechables; por lo tanto, es necesario un estudio de la variación existente para cantidad en peso y número de brácteas (hojas de totomoxtle) y que puedan ser aprovechados para el mejoramiento de las poblaciones nativas, que les permita a los agricultores mantener las variedades locales y al mismo tiempo obtener un ingreso adicional a la venta del grano.

HIPÓTESIS

La variación genética entre familias de medios hermanos dentro de las poblaciones de maíz nativo es de significancia considerable para el vigor a la emergencia y atributos de la plántula.

El vigor de la plántula a la emergencia tiene efectos directos en la productividad del maíz establecido bajo el sistema de humedad residual.

La variación genética entre familias de medios hermanos dentro de las poblaciones de maíz nativo es de significancia considerable para el mejoramiento genético del rendimiento de grano y sus componentes, así como del rendimiento de totomoxtles aprovechables.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la variación genética en poblaciones nativas de maíz y con ello la factibilidad de identificar individuos con mayor potencial productivo y agronómico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Valorar la variación genética de características asociadas al vigor de la plántula a la emergencia, rendimiento de grano y totomoxtle

Estimar la heredabilidad para medias de familias y predecir su respuesta a la selección participativa en caracteres asociadas al vigor de la semilla, rendimiento de grano y totomoxtle

Estudiar la asociación del vigor de la plántula a la emergencia con la productividad en poblaciones nativas de maíz

LITERATURA CITADA

- Aguirre G. J. A., M. R. Bellon and M. Smale (2000)** A regional analysis of maize biological diversity in southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Botany* 54:60–72.
- Anderson, E., & Cutler, H. C. (1942).** Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69–86.
- Bellon M. R. and J. Hellin (2011)** Planting hybrids, keeping landraces: Agricultural modernization and tradition among small-scale maize farmers in Chiapas, Mexico. *World Development* 39:1434–1443, <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.12.010>
- Benz B. F. 1997.** Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología Mexicana* 5:16-23.
- Castillo F., E. Herrera, J. Romero, R. Ortega, M. Goodman y M. E. Smith (2000)** Diversidad genética del maíz y su aprovechamiento *in situ* a nivel regional. En: CIAT, editor, Fitomejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe. Mem. Simp. Internacional. Quito, Ecuador. Ago 31-Sep. 3. 1999. CIAT – Programa PRGA del CGIAR. Cali, Colombia. 7 p.
- CEFP, Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados (2007)** México: El mercado del maíz y la agroindustria de la tortilla. CEFP. pp. 0–19, <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042007.pdf>
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2010).** Proyecto FZ016: Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. 2.º etapa 2008-2009. informe final de actividades 2009-2010, pp. 1–44, https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8_ResultadosProyectos/FZ016/Chihuahua/Informe%20final/Inf%20Fin%20Chih_FZ016_050411.pdf

- Doebley J. F. and H. H. Iltis (1980)** Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A Subgeneric classification with key to taxa. *American Journal of Botany* 67:982–993, <http://doi.org/10.2307/2442441>
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization (2016)** Statistical databases and data-sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/es>. (mayo, 2018)
- Galinat W. C. (1988)** The origin of corn: In: G. F. Sprague, J. W. Dudley (eds) *Corn and Corn Improvement*. Agron. Monogr: 18. ASA, CSSA, SSSA, Madison WI, p. 1-31, <http://doi.org/10.2134/agronmonogr18.3ed.c1>
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, J. J. Sánchez-González, J. M. Hernández-Casillas, R. A. Ortega-Pazkca y M. M. Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191–206, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238207>
- Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet y D. Flores (2013)** La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:315–328, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029263007>
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C. y L. Córdova T. (2008)** Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189–200
- Kato T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Linhart Y. B. and M. C. Grant (1996)** Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. *Annual Review of Ecology Systematics* 27:237–277, <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.237>
- López-Romero G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez y H. Vaquera-Huerta (2005)** Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284–290.
- Márquez S., F. 1992** Genotecnia Vegetal. Tomo I. Métodos, Teoría, Resultados. AGT Ed. México, DF. 357 p.

- Matsuoka Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler and J. Doebley (2002)** A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:6080–6084, <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>
- Morris M. L. y M.A. López P. (2000)** Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 p.
- Piperno D. R., A. J. Ranere, I. Holst, J. Iriarte, and R. Dickau (2009)** Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:5019–5024, <http://doi.org/10.1073/pnas.0812525106>
- Ruiz C. J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. González E., J.B. Holland, and G. Medina G. (2008)** Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science* 48:1502–1512, <http://doi.org/10.2135/cropsci.2007.09.0518>
- Sanchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59.
- SIAP, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2007)** Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012, http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf (mayo 2018)
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (marzo de 2018)
- Wellhausen E., L. M. Roberts y E. Hernández X. en colaboración con P. C. Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución. *Folleto Técnico* No. 5. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México D.F. 237p.
- Zambrano Zambrano, E. E. (2013)** Valoración del mejoramiento genético Participativo in situ en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) Criollo en el sureste del estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 61 p.

CAPÍTULO I.- VIGOR DE PLÁNTULA A LA EMERGENCIA EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO

1.1.-RESUMEN

En el sureste del Edo. de México prevalecen las siembras de maíz en condiciones de humedad residual, para lo cual en muchas ocasiones se debe depositar la semilla a gran profundidad; con el propósito de conducir selección de manera participativa con productores locales y ampliar los criterios de selección tradicionales (mazorcas y semilla de buen tamaño y sanidad), es conveniente seleccionar para vigor de plántulas para garantizar la emergencia y las densidades de población. En siembra profunda, se requiere de fuerte elongación del mesocótilo - coleótilo, por lo que se plantea el estudio de la variación genética para caracteres asociados al vigor de plántulas a la emergencia en cuatro poblaciones locales de maíz de la raza Chalqueño representadas por 60 Familias de medios hermanos maternos por población, a las cuales se agregaron, 11 poblaciones de maíz de cajete de la Mixteca Oaxaqueña y como testigos tres híbridos locales y una población recombinante adaptada a valles altos, bajo el diseño de parcelas divididas en BCA con tres repeticiones; la evaluación se realizó bajo invernadero en cama de arena de río a una profundidad de siembra de 20 cm. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre poblaciones; la variación entre FMHM dentro de cada población para velocidad y porcentaje de emergencia fue significativa ($P \leq 0.01$) para todas las poblaciones; en las poblaciones de Marcelino y Pedro se presentó la mayor variación para longitud del mesocótilo; las poblaciones fueron superiores a los híbridos comerciales en la elongación del mesocótilo y en la capacidad de emergencia. La heredabilidad para medias de FMHM en las variables velocidad y porcentaje de emergencia así como porcentaje de plántulas normales osciló entre 0.51-0.77, 0.36-0.67, 0.21-0.56, respectivamente, la población de Pedro presentó los valores más altos de heredabilidad, 0.49 para longitud del mesocótilo y 0.67 para porcentaje de emergencia, con una respuesta a la selección de 5 % y de 13 % por ciclo, respectivamente. Se recomienda incorporar las variables asociadas al vigor a la emergencia en el programa de mejoramiento, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores manteniendo la diversidad genética.

Palabras clave: Variación genética, vigor a la emergencia, maíz nativo, maíz criollo, Chalqueño

CHAPTER I.- SEEDLING VIGOUR IN NATIVE MAIZE POPULATIONS IN THE SOUTH EAST OF THE STATE OF MÉXICO

1.2.-SUMMARY

In the Southeastern area of the State of Mexico, maize sowings prevails in conditions of residual moisture crop system and frequently seeds have to be set in great depth; with the purpose of carrying out participatory selection with local farmers and get a wider set of traditional selection criteria (ears and kernels of good size and health), it is convenient to do selection for seedling vigour to guarantee the emergence and appropriate population densities. In deep sowing, strong elongation of the mesocotyl - coleoptile is required, so the study of the genetic variation for characteristics associated with the emergency vigour in four local populations of maize of the Chalqueño race was carried out, each populations were represented by 60 maternal HSF, 11 populations from highland Oaxacan Mixteca region were added, and three commercial hybrids and an adapted recombinant maize population as checks, were evaluated under split plots in a RCB design, with three replicates and 25 seeds as experimental unit. Planting was under greenhouse conditions in a river sand bed and 20 cm planting depth. There were differences ($P \leq 0.01$) among repetitions and between populations. Variance among maternal HSF within each maize population for speed and percentage of seedling emergence was significant ($P \leq 0.01$) for all four populations; variance for mesocotyl length was more relevant for Marcelino and Pedro populations. Capability for emergence and elongation of mesocotyl was superior for native maize populations over commercial hybrids. Heritability for means of HSF for speed and emergency percentage and percentage of normal seedlings ranged from 0.51 to 0.77, 0.36 to 0.67, 0.21 to 0.56, respectively, where Pedro's population heritability for mesocotyl length was 0.49 and 0.67 for percentage of emergence, with a response to selection of 5% and 13% per cycle, respectively. These results support the fact that maize population density under residual moisture crop system could be improved by selection of seed vigor as selection criteria.

Keywords: Genetic variation, seedling vigour, native maize, Chalqueño

1.3.-INTRODUCCIÓN

La diversidad del maíz (*Zea mays* ssp.) ha sido de gran importancia en el aprovechamiento de atributos de interés y eventualmente han sido adaptados a condiciones agroclimáticas específicas (McMullen *et al.*, 2009), lo cual lleva a la mejora del cultivo. De acuerdo a Wellhausen *et al.* (1951) la variabilidad tan amplia del maíz es debida a factores como: la presencia de razas primitivas propias del lugar y variedades exóticas que intercambian polen con el maíz de forma natural y con progenies viables, la geografía del territorio mexicano también favorece a la diversidad del maíz. Por su parte Ortega (2003) menciona que dicha diversidad es resultado de los diferentes usos tradicionales del maíz y la diversidad cultural, así como por el tipo de reproducción de las plantas (polinización cruzada), la siembra del maíz en amplias condiciones de ambientes naturales y agroecosistemas, además del uso culinario de las razas y al precio de éstas en el mercado (Castillo *et al.*, 2000; Vargas, 2007) todos ellos son factores que determinan la gran diversidad actual de las poblaciones nativas y su dinámica.

La diversidad y variabilidad genética de maíz representa un recurso de gran importancia para el incremento del rendimiento y producción con el fin de satisfacer la demanda de una población creciente del país y del mundo. Por lo tanto, para planear y proponer estrategias de conservación, es necesario llevar a cabo estudios adecuados de las poblaciones y razas, y para el uso eficiente del germoplasma es importante evaluar el potencial agronómico y conocer a profundidad la base de la diversidad en los maíces nativos. En base a ello se han realizado diversos estudios sobre la diversidad del maíz en México bajo diferentes metodologías, desde la valoración morfológica hasta el polimorfismo molecular, reportándose un total de 59 razas en el país (Sanchez *et al.*, 2000).

La variación genética del maíz va más allá de la diversidad de razas, es decir aún falta por estudiar la variación entre y dentro de poblaciones ya que en un estudio realizado por López-Romero *et al.* (2005) encontraron que el 88 % de la variación se presenta dentro de cada población y de acuerdo con Perales *et al.* (2005) la diversidad dentro de las poblaciones y su distribución geográfica está asociada a las condiciones agroecológicas, lo cual es amplio y diverso. En este sentido se reportan algunos trabajos con el enfoque de estudiar diversidad del maíz a nivel micro regional (Romero *et al.*, 2002; Herrera-Cabrera *et al.*, 2004), en los que ha involucrado un número mayor de muestras, generando información de patrones de diversidad genética.

La región del sureste del Estado de México es una de las regiones agrícolas en la cual prevalecen las siembras bajo el sistema de humedad residual, donde el establecimiento y desarrollo inicial del cultivo depende principalmente del agua almacenada en el suelo antes de la siembra, el cual es posible gracias al tipo de suelo profundo y arenoso propio de la región, que permite el arroje de la humedad (CIMMYT, 1974); además de una preparación adecuada del terreno por parte de los agricultores, como es la cosecha adelantada y el amogotamiento de las plantas del maíz para un rastreo inmediato del terreno, evitando así que se libere la humedad del suelo.

En esta región la cantidad de lluvias es de aproximadamente 800 a 1500 milímetros anuales, aunque generalmente el periodo de lluvias se interrumpe por la canícula o sequía intraestival en los meses de julio y agosto (Arellano y Carballo, 1981). Es frecuente que los agricultores tengan que depositar las semillas a una profundidad de siembra mayor a 20 cm o hasta encontrar el suelo con la humedad suficiente para la germinación de la semilla, de modo que, de acuerdo a Elmore *et al.* (2014), la semilla alcance el 30 % de humedad respecto a su peso total para germinar; cuando la humedad es escasa puede conllevar a bajo porcentaje de emergencia y consecuentemente, una baja densidad de población, por lo que los agricultores se ven obligados a “resembrar” lo que incrementa los costos de producción y afecta negativamente al rendimiento. Aunque las poblaciones locales

han pasado por un proceso de selección histórico por parte de los agricultores y el ambiente, es importante realizar estudios más precisos y estimar la respuesta a la selección con el aprovechamiento de la variación genética para la capacidad de emergencia de las plántulas entre y dentro de las poblaciones nativas.

Diversos factores participan para la buena germinación y emergencia de las plántulas a la siembra profunda, como son humedad, aireación y temperatura (Elmore *et al.*, 2014), así como el vigor de la semilla ya que determina la uniformidad y la velocidad de la emergencia en un rango amplio de condiciones de campo (Rajjou *et al.*, 2012). El vigor está relacionado, entre otras características por el contenido de almidón, proteína y tamaño de la semillas (Ries & Everson, 1973; Wen *et al.*, 2018), con la capacidad de elongación del mesocótilo y coleótilo (Delouche y Baskin, 1973; Pérez *et al.*, 2007). Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquéllas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 1995).

Las empresas semilleras y dependencias responsables de regular la comercialización de las semillas usan el vigor como parámetro de calidad dado que un lote de semillas de alto vigor producirá plántulas normales y con tasas apropiadas de crecimiento, por lo que la mayoría de los estudios, están enfocados a la calidad de los lotes de semillas (características estructurales) con el interés de prevenir que las semillas no se deterioren en el almacenamiento, a través del tiempo, así como para determinar el comportamiento de los lotes de semilla cuando las condiciones del ambiente no son favorables; por mencionar algunos trabajos, Pérez *et al.* (2007) realizaron un estudio de vigor mediante dos técnicas, en 28 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño y valorando la correlación con el rendimiento final, en dicho trabajo encontraron que las poblaciones originarias del valle de Chalco presentaron mejor vigor y una correlación positiva con el rendimiento de grano; en otro estudio para determinar el efecto de la época de cosecha en el vigor

de las semillas de maíz Tadeo- Robledo *et al.* (2010) evaluaron la productividad de cuatro variedades de maíz amarillo de ciclo precoz, cosechados en épocas diferentes y clasificados por tamaño de semillas (mayor y menor a 7 mm), donde concluyeron que el mejor rendimiento de grano se obtuvo a la cosecha de 149, 152 y 156 días después de siembra y no encontraron diferencias significativas en el vigor entre las variedades evaluadas. En un estudio de efectos genéticos para caracteres de vigor de semilla y plántulas en líneas endogámicas de maíz tropical, Cervantes *et al.* (2006) evaluaron el vigor en camas de siembra y en laboratorio, con la técnica de envejecimiento acelerado, germinación estándar y prueba de conductividad eléctrica; encontraron que para vigor inicial de plántula los efectos aditivos tienen mayor relevancia indicando que es factible mejorar el vigor a través de la selección con base en la heredabilidad estimada de 0.35. Esquivel *et al.* (2009) encontraron patrones heteróticos sobresalientes en etapas tempranas del desarrollo del maíz en poblaciones de la raza Chalqueño. Por su parte Han *et al.* (2014), en un estudio de polimorfismo con marcadores moleculares de un solo nucleótido en líneas endogámicas derivadas de la recombinación de dos poblaciones y cuatro atributos relacionados con el vigor de la semilla, mencionan que el vigor de las semillas mantiene una asociación con más de 60 QTL's.

El vigor de la semilla para germinar y emerger es un carácter de gran importancia por lo que se debe incorporar en la selección y mejoramiento genético, en especial en poblaciones que se establecen bajo el sistema de humedad residual. Dado que la variación para este carácter está determinada en gran medida por efectos genéticos aditivos, resulta relevante evaluar la posibilidad de mejorar por selección la capacidad de emergencia, aprovechando la variación entre FMHM, con el fin de reducir los problemas asociados con las bajas densidades de población, con el tamaño de muestra considerable para la obtención de información confiable, que permita proponer un esquema de aprovechamiento.

1.4.-OBJETIVOS

Se plantea como objetivo, estudiar la variación genética y estimar la respuesta esperada a la selección participativa, en caracteres asociados al vigor de plántulas a la emergencia, en una estructura de familias dentro de poblaciones de maíz nativo del Sureste del Estado de México.

1.5.-HIPÓTESIS

La variación genética entre familias de medios hermanos dentro de las poblaciones de maíz nativo es de significancia considerable para el vigor de emergencia y atributos de plántula.

1.6.-MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio se incluyeron cuatro poblaciones de maíz nativo del Sureste del Estado de México de la raza Chalqueño, cada una de las poblaciones fueron representadas por 60 Familias de Medios Hermanos Maternos (FMHM), provenientes del ciclo primavera – verano 2016; en tales poblaciones se han venido seleccionando semillas bajo la técnica de selección masal estratificada de manera participativa por el programa de mejoramiento de maíz del Colegio de Postgraduados; se agregaron once poblaciones que se siembran en la modalidad de tipo cajete de la Región Mixteca Alta en el Estado de Oaxaca. Estos maíces, así como las poblaciones del SE del Edo. de Méx., han sido sometidos a un proceso histórico de selección por los agricultores debido a las condiciones limitantes de precipitación y el tipo de suelo. De acuerdo con Muñoz (2003), los maíces de cajete son sembrados antes de la llegada de las lluvias en un agujero en forma de cajete sobre los surcos (de donde proviene el nombre) y al fondo del cajete son depositadas las semillas hasta encontrar humedad; tales poblaciones constituyen un conjunto de variedades de diferente precocidad desde los ultra tardíos, hasta los más precoces (Muñoz, 2002). Como testigos, se incorporaron tres

híbridos comerciales y una población recombinante adaptada a los valles altos con propósitos de aprovechamiento forrajero (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Material Genético y su Origen geográfico

Material genético	Tipo	Origen
Marcelino C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Pedro C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Juchitepec, Edo. Méx.
Manuel M. O. (60 FMHM)	Chalqueño Azul	Poxtla, Ayapango, Edo. Méx.
Enrique H. (60 FMHM)	Chalqueño “Palomo”	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Alto sierra norte Puebla	población recombinante	Sierra Norte de Puebla
Esteban López Jiménez	maíz de cajete, Blanco	Santa María Nduayaco, Oax.
Guillermo P. P.	maíz de cajete, Amarillo	Santiago Apoala, Oax.
Guadalupe B. R.	maíz de cajete	San Martín Huamelulpan, Oax.
Ignacio H. C. (original),	maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Crecenciano J. C.	maíz de cajete, Blanco	Santiago Apoala, Oax.
Leobardo H. C.	maíz de cajete	Sto. Domingo Yanhuitlán, Oax.
Ignacio H. C. (versión 2)	maíz de cajete	Sto. Domingo Yanhuitlán, Oax..
Casimiro H. C.	maíz de cajete	Sto. Domingo Yanhuitlán, Oax.
Joel Misael J. P.	maíz de cajete, Rojo	Santiago Apoala, Oax.
Juan P. A.	maíz de cajete, Azul	Santa María Nduayaco, Oax.
Paola R. J.	maíz de cajete, Grueso	Santiago Apoala, Oax.
H-40	Híbrido	INIFAP
H-159	Híbrido	INIFAP
H-161	Híbrido	INIFAP

1.6.1.-Ubicación del experimento

El experimento se estableció en camas de arena bajo invernadero en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Municipio de Texcoco, Edo. de México, con las coordenadas: 19° 29' de latitud Norte y 98° 53' de longitud oeste, a 2 250 msnm.

El diseño experimental fue un arreglo de parcelas divididas con bloques completos al azar, en tres repeticiones, cada parcela grande corresponde a población y la parcela chica fue la FMHM, representados por 25 semillas en cada unidad experimental

1.6.2.-Conducción del experimento

Se estableció en cama de siembra tipo almácigo con arena de río como sustrato, previamente cernido con una malla de perforaciones de 2 mm por lado; las dimensiones fueron de 6 m de largo con 2.5 m de ancho y altura de 0.40 m. La siembra se realizó sobre una primera capa de 20 cm de arena a una distancia de 4.5 cm entre plantas y entre surcos, todas las semillas se colocaron con el ápice hacia abajo, al terminar se colocó la segunda capa de arena (20 cm), asegurando la profundidad de siembra a 20 cm. Cada repetición se estableció en fechas de siembra diferentes: 25 de mayo, 2 de junio y 22 de junio del 2017, respectivamente, debido al tamaño del experimento y a la alta demanda de espacio y mano de obra al momento de la extracción de las plántulas y toma de datos. El manejo agronómico del experimento fue homogéneo, bajo condiciones naturales del invernadero, sin control de temperatura; después del primer riego a saturación, que se realizó inmediatamente después de la siembra, se aplicaron riegos cuando la plántula lo requería. Se registró la frecuencia de la emergencia en cada unidad experimental diariamente, a partir de la primera plántula sobre la superficie de la cama de siembra. La extracción de la plántula para la medición de variables (Cuadro 1.2) se realizó al alcanzar la etapa de segunda hoja ligulada (aprox. 15 a 17 dds) y de forma aleatoria se muestrearon 10 plántulas por unidad experimental.

Cuadro 1.2.- Variables asociados a vigor de plántula a la emergencia registradas durante el desarrollo del experimento y en la extracción de las plántulas

Variables	Unidad	Descripción
PEMER	%	Porcentaje de emergencia: Relación de plántulas que alcanzaron la emergencia al final de la prueba respecto al número de semillas sembradas por unidad experimental. PEMER= [(Número de plántulas emergidas) /25)] x 100
LMES	cm	Longitud del mesocótilo: Extensión desde la unión con la semilla hasta la base del coleóptilo
LCOL	cm	Longitud del coleóptilo: Extensión desde la base del coleóptilo hasta su ápice.
LPA	cm	Longitud de la Parte aérea: Extensión a partir de la base del mesocótilo hasta el ápice de la hoja más larga.
PPA	%	Porcentaje de plántulas anormales: Porcentaje de plántulas que presentaron alguna malformación en cualquiera de sus estructuras (raíz, tallo y hojas)
PPN	%	Porcentaje de plántulas normales: Porcentaje de plántulas que no presentaron alguna malformación en cualquiera de sus estructuras (raíz, tallo y hojas)
PSMES	mg	Peso seco del mesocótilo: Peso total de secado del mesocótilo después de 72 h a 72 °C dentro de una estufa.
VE		Velocidad de emergencia: Consiste en hacer los conteos de las plántulas emergidas en los días subsecuentes a la aparición de la primera plántula (Maguire, 1962) $VE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{N_i} \right)$
		Dónde: X_i = Número de plántulas emergidas al i-ésimo día. N_i = Número de días después de la siembra hasta el i-ésimo día.

1.6.3.-Análisis Estadísticos

Considerando al diseño experimental que fue un arreglo de parcelas divididas con bloques completos al azar, en tres repeticiones, cada unidad experimental constó de 25 semillas del cual se muestrearon 10 plántulas de forma aleatoria para el análisis de los datos. Con los promedios por cada unidad experimental para cada una de las variables se realizó un análisis de Varianza utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 2013). La estimación de los componentes de varianza dentro de cada población se obtuvo a partir de igualar los cuadrados con las esperanzas del cuadrado medio (ECM), con base al modelo que se presenta en el Cuadro 1.3; Se estimó la heredabilidad para medias de familias de FMHM, se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para poblaciones y se realizó un análisis de correlación de Pearson, con el objetivo de observar posibles relaciones entre las variables evaluadas.

Cuadro 1.3.- Modelo del cuadro de análisis de varianza para una población y sus FMHM con las esperanzas de los cuadrados medios

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Esperanzas de cuadrados medios
Repeticiones	r-1	CMr	
Familias	f-1	CMf	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fshm}^2$
Error Exp.	(f-1) (r-1)	CMe	σ_e^2
Total	Fr-1		

Con la consideración de las esperanzas de los cuadrados medios, la estimación de la variación entre familias de medios hermanos será equivalente a un cuarto de la varianza genética aditiva (σ_A^2) dado que el nivel de endogamia de la población es cero:

$$\sigma_{FMHM}^2 = COV(MH) = \frac{1}{4}\sigma_A^2 + \frac{1}{16}\sigma_{AA}^2 + \frac{1}{64}\sigma_{AAA}^2 + \dots$$

1.6.4.-Modelo General

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + F_k(P)_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = Observación de la i-ésima familia de la j-ésima repetición; μ = Media general; R_i = Efecto de la i-ésima repetición; $F(P)_{ij}$ = Efecto anidado de la k-ésima Familia en la j-ésima población; ϵ_{ijk} = Error experimental.

Componentes de Varianza genética para familias:

$\sigma_{fmh}^2 = \frac{CM_{fmh} - CM_e}{r}$, Donde: CM_{fmh} = Cuadrado medio de familias; CM_e = Cuadrado medio del Error; r= número de repeticiones.

Varianza fenotípica para medias de familias de MHM:

$\sigma_F^2 = \frac{CM_{fmh}}{r}$, Donde: CM_{fmh} = Cuadrado medio de familias; r= número de repeticiones

Heredabilidad para medias de familias:

$h_{fmh}^2 = \frac{\sigma_{fmh(i)}^2}{\sigma_F^2}$, Donde; $\sigma_{fmh(i)}^2$ = Componente de Varianza de familias; σ_F^2 = Varianza fenotípica para medias de familias.

La respuesta a la selección estimada para variables asociadas a vigor de plántulas con medias de familias se obtendrá de la siguiente manera:

$\Delta_G = K \frac{\sigma_A^2}{\sigma_p}$, Donde: Δ_G = Avance genético; σ_{fmh}^2 = varianza de familias; σ_F^2 = desviación típica de la varianza fenotípica para medias de familias; K= diferencial de selección estandarizado.

1.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hubo diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre las repeticiones para todas las variables evaluadas, con excepción de la variable LCOL (Cuadro 1.4), dicho efecto de variación es atribuible a las diferencias en las fechas de establecimiento de cada repetición que está asociado a los cambios ambientales, de temperatura y humedad, principalmente; las diferencias muestran que los genotipos tienen una respuesta a cada ambiente, mientras que la longitud del coleóptilo no fue afectado por el ambiente. La variación entre poblaciones fue significativa ($P \leq 0.01$); aunque se incluyen las poblaciones testigos para todas las variables, se infiere la existencia de una gran variabilidad genética tanto entre las poblaciones de maíz del SE del Estado de México para la mayoría de los rasgos bajo estudio, como con respecto a los grupos de materiales de la Mixteca Oaxaqueña y a los testigos comerciales.

La variación entre FMHM dentro de cada población de manera general, fue significativa ($P \leq 0.01$) para todas las variables, con excepción del PPA y el PSMES (Cuadro 1.4), lo que indica la relevancia de la variación genética dentro de cada población, al grado de permitir la consideración de familias de medios hermanos; estos resultados son similares a los obtenidos por Adebisi *et al.* (2014) para caracteres asociados al vigor de semillas y plántulas en líneas endogámicas de maíz tropical.

De manera específica para cada población, las variables VE, PEMER y PPN presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre FMHM dentro de cada población, algo semejante ocurrió para la variable LPA con excepción de la población de Enrique (Chalqueño tipo palomo) y el grupo de testigos. Es decir, existen familias que presentan buena capacidad de emergencia en pruebas de siembra profunda; lo cual muestra resultados similares a Mehdi *et al.* (2001) quienes evaluaron el vigor de semillas en familias S_1 de maíz bajo condiciones de estrés.

Para la variable LMES se presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre FMHM en las poblaciones de Marcelino, Pedro y los testigos, por lo que se infiere la posibilidad de mejorar la capacidad de emergencia en dichas poblaciones por selección de las mejores familias y descartar a las de pobre comportamiento promedio, ya que de acuerdo con Esquivel *et al.*, (2009) el desarrollo del mesocótilo es determinante en la capacidad de emergencia de un genotipo, en un estudio de un esquema de cruzamientos entre poblaciones de la raza Chalqueño, donde reportan que los efectos aditivos son más importantes que los efectos de interacción para variables asociadas a la emergencia temprana.

El coeficiente de variación (Cuadro 1.4) se considera aceptable para todas las variables, con excepción de la variable PPA que fue de alta magnitud, el cual se debió a que las poblaciones presentan muy baja frecuencia de plantas anormales debido a que han pasado por un proceso de selección por parte de los productores y por las condiciones en las que se establecen dichos cultivos.

Cuadro 1.4- Cuadrados medios de los análisis de variación para variables asociados al vigor de plántulas en la evaluación de FMHM en cuatro poblaciones de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2017

Fuente	GL	LMES	LCOL	LPA	PPA	VE	PEMER	PSMES	PPN
REP	2	128.79 **	0.73 ns	1344.64 **	1648.10 **	498.89 **	2929.97 **	2236709.25 **	7560.62 **
POBN	4	51.65 **	1.21 **	171.73 **	527.84 **	138.37 **	3007.26 **	1131852.82 **	3736.91 **
FMH(POBN)	250	1.41 **	0.43 **	8.86 **	37.17 ns	7.24 **	195.06 **	109058.13 ns	248.209 **
FMHM(Enrique)	59	0.74 ns	0.21 ns	5.72 ns	40.54 *	4.87 **	116.00 **	106574.47 ns	206.054 *
FMHM(Marcelino)	59	0.98 **	0.45 ns	10.18 **	32.60 ns	5.16 **	151.03 **	78760.17 ns	231.812 **
FMHM(Manuel)	59	0.78 ns	0.51 *	8.17 **	12.93 ns	6.38 **	130.61 **	129360.15 ns	171.634 **
FMHM(Pedro)	59	1.79 **	0.52 **	12.08 **	39.96 ns	10.35 **	219.93 **	119206.90 ns	309.493 **
Testigos	14	7.08 **	0.46 *	6.15 ns	133.49 ns	16.41 **	880.66 **	113687.72 ns	867.102 **
Error	496	0.91	0.29	6.34	36.21	2.39	73.67	115676.15	136.03
C. V. (%)		6.28	10.49	9.75	172.25	15.41	9.60	31.96	13.4899

** = significancia $P \leq 0.01$; * = Significancia $P \leq 0.05$; ns = no significativo; C. V. = Coeficiente de variación; GL = Grados de libertad; REP = repeticiones; POBN = poblaciones; LMES = Longitud del mesocótilo; LCOL = Longitud del coleóptilo; LPA = Longitud de la parte aérea; PPA = porcentaje de plántulas anormales; VE = Velocidad de emergencia; PEMER = porcentaje de emergencia; PSMES = peso seco del mesocótilo; PPN = Porcentaje de plántulas normales.

Los coeficientes de correlación con las medias de poblaciones muestran relaciones significativas (Cuadro 1.5) entre las variables LMES y el PEMER lo cual muestra que el desarrollo del mesocótilo es un factor importante para la buena emergencia de las plántulas, como afirman Pérez *et al.* (2007) y Esquivel *et al.* (2009); semejante relación y explicación ocurre entre las variables PEMER y PSMES. Se mostró una correlación negativa significativa para las variables LMES y LCOL entendiendo que a mayor longitud del mesocótilo menor será la longitud del coleóptilo y viceversa; de acuerdo con Elmore *et al.* (2014), la longitud del mesocótilo es la estructura que principalmente varía debido a las diferentes profundidades de siembra y tipo de suelo; la variable PPA presentó una relación negativa importante con las variables VE, PEMER, PEMES, indicando que la presencia de números altos de plántulas anormales reduce el porcentaje de plántulas emergidas; por lo tanto, la variable PPA es importante en relación inversa a la expresión del vigor de las plántulas.

Cuadro 1.5.- Coeficientes de correlación y significancia estadística de las variables en la prueba de vigor para cuatro poblaciones y los testigos. Montecillo, Edo. México, 2017

	LCOL	LPA	PPA	VE	PEMER	PSMES	PPN
LMES	-0.074 *	-0.267 **	-0.081 *	-0.137 **	0.114 **	0.144 **	0.043 ns
LCOL	1	0.095 **	0.142 **	-0.136 **	-0.068 ns	-0.027 ns	-0.126 **
LPA		1	-0.181 **	0.391 **	0.270 **	-0.055 *	0.259 **
PPA			1	-0.526 **	-0.577 **	-0.083 *	-0.756 **
VE				1	0.790 **	0.058 ns	0.775 **
PEMER					1	0.127 **	0.940 **
PSMES						1	0.105 **

** = significancia 0.01; *= Significancia al 0.05; ns = no significativo; LMES = Longitud del mesocótilo (cm); LCOL = Longitud del coleóptilo (cm); LPA = Longitud de la parte aérea (cm); PPA = porcentaje de plántulas anormales (%); VE = Velocidad de emergencia; PEMER = porcentaje de emergencia (%); PSMES = peso seco del mesocótilo (mg); PPN = Porcentaje de plántulas normales (%).

1.7.1.- Comparación de medias por población para variables asociadas al vigor de plántulas a la emergencia en poblaciones del SE del Edo. de México y los testigos

De acuerdo a la comparación de medias entre las poblaciones y los testigos para variables asociadas al vigor de plántulas a la emergencia (Cuadro 1.6), los testigos presentaron menor crecimiento del mesocótilo con 13.8 cm, inferior entre 0.8 y 1.8 cm con respecto a las poblaciones del SE del Estado de México. Esto da como resultado un mayor número de plantas anormales (de 5.8 a 7.5 %), con deformaciones principalmente en la plúmula y raíz, así como menor porcentaje de emergencia (de 12.4 a 17.6 %) comparado con las poblaciones en estudio, donde las poblaciones de Marcelino y Manuel presentaron el mejor porcentaje de emergencia con 93 % y 90 %, respectivamente. Esto puede explicar el por qué los agricultores no adoptan a los híbridos de maíz, pues en general se observa superioridad significativa de las poblaciones nativas sobre los testigos

Cuadro 1.6.- Comparación de medias por población para variables asociadas al vigor de plántula a la emergencia en poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017

Variables	Marcelino	Manuel	Pedro	Enrique	Testigos	DSH (0.05)
LMES	15.62 a	15.54 a	15.50 a	14.62 b	13.86 c	0.35
LCOL	5.15 a	5.06 b	5.28 a	5.14 a	5.03 b	0.19
LPA	26.58 a	25.88 a	25.62 b	26.12 a	22.29 c	0.92
PPA	2.85 b	2.12 b	3.61 b	3.84 b	9.60 a	2.20
VE	10.39 a	10.77 a	8.95 b	10.51 a	8.04 c	0.56
PEMER	93.02 a	90.73 a	87.76 b	89.67 b	75.38 c	3.13
PSMES	1103.80 a	1000.70 b	1155.80 a	1055.40 a	833.64 c	125.6
PPN	90.15 a	88.52 a	84.60 b	85.89 a	72.38 c	4.35

*Medias con la misma letra en hilera son estadísticamente iguales; LMES = Longitud del mesocótilo (cm); LCOL = Longitud del coleótilo (cm); LPA = Longitud de la parte aérea (cm); PPA = porcentaje de plántulas anormales (%); VE = Velocidad de emergencia (#); PEMER = porcentaje de emergencia (%); PSMES = peso seco del mesocótilo de 10 plántulas (mg); PPN = Porcentaje de plántulas normales (%).

1.7.2.- Variación entre familias de medios hermanos maternos para variables con mayor influencia en la expresión de vigor de plántulas a la emergencia

La variación genética entre las Familias de MHM dentro de las poblaciones se muestra de manera gráfica al trazar la distribución normal determinada por los parámetros de la media y desviación estándar por población. Considerando las variables con mayor influencia sobre el vigor de las plántulas, la variable LMES que para la mayoría de las familias presentó longitud mayor a 15 cm (Figura 1.1) como resultado del proceso de selección al que dichas poblaciones han estado sometidas por el manejo de los productores y por las condiciones del ambiente a través de los años; en contra parte, las poblaciones testigos presentaron menor longitud del mesocótilo y como consecuencia, un menor porcentaje de emergencia y densidad de población al someterlos a alta profundidad de siembra. De las poblaciones nativas, la de Enrique (tipo palomo) que presenta endospermo semi-harinoso, tiende a presentar menor longitud que las otras.

La variable longitud de la parte aérea presentó un promedio general de 25.83 cm en todas las poblaciones; resalta la población de Marcelino con una frecuencia alta de familias con 30 o más cm (Figura 1.2); de igual manera para la variable porcentaje de emergencia, esa población también presentó la mayor frecuencia de familias con un porcentaje de emergencia de entre 90 a 100% (Figura 1.3); la media de VE fue de 10 plantas por día (Figura 1.4). La variación que se muestra gráficamente dentro de cada población, permite percibir la posibilidad de aplicar selección favoreciendo a las familias de mejor comportamiento, con valores superiores a la media poblacional o bien considerando una presión de selección para mejorar el vigor en cada una de las poblaciones; puesto que la variación entre familias dentro de poblaciones está determinada por variación genética, la cual es significativa para vigor a la emergencia, situaciones similares reportan Pérez et al. (2007), específicamente al comparar poblaciones de la raza Chalqueño, así como

Esquivel et al. (2009) que estimaron variación aditiva significativa en un estudio de cruzamientos entre poblaciones de la raza Chalqueño con origen geográfico distinto, en los que también observaron heterosis relevante para vigor inicial del maíz.

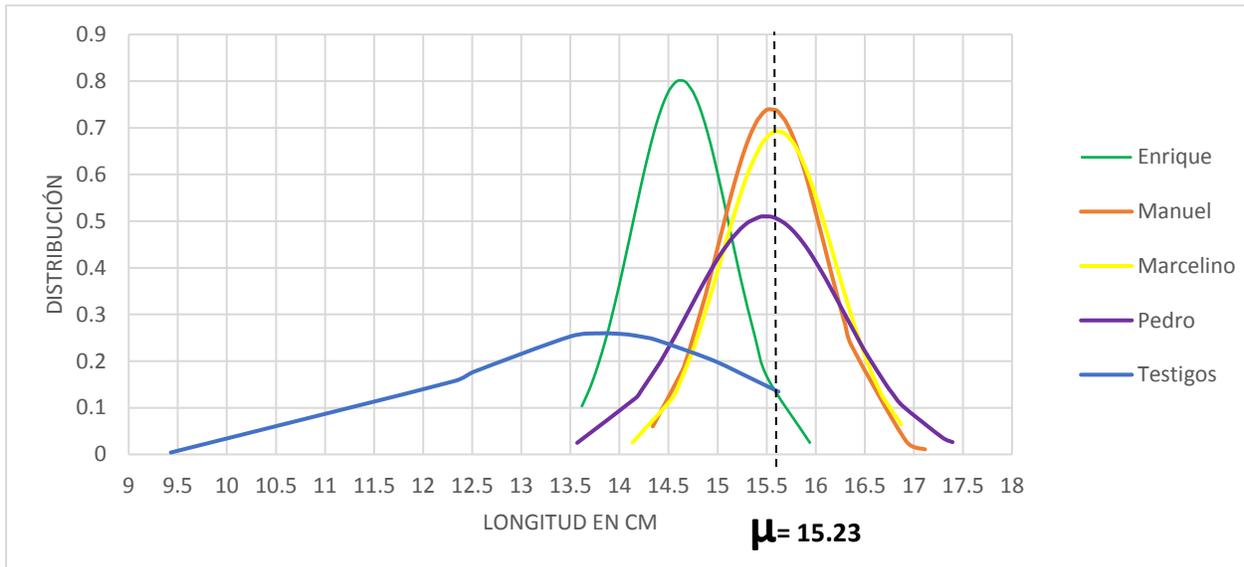


Figura 1.1.- Longitud del mesocótilo en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017

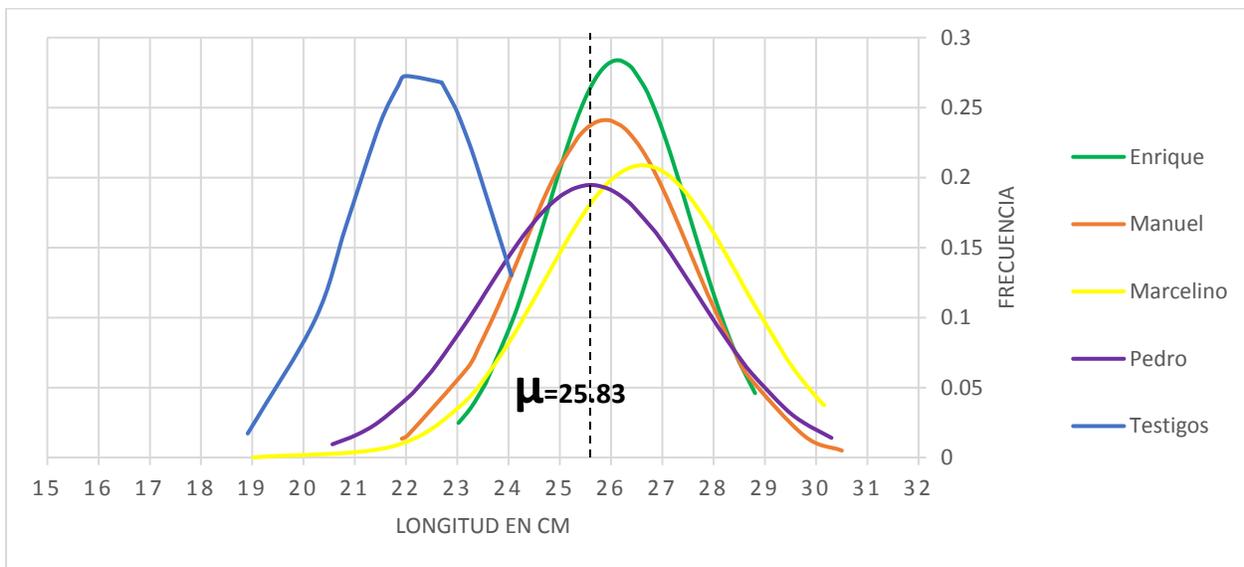


Figura 1.2.- Longitud de la parte aérea en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017

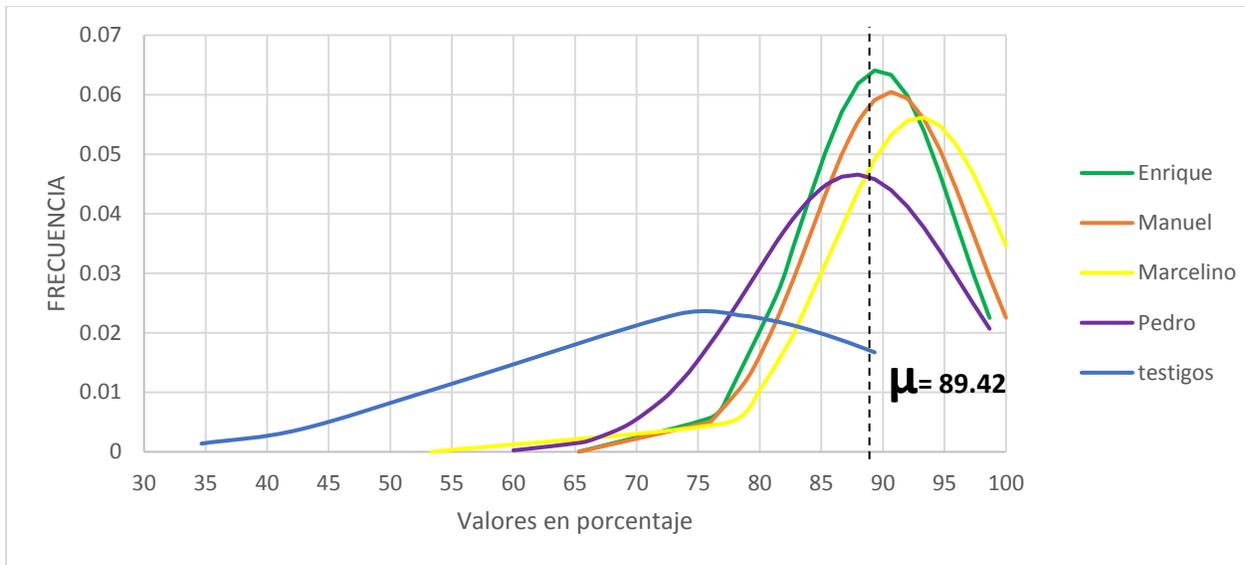


Figura 1.3.- Porcentaje de emergencia en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017

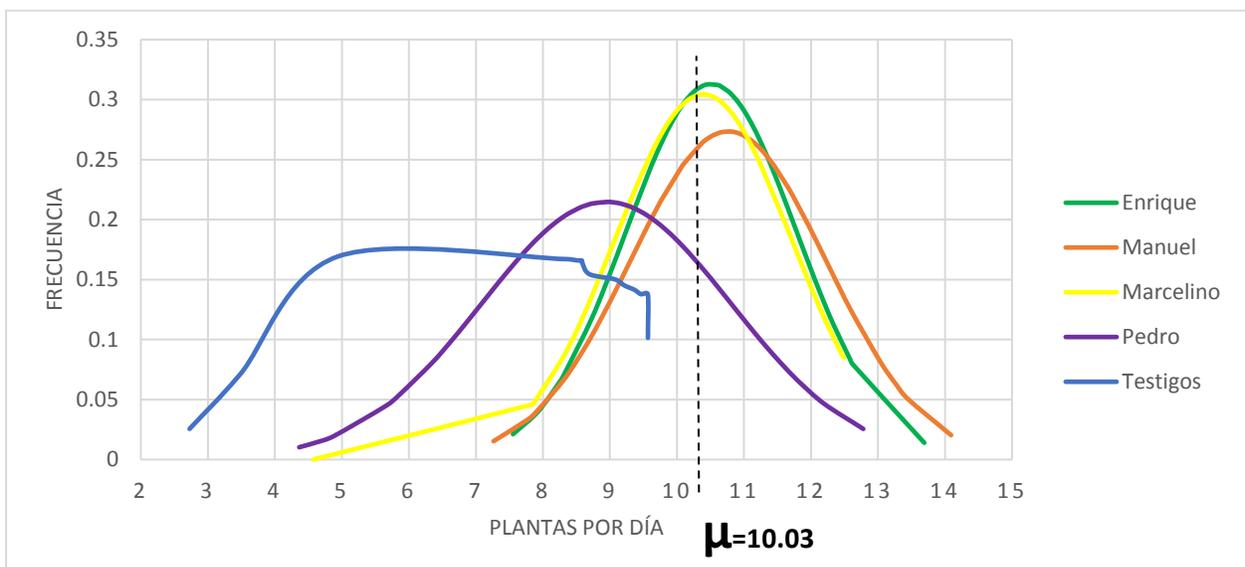
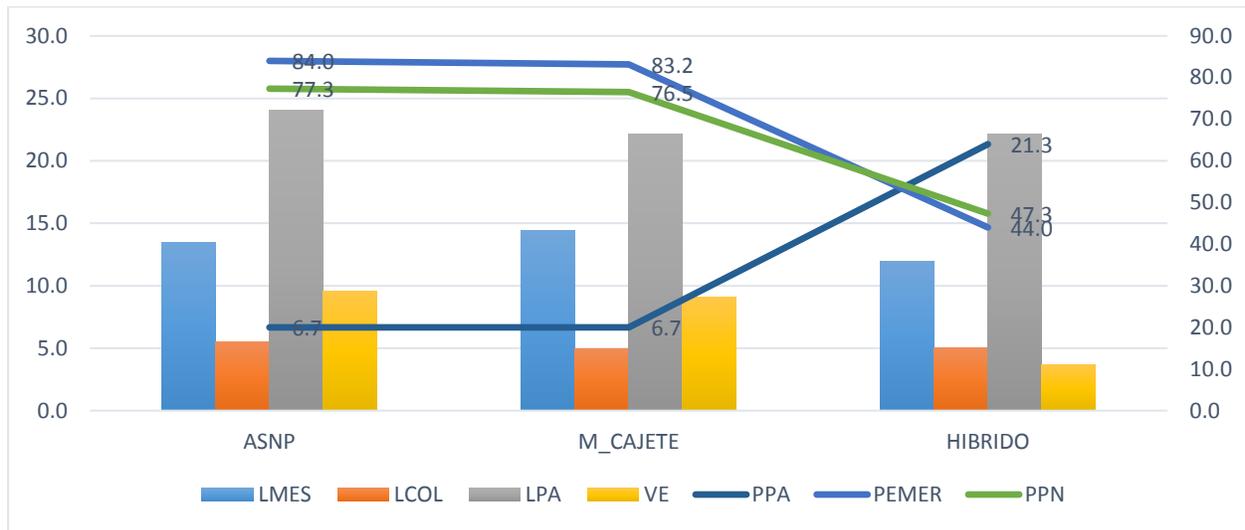


Figura 1.4.- Velocidad de emergencia en FMHM de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, 2017

1.7.3.- Variación entre las poblaciones testigos para variables asociadas al vigor de la plántula a la emergencia

En la Figura 1.5 se presenta el comportamiento de las poblaciones testigos a la siembra profunda: se muestra gráficamente el promedio de la población recombinante, el de los once representantes de maíz de cajete y el de los tres híbridos, respectivamente. Se observa la superioridad de las poblaciones de maíz de siembra en cajete y la población recombinante, con respecto a los materiales híbridos para todas las variables en estudio. El porcentaje de emergencia fue de tan solo 44 % para los híbridos y de 86 % en las poblaciones de cajete; dichas diferencias se atribuyen al proceso de selección realizado por los agricultores debido al sistema de siembra, el cual consiste en cavar orificios en forma de cajete en el fondo de los surcos donde se colocan las semillas hasta la profundidad en que se encuentre la humedad suficiente para la germinación y emergencia de modo que el cultivo se establezca antes de la llegada de lluvias. Es evidente por qué los agricultores no siembran híbridos, pues los maíces de cajete, al igual que los Chalqueños del sureste del Estado de México, presentan mejor capacidad para alargar el mesocótilo, lo que permite mejor velocidad de emergencia, hasta por el doble de porcentaje de emergencia y plántulas normales con respecto a los híbridos.

Figura 1.5. Comparación de poblaciones testigos para variables asociados al vigor de plántula a la emergencia. Montecillo, 2017



LMES = longitud de mesocótilo (cm); LCOL = longitud de coleóptilo (cm); LPA = longitud de la parte aérea (cm); VE = velocidad de emergencia; PPA = porcentaje de plántulas anormales; PEMER = Porcentaje de emergencia; PPN = Porcentaje de plántulas normales.

1.7.4.- Estimación de la heredabilidad para medias de FMHM en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del estado de México

La heredabilidad para medias de familias para las variables asociadas al vigor de plántula se presenta en el Cuadro 1.7; en algunos casos se obtuvieron valores negativos en la estimación de los componentes de varianzas debido a que el cuadrado medio de familias fue menor al del error experimental, por lo que las varianzas entre familias fueron consideradas igual a cero, como lo recomienda Márquez (1988). Los valores de heredabilidad oscilan desde 0 hasta 0.67; para algunas variables como VE, PEMER y PPN, la heredabilidad fue alta por lo que es de esperar que al incorporar estos caracteres como criterios de selección se tenga respuesta en grado importante, lo cual sería de relevancia para las regiones donde se practica la siembra profunda (humedad residual). La población de Pedro presentó valores altos de heredabilidad para todas las variables con excepción de las variables PPA y PSMES, con un rango de 0.44 a 0.49; en la población de Enrique se presentaron valores de cero para la heredabilidad de dichas variables, el cual es atribuible a un

considerable error experimental. En general los valores fueron ligeramente menores a los reportados por Antuna *et al.* (2003), quienes también mencionan que las variables asociados al vigor a la emergencia son de efecto genético aditivo, en un estudio con líneas endogámicas de maíz y sus combinaciones híbridas.

Cuadro 1.7.- Heredabilidad para medias de FMHM en cuatro poblaciones nativas de maíz, para variables asociadas al vigor de plántulas a la emergencia.

FMHM	LMES	LCOL	LPA	PPA	VE	PEMER	PSMES	PPN
Enrique	0.00	0.00	0.00	0.11	0.51	0.36	0.00	0.34
Marcelino	0.06	0.35	0.38	0.00	0.54	0.51	0.00	0.41
Manuel	0.00	0.43	0.22	0.00	0.63	0.44	0.11	0.21
Pedro	0.49	0.44	0.48	0.09	0.77	0.67	0.03	0.56

LMES = longitud de mesocótilo; LCOL = longitud de coleóptilo; LPA = longitud de la parte aérea; PPA = porcentaje de plántulas anormales; VE = velocidad de emergencia; PEMER = Porcentaje de emergencia; PSMES = Peso seco del mesocótilo; PPN = Porcentaje de plántulas normales.

1.7.5.- Respuesta esperada a la selección para FMHM en variables asociadas al vigor de plántulas en siembra profunda

La estimación de la heredabilidad permite estimar a su vez el avance genético por ciclo de selección; en este caso se consideró una presión de selección de 5 % (Cuadro 1.8), en donde se presenta la ganancia genética de cada una de las poblaciones y cada variable. Para la variable PEMER se esperaba para la próxima generación un aumento de casi 13 % para la población de Pedro, mientras que en la población de Enrique sólo se tendría una ganancia de 5 %; si se considera que dichas poblaciones tuvieron un porcentaje de emergencia de 87 % y 89 %, respectivamente, en la siguiente generación tendría un PEMER de 100 y 94 %, respectivamente, bajo las condiciones de siembra profunda. La variable LMES en la población de Pedro presentó la mejor respuesta a la selección, con 5 % para la siguiente generación. Por lo tanto, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores se puede mejorar el porcentaje de emergencia y la

densidad de población de las poblaciones en dicho sistema tradicional y manteniendo la diversidad genética de las poblaciones, ya que de acuerdo a Merotto *et al.* (1999), la velocidad y uniformidad de emergencia en las plantas de maíz están relacionados con los altos rendimientos de grano.

Cuadro 1.8.- Respuesta esperada a la selección de FMHM para variables asociadas a vigor de plántulas en siembra profunda (20 cm) en cuatro poblaciones de maíz nativo

Fuente	LMES		LPA		VE		PEMER		PPN	
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%
FMHM	abs.		abs.		abs.		abs.		abs.	
Enrique	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	12.74	4.68	5.22	5.81	6.77
Marcelino	0.08	0.48	1.43	5.39	1.45	13.97	7.50	8.06	7.49	8.31
Manuel	0.00	0.00	0.76	2.94	1.88	17.49	5.93	6.54	3.24	3.66
Pedro	0.78	5.05	1.97	7.68	2.95	32.96	11.75	13.39	11.74	13.88

LMES= longitud de mesocótilo (cm); LPA= longitud de la parte aérea (cm); VE= velocidad de emergencia; PEMER= Porcentaje de emergencia; PPN= Porcentaje de plántulas normales.

1.8.-CONCLUSIONES

La capacidad de emergencia de las plántulas en las poblaciones de maíz nativas del sureste del estado de México fue superior a la de los híbridos comerciales; de igual manera, las poblaciones nativas de la Mixteca Oaxaqueña de tipo cajete superan en capacidad de emergencia a los híbridos comerciales, pero no a los Chalqueños del sureste del estado de México.

La variación entre familias de MHM derivados de las poblaciones de maíz del SE de Edo. de Méx., para los atributos de capacidad de emergencia a siembras profundas es significativa, lo que permite esperar respuesta a la selección para la mejora de la emergencia y mejores establecimientos de densidades de población.

1.9.-LITERATURA CITADA

- Adebisi M. A., T.O. Kehinde, J.B.O. Porbeni, O.A. Oduwaye, K. Biliaminu, S.A. Akintunde (2013)** Seed and seedling vigour in tropical maize inbred lines. *Plant Breeding and Seed Science* 67:87-102, <http://doi.org/10.2478/v10129-011-0072-4>
- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. (2003)** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:11:17.
- Arellano V., J. L. y A. Carballo C. (1981)** Guía para cultivar maíz en el Estado de México. Folleto Técnico No. 13. SARH, INIA, CIAMEC, CAEVAMEX. Chapingo, México, 27p.
- Castillo F., E. Herrera, J. Romero, R. Ortega, M. Goodman y M. E. Smith (2000)** Diversidad genética del maíz y su aprovechamiento *in situ* a nivel regional. En: CIAT (editor) Fitomejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe. Mem. Simp. Internacional. Quito, Ecuador. Ago 31-Sep. 3, 1999. CIAT – Programa PRGA del CGIAR. Cali, Colombia. 7 p.
- Cervantes O. F., G. García de los S., A. Carballo C., D. Bergvinson, J. L. Crossa, M. Mendoza E., E. Moreno M. (2006)** Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México* 32:77–87.
- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (1974)** El Plan Puebla: Siete Años de Experiencia 1967-1973. CIMMYT, El Batán, México. 125p.
- Delouche J. C. and C. C. Baskin (1973)** Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1:427–452.
- Elmore R., M. Al-kaisi and M. Hanna (2014)** Corn seeding depth: Back to the basics. *Agronomy News* 5:1- 3.
- Esquivel E. G., F. Castillo G., J. M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García de I. S., J. A. Acosta G. y A. Ramírez H. (2009)** Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:311–318.
- Han Z., L. Ku, Z. Zhang, J. Zhang, S. Guo, H. Liu and Y. Chen (2014)** QTLs for seed vigor-related traits identified in maize seeds germinated under artificial aging conditions. *PLoS ONE* 9:1-13, <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0092535>
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, J. J. Sánchez-González, J. M. Hernández-Casillas, R. A. Ortega-Pazkca y M. M. Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191–206.

- ISTA, International Seed Testing Association (1995)** Handbook of Vigor Test Methods. 2ed.,117 p.
- López-Romero G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez y H. Vaquera-Huerta (2005)** Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284–290
- Maguire J. D. (1962)** Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, Madison* 2:176-177, <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Márquez S F (1988)** Genotecnia Vegetal. Tomo II. Primera ed. Ed. AGTESA. México. 563 p
- Merotto Jr. A., L. Sangoi, M. Ender, A. F. Guidolin and H. S. Haverroth (1999)** A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. *Ciência Rural* 29:595-601.
- McMullen M. D., S. Kresovich, H. Sanchez Villeda, P. Bradbury, H. Li, Q. Sun, S. Flint Garcia, ... E. S. Buckler (2009)** Genetic properties of the maize nested association mapping population. *Science* 325:737–741, <http://doi.org/10.1126/science.1174320>
- Muñoz O. A., G. Pérez J, P. A. López, R. J. Salvador (2002)** Maíz de cajete: agro-sistema y resistencia a sequía. In: Antología sobre Pequeño Riego, Vol. III. Sistemas de Riego no Convencionales. J Palerm (ed). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp:137-164
- Muñoz O. A. (2003)** *Centli-Maíz*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. 210 p
- Mehdi S. S., N. Ahmad and M. Ahsan (2001)** Evaluation of S1 maize (*Zea mays L.*) families at Seedling stage under drought conditions. *Journal of Biology Sciences* 1:4–6, <http://doi.org/10.3923/jbs.2001.4.6>
- Ortega P., R. 2003** La diversidad del maíz en México. In: G. Esteva, y C. Marielle (Coordinadores). *Sin Maíz no hay País*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp. 123-154
- Perales H. R., B. F. Benz and S. B. Brush (2005)** Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 102:949–954, <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>
- Pérez de la C. F. de J., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., E. Cárdenas S. y A. Delgado A. (2007)** Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz Chalqueño. *Agricultura Técnica en México* 33:5–16.

- Rajjou L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job and D. Job (2012)** Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63:507–533, <http://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>
- Ries S. K. and E. H. Everson (1973)** Protein content and seed size relationships with seedling vigor of wheat cultivars. *Agronomy Journal* 65: 884, <http://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500060011x>.
- Romero P. J., F. Castillo G., y R. Ortega P. (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:107–115.
- Sanchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02866599>
- SAS Institute Inc. (2013)** Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/procstat/66703/PDF/default/procstat.pdf>
- Tadeo-Robledo M., A. Espinosa-Calderón, R. Valdivia-Bernal, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, B. Zamudio-González (2010)** Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 21:31–38.
- Vargas L. A. 2007.** La historia incompleta del maíz y su nixtamalización. *Cuadernos de Nutrición* 30:97-102.
- Wellhausen E., L. M. Roberts y E. Hernández X. en colaboración con P. C. Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución. *Folleto Técnico* No.5. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Méx., D.F. 237p.
- Wen D., H. Hou, A. Meng, J. Meng, L. Xie and C. Zhang (2018)** Rapid evaluation of seed vigor by the absolute content of protein in seed within the same crop. *Scientific Reports* 8:1–8, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-23909-y>.

CAPITULO II. VARIACIÓN GENÉTICA EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVAS DEL SURESTE DEL EDO. DE MÉXICO

2.1.-RESUMEN

México es centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, el cual se mantiene bajo el proceso de evolución bajo domesticación determinados por la selección de semilla practicada por los productores, en la que influye la diversidad de condiciones ecológicas, los diferentes usos del maíz, las prácticas agrícolas y el valor económico en el mercado. Para comprender dicha diversidad y la variación del cultivo a nivel de microrregión y diseñar estrategias de aprovechamiento de manera participativa con los agricultores, se plantea el estudio de poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, mediante la valoración de la variación genética estimada por las diferencias entre FMHM, para componentes del rendimiento de grano y brácteas, de modo que se pueda estimar la respuesta esperada a la selección participativa y valorar en qué proporción se pueden presentar individuos con expresión deseable para tales atributos. Durante el ciclo agrícola primavera-verano 2017 se establecieron experimentos con 60 FMHM representativas de cada una de cuatro poblaciones de la raza Chalqueño más 11 poblaciones de maíz de cajete de la Mixteca Alta Oaxaqueña y como testigos una población recombinante forrajera (germoplasma de la Sierra Norte de Puebla) y tres híbridos comerciales, en las localidades de Montecillo y Ayapango, Edo. de Méx., bajo el diseño de parcelas divididas en BCA y tres repeticiones. Se registraron 20 variables relacionadas con el rendimiento de grano y de brácteas de la mazorca; se realizó un análisis de varianza combinado y con los componentes de varianza se hizo la estimación de la heredabilidad y respuesta a selección para medias de familias de MHM. Hubo diferencias altamente significativas entre FMHM de cada población en todas las variables. La heredabilidad de medias de FMHM para rendimiento de grano en la población de Enrique y Manuel fue de 0.3 con una respuesta a la selección de aproximadamente 400 kg/ha/ciclo. Los valores altos de heredabilidad correspondieron a días a floración (0.5-0.7), altura de mazorca (0.4-0.5), número de hileras en la mazorca (0.5-0.6), número y longitud de hojas de totomoxtle (0.3-0.6) y (0.4-0.6), respectivamente. La variación, heredabilidad y la respuesta a la selección estimada por ciclo entre las FMHM, permite señalar que se puede mejorar a las poblaciones para aumentar la frecuencia de alelos favorables de caracteres importantes como el rendimiento de grano y la producción de hojas para tamal, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores, manteniendo la diversidad genética.

Palabras clave: variación genética, heredabilidad, totomoxtle, maíz, Chalqueño

GENETIC VARIATION IN NATIVE MAIZE POPULATIONS OF SOUTHEASTERN MEXICO STATE

2.2.-SUMMARY

Mexico is the center of origin, domestication and diversification of maize; such genetic diversity is preserved under a process of evolution under domestication determined by the seed selection practiced by farmers, which is influenced by the diversity of ecological conditions, the different uses of maize, as well as the agricultural management at the cropping system and economic value in the market. The objective of the study was the assessment of the genetic variation among families of maternal half sibs (HSF) in native maize populations of the Southeast of the State of Mexico, for grain yield, kernels and cornhusk components, so that the expected response of the participatory selection could be estimated and visualize the proportion of individuals with desirable expression for these attributes within the native maize populations. During the spring-summer 2017 agricultural season, experiments were established with 60 maternal HSF for each of four populations of Chalqueño race, plus eleven populations of native maize from Mixteca Region of Oaxaca state, and as checks a recombinant population with germplasm from the Sierra Norte de Puebla and three commercial hybrids, in two locations: Montecillo and Ayapango, state of Mexico, under split plots in a RCB design with three replications each. Twenty traits were recorded related to ear, grain, plant and cornhusk characteristics; combined analyses of variance were computed and with the variance components, heritability was estimated for family means as well as the response to selection. There were high significant differences ($P \leq 0.01$) between maternal HSF for each population and for all traits. The heritability for family means of maternal HSF for grain yield in Enrique and Manuel's population was 0.3 with a response to selection of approximately 400 kg/ha/cycle. The higher heritability values correspond to days to flowering (0.5-0.7), ear height (0.4-0.5), number of rows on the ears (0.5-0.6), number and length of totomoxtle leaves (0.3-0.6) and (0.4-0.6) respectively. The variation, heritability and estimated to selection by cycle among maternal half siblings families, allows us to point out that populations can be improved, increasing the frequency of favorable alleles of important traits such as grain yield and tamale leaf production, under simple selection techniques and in a participatory approach with farmers, while maintaining genetic diversity.

Keywords: genetic variation, heritability, totomoxtle, Chalqueño maize

2.3.-INTRODUCCIÓN

México es centro de origen, domesticación y diversidad del maíz, así como de sus parientes silvestres (teocintle), la cual se explica en gran medida por el hecho de que se comparten genes entre los diferentes tipos de teocintle y el genoma del maíz (Matsuoka *et al.*, 2002), así como por introgresión híbrida pues dado que el teocintle presenta variación genética importante (2.25 alelos por locus) que se puede aprovechar para el mejoramiento genético del maíz evitando la erosión genética (Rincón *et al.*, 2005). Otro factor importante en la diversificación genética es la variación en las condiciones climáticas y edáficas del país, que con las migraciones humanas y la selección diferencial de los grupos étnicos en cada región (Hernández, 1985) se ha aprovechado la capacidad del maíz para adaptarse a cada nicho ecológico; así como también los diferentes usos del maíz especialmente como alimento humano que ha determinado gran variedad de formas. Como es de esperarse, la mayor diversidad genética se encuentra en México y América Latina, de donde se ha llevado a África Sub-Sahariana como alimento básico. En todos estos lugares se constituyen fuerzas continuas de selección y motivación para la introducción de variedades de otras áreas. Por lo tanto, la diversidad actual es el resultado de una larga historia coevolutiva entre el maíz y las poblaciones humanas, especialmente de México, además de los factores ambientales y biológicos.

La diversidad del cultivo se mantiene gracias a que se siguen cultivando los maíces nativos, principalmente por pequeños agricultores del país, de manera que las poblaciones continúan evolucionando por selección bajo domesticación, mejorando su rendimiento y características agronómicas, proceso en que se ha generado adaptación específica para nichos ecológicos específicos y para usos especiales (Ortega, 2003), de tal forma que la diversidad genética del maíz está íntimamente ligada a una diversidad de tecnologías tradicionales, agroecosistemas de

producción, tradiciones culturales que integran al maíz en el contexto de los ambientes naturales en que estos procesos se llevan a cabo.

La diversidad del maíz puede ser afectado por el tamaño de muestra de semillas que los productores siembran en cada ciclo, por la adaptación delimitada y usos específicos por los grupos humanos (Sánchez *et al.*, 2000a), así como por la introducción de nuevas variedades y la modernización agrícola. De acuerdo a Huang y Han (2014) la domesticación y el mejoramiento de los cultivos han tenido una profunda influencia en la diversidad genética en los cultivos modernos; mencionan que es de gran importancia comprender la base genética de la variación fenotípica y los procesos de domesticación en los cultivos, para el uso eficiente de los recursos, ya que para mejorar los cultivos en el futuro será necesario seguir recolectando diversos genotipos en todo el mundo, para generar poblaciones mediante cruzamientos entre especies silvestres y especies cultivadas, de acuerdo con la identificación de la variación morfológica y genética de manera conveniente.

En México se han descrito 59 razas de acuerdo a Sánchez *et al.* (2000b) y Kato *et al.* (2009) en diferentes nichos ecológicos; tal diversidad de razas constituye una riqueza invaluable para el país y un aporte importante para el mundo, ya que es la materia prima para el mejoramiento genético del cultivo para enfrentar a las condiciones adversas, así como para responder al desarrollo o necesidades de usos específicos; por ello, es necesario mejorar el bienestar de quienes conservan y mantienen en procesos de evolución bajo domesticación a la diversidad del maíz; por tal razón, Castillo (1993) menciona que es responsabilidad de los fitomejoradores el conocer dicha variabilidad genética y estrategias para su aprovechamiento en la obtención de materiales de alta productividad, de tal modo que el acrecentamiento del potencial productivo y agronómico del patrimonio genético del maíz deberá basarse en la diversidad y variación del maíz en cada microrregión de manera participativa.

De acuerdo a Castillo *et al.* (2000), el mejoramiento participativo permite mejorar la productividad de las poblaciones nativas y al mismo tiempo conservar la diversidad genética *in situ*, el cual consiste en aprovechar la variación entre poblaciones y entre plantas dentro de cada población (o variedad criolla), lo cual se puede lograr mediante la aplicación de técnicas sencillas de selección por parte de los productores, como es la selección masal y sus variantes, tal es el caso de la selección masal estratificada ((Smith *et al.*, 2001). Con la aplicación del método de retrocruza limitada y selección masal, Chávez *et al.* (2000) proponen conservar la diversidad del maíz de manera participativa con los productores y al mismo tiempo mejorar las poblaciones. La detección experimental de las mejores poblaciones dentro de cada tipo de maíz puede representar entre el 15 y 20 % de mayor rendimiento con respecto al promedio de todas las semillas locales (Herrera *et al.*, 2013) y la aplicación de la selección masal puede ofrecer incrementos del potencial de rendimiento en el orden del 2 % por año (generación) y reducción de los problemas agronómicos como pudrición de mazorca (Zambrano, 2013).

Desde el punto de vista de la investigación, Lilja and Bellon (2006) realizaron un análisis de actividades con enfoque participativo; señalan que se puede mejorar la eficiencia y la pertinencia de la investigación, así como su relevancia, ya que permite atender cuestiones como el aumento de la productividad, la comprensión de las necesidades y limitaciones de los agricultores; para los investigadores, dicho enfoque le da valor agregado a las investigaciones, pues el mejoramiento participativo busca asociar a los fitomejoradores con los agricultores.

Se han realizado trabajos con los objetivos de estudiar la variación genética del maíz con propósitos de aprovechamiento; por mencionar algunos: Herrera *et al.* (2013) realizaron un estudio de evaluación agronómica de poblaciones nativas de maíz en función de su morfología y rendimiento y encontraron que es posible detectar poblaciones nativas sobresalientes en rendimiento de grano equivalente a los híbridos comerciales de la región; además concluyen que

los productores han realizado selección para poblaciones tardías con mayor rendimiento a través de los años con lo que se aprovecha el potencial ambiental del ciclo agrícola. De manera específica, para la raza de maíz Chalqueño, Esquivel *et al.* (2011) realizaron un estudio considerando el área geográfica donde se distribuye dicha raza, para valorar la expresión de la heterosis; mostraron que existen poblaciones de la misma raza cuyas cruzamientos se determinan con heterosis promedio alta, lo cual permitió identificar patrones heteróticos potenciales, en función de la divergencia genética. En un estudio realizado por Ristic *et al.* (2014) en variedades criollas de maíz con endospermo cristalino, mediante el uso de marcadores morfológicos y marcadores SSR, detectaron poblaciones con características favorables para programas de mejoramiento genéticos y concluyeron que ambos tipos de información revelan altos niveles de variación genética entre las poblaciones estudiadas.

Los productores realizan selección, lo que implica evolución bajo domesticación y mejoramiento de los cultivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y culturales, con patrones de acuerdo a las necesidades de cada región; en especial, el cultivo de maíz se adapta a una amplia variedad de microrregiones agroecológicas. Existe una variedad de usos del cultivo del maíz, además del uso alimenticio para el humano, es también usado como forraje para ganado, como medicina, para composta, diversas formas de envolturas, artesanías, combustible o para usos ceremoniales; es decir, todas las partes de la planta tienen un valor económico o de otro tipo de valor, desde el grano, las hojas, los tallos, el totomoxtle y el elote, de los cuales muchos productos no han sido estudiados.

En varias regiones de la república mexicana se aprovecha y se comercializan las brácteas de la mazorca (totomoxtle) para diferentes propósitos, aunque su principal uso es como envoltura de tamales (alimento tradicional mexicano), como es el caso en los estados de México (CONABIO, 2010), Jalisco, Colima, Nayarit, Michoacán, Oaxaca y Tamaulipas (Long and Villarreal, 1998).

Así también, la región totonaca al Norte del estado de Veracruz y de Puebla se reconoce como productor y exportador del totomoxtle (King, 2007; Andrés-Meza *et al.*, 2014) debido a que el 80 % del volumen total de totomoxtle producido en esa región, se destina al mercado extranjero, especialmente hacia Estados Unidos. De acuerdo con Andrés-Meza *et al.* (2014) la venta de hojas se realiza por kilo o por paca, equivalente a un aproximado de 48 kg para la región norte de Veracruz y se considera que en una hectárea pueden obtenerse un promedio de 600 paquetes, con un ingreso aproximado de \$24000 pesos por hectárea a precio de mercado.

El totomoxtle es usado también para la elaboración de manualidades, como muñecas y réplicas de animales, arreglos florales de toda índole, algunas figuras como cristos, payasitos, angelitos, aretes, ramos, novias, bailarines, imágenes religiosas y hasta vestidos de novia, y que están adquiriendo cada vez más importancia en los mercados turísticos, donde abundan los productos étnicos nuevos, creativos y coloridos (Long y Villarreal, 1998; SIAP, 2017).

En la industria, el totomoxtle ha tenido importantes usos como la producción de fibra para la fabricación de papel. En un estudio, Ekhuemelo and Tor (2013) mostraron que la longitud de la fibra del totomoxtle y del tallo de maíz es semejante a la longitud de la fibra de la mayoría de las maderas duras y de los materiales no madereros usados para la producción de papel y celulosa. La calidad de las fibras de celulosa obtenidas del totomoxtle lo ha llevado a la industria textil con propiedades similares al algodón y al lino, con un impacto favorable al medio ambiente y a la agricultura, en comparación con la producción de fibra sintética (Reddy and Yang, 2005).

Otro mercado importante que va en aumento es el de las antocianinas como pigmentos naturales, para ser usadas como colorante alimentario por sus capacidades nutraceuticas que regularmente se extraen del grano del maíz pero se ha demostrado que la mayor concentración de antocianinas se encuentra en el totomoxtle de poblaciones de maíz morado (Li *et al.*, 2008). De manera experimental, Norashikin and Ibrahim (2009) usaron las brácteas de las mazorcas para la

fabricación de películas biodegradables con el fin de sustituir los plásticos usados en la agricultura, especialmente en la agricultura protegida y contribuir a la protección del medio ambiente.

Las brácteas de la mazorca son de gran importancia para la cobertura de mazorca, pues evita ataques de insectos que representan pérdidas anuales de hasta 30 % (Mejía, 1981, Demissie *et al.*, 2008), además de contribuir con la producción de fotosintatos al desarrollo de los granos (Kang *et al.*, 1986). Aunque las funciones fisiológicas relacionadas con el totomoxtle han sido ampliamente estudiadas, poco se sabe sobre su variación morfológica y su base genética en las poblaciones nativas.

En la región del valle de Chalco en el sureste del estado de México, se cultivan diferentes variantes de la raza Chalqueño, los cuales se asocian a usos específicos (CONABIO, 2010). El totomoxtle de esta raza en dicha región se aprovecha para envoltura de tamales principalmente (Hernández, 2010), las cuales son comercializadas en el mercado local y regional. Debido a que la producción y valor en el mercado puede ser económicamente equivalente a la producción de grano, éste puede significar un valor agregado de importancia para el cultivo de maíz, como mencionan Andrés *et al.* (2014); en dicha región se ha llevado a cabo la selección participativa y procurando la mejora de los atributos de mazorca, grano y planta, tomando en consideración que existe variación entre plantas dentro de las poblaciones, pero no se conoce la magnitud de dicha variación, especialmente para el atributo de brácteas de la mazorca; por lo tanto, es necesario un estudio de la variación existente para cantidad en peso y número de brácteas (hojas de totomoxtle) y que puedan ser aprovechados para el mejoramiento de las poblaciones nativas, que les permita a los agricultores mantener las variedades locales y al mismo tiempo, obtener un ingreso adicional a la venta del grano.

2.4.-OBJETIVOS

Estudiar la variación genética dentro de poblaciones de maíz nativo del SE del Edo. de México, en el despliegue de familias de medios hermanos, para atributos de rendimiento de grano y brácteas, de modo que se pueda estimar la respuesta esperada de la selección participativa, y valorar en qué proporción se pueden presentar individuos con expresión deseable para varios atributos.

2.5.-HIPÓTESIS

La variación genética entre familias de medios hermanos maternos dentro de las poblaciones de maíz nativo es de significancia considerable para atributos de rendimiento para grano y totomoxtle.

2.6.-MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético consistió de cuatro poblaciones de maíz nativo del SE del Edo. de México de la raza Chalqueño, representados por 60 Familias de Medios Hermanos maternos (FMHM) por cada población, derivadas durante el ciclo primavera – verano 2016. Estas poblaciones han estado sujetas por los agricultores a selección de semillas bajo selección masal estratificada de manera participativa con el programa de mejoramiento de maíz del Colegio de Postgraduados. Se agregaron once poblaciones nativas colectadas en la Mixteca Alta del Edo. de Oaxaca, que de manera semejante a las poblaciones de maíz Chalqueño del SE del Edo. de México, han sido sometidas a una presión de selección por los agricultores y por cultivarse bajo el sistema de humedad residual con siembras profundas, dado el ambiente restrictivo debido a las condiciones limitantes de precipitación y tipo de suelo, como testigos se incorporaron tres híbridos comerciales y una población recombinante con germoplasma de la Sierra Norte de Puebla con potencial forrajero, adaptado a los valles altos (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1.- Descripción del Germoplasma y su origen geográfico

Material genético	Tipo	Origen
Marcelino C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Pedro C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Juchitepec, Edo. Méx.
Manuel M. O. (60 FMHM)	Chalqueño Azul	Poxtla, Ayapango, Edo. Méx.
Enrique H. (60 FMHM)	Chalqueño “Palomo”	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Alto Sierra Norte Puebla	Población recombinante	Sierra Norte del Edo. de Puebla
Esteban L. J.	Maíz de cajete, Blanco	Santa María Nduayaco, Oax.
Guillermo P. P.	Maíz de cajete, Amarillo	Santiago Apoala, Oax.
Guadalupe B. R.	Maíz de cajete	San Martín Huamelulpan, Oax.
Ignacio H. C. (original)	Maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Crecenciano J. C.	Maíz de cajete, Blanco	Santiago Apoala, Oax.
Leobardo H. C.	Maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Ignacio H. C. (versión 2),	Maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Casimiro H. C.	Maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Joel Misael J. P.	Maíz de cajete, Rojo	Santiago Apoala, Oax.
Juan P. A.	Maíz de cajete, Azul	Santa María Nduayaco, Oax.
Paola R. J.	Maíz de cajete, Grueso	Santiago Apoala, Oax.
H-40	Híbrido	INIFAP
H-159	Híbrido Experimental	INIFAP
H-161	Híbrido Experimental	INIFAP

2.6.1.-Ubicación de los experimentos

Los experimentos se establecieron en dos localidades, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2017: Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., con 19° 29' LN y 98° 54' LO y una altitud de 2250 msnm y en la localidad de Ayapango, Edo. de Méx., (19° 10' LN y 98° 45' LO, a altitud de 2450 msnm).

2.6.2.-Conducción del experimento

La siembra se realizó manualmente en los dos ambientes; en la localidad de Ayapango, Edo. de Méx., la siembra se efectuó el 12 de abril del 2017 en condiciones de humedad residual con tres semillas por golpe cada 50 cm de distancia entre plantas y 0.80 m entre surcos, aclarándose posteriormente a una densidad de 50 mil plantas por ha; la dosis de fertilización fue de 90N-45P-40K a los 40 días después de la siembra; los labores culturales se realizaron conforme el manejo convencional de los productores de la región; las plagas y enfermedades no se controlaron, el control de malezas se hizo de forma mecánica y manual eliminando principalmente “Chayotillo” o “tatana” (*Sicyios deppei*) y teocintle o “acece” (*Zea mays mexicana* raza Chalco).

En Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., la siembra se realizó el 21 de abril del 2017 en suelo seco y el primer riego se aplicó inmediatamente después de la siembra y posteriormente se regó cada vez que se requería; la densidad de población fue de 50 mil plantas por ha, no se realizó aplicación de fertilizantes ni control de plagas ni enfermedades; el control de maleza se hizo en forma mecánica y manual eliminando principalmente el “Chayotillo” o “tatana” (*Sicyios deppei*).

En ambas localidades, para cada parcela experimental se tomó una muestra de cinco plantas con competencia completa para el registro de caracteres agronómicos, componentes de mazorca, grano y de rendimiento del totomoxtle (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2.-caracteres observados para el estudio de la variación genética en cuatro poblaciones de maíz nativo del Edo. de México, 2017

Variables	Unidad	descripción
Variables agronómicas		
DFM	#días	Días a floración masculina contados a partir de la siembra hasta el momento en que 50 % de las plantas liberaban polen
AP	m	Altura de planta, medidos desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga; punto inferior de presencia de espiguillas.
AMZ	m	Altura de mazorca, medidos desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca.
MZP	%	Porcentaje de mazorcas que presentaron pudrición en más del 20 %
RG	kg	Rendimiento de grano por hectárea
PPG	%	Proporción de grano en la mazorca (peso de grano respecto al peso de mazorca) *100
Caracteres de mazorca		
DMZ	cm	Diámetro medio de la mazorca
LMZ	cm	longitud de mazorca
NH	#	Número de hileras por mazorca
NGH	#	Número de granos por hilera
DO	cm	Diámetro medio de olote
LO	cm	Longitud de olote
Caracteres de grano		
Egr	mm	Espesor promedio de 10 granos
Agr	mm	Ancho promedio de 10 granos
Lgr	mm	Longitud promedio de 10 granos
Caracteres de brácteas de la mazorca		
HT	#	Promedio de hojas por mazorca
HB	#	Promedio de hojas aprovechables para tamales, calificación visual
LH	cm	Promedio de la longitud de las hojas
AH	cm	Promedio del ancho de las hojas
PH	g	Peso promedio de las hojas de 5 mazorcas

2.6.3.-Diseño y parcela experimental

La parcela experimental estuvo constituida por un surco de 5.0 m de largo y 0.8 m de ancho, con un total de 22 plantas. El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar; en las parcelas grandes se ubicaron a las poblaciones y en las parcelas chicas a las FMHM dentro de cada población en tres repeticiones por localidad. Con los materiales de la Mixteca Oaxaqueña y los híbridos comerciales se consideró una parcela grande.

2.6.4.-Análisis estadísticos

Con promedios de cada unidad experimental para todas las variables, se realizó un ANOVA combinado con el programa SAS (SAS Institute, 2013); se estimaron los componentes de varianza a través de igualar a los cuadrados medios con las esperanzas del cuadrado medio (ECM), respectivas, con base a la tabla de varianza del Cuadro 2.3; se estimó la heredabilidad para medias de familias y la respuesta a la selección; se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para poblaciones.

3.6.4.-Modelo General

$$Y_{ijkn} = \mu + L_i + R_j(L) + P_k + F_n(P)_k + L_i P_k + L_i F_n(P)_k + \epsilon_{ijkn}$$

Donde: Y_{ijkn} = observación de la n-ésima familia de la j-ésima repetición; μ =Media general; L_i = Efecto de la i-ésima localidad; R_j = Efecto de la j-ésima repetición anidad en la i-ésima localidad; P_k =Efecto de la k-ésima población; $F(P)_{nk}$ = Efecto anidado de la n-ésima Familia en la k-ésima población; $L_i P_k$ = efecto de interacción de la k-ésima población y la i-ésima localidad; $L_i F_n(P)_k$ = efecto de la interacción de la i-ésima localidad en la n-ésima familia anidada en la k-ésima población; ϵ_{ijkn} = Efecto del error experimental

Cuadro 2.3.- Modelo de esperanzas del cuadrado medio

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	C. M.	E. C. M.
LOCALIDADES	l - 1	CM_l	
REP(LOC)	l(r-1)	$CM_{r(l)}$	
POBLACIÓN	p - 1	CM_p	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lf(p)}^2 + rl\sigma_{f(p)}^2 + lrf\sigma_p^2$
FMH(POBLACION)	p(f-1)	$CM_{f(p)}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lf(p)}^2 + rl\sigma_{f(p)}^2$
LOC*POBLACIÓN	(l-1) (p-1)	CM_{lp}	$\sigma_e^2 + rf\sigma_{lp}^2$
LOC*FMH(POBLACIÓN)	(l-1) p(f-1)	$CM_{lf(p)}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lf(p)}^2$
ERROR EXP.	lp(f-1) (r-1)	CM_e	σ_e^2
TOTAL	rlfp-1		

Con la consideración de las ECM la estimación de la variación entre FMHM será equivalente a un cuarto de la varianza genética aditiva (σ_A^2), dado que el nivel de endogamia de la población es cero;

$$\sigma_{FMH}^2 = COV(MH) = \frac{1}{4}\sigma_A^2 + \frac{1}{16}\sigma_{AA}^2 + \frac{1}{64}\sigma_{AAA}^2 + \dots$$

Se hizo la partición de la suma de cuadrados para FMH(Población) en la correspondiente para cada población y se estimaron los componentes de varianza.

Varianza genética para medias de familias:

$$\sigma_{fmh}^2 = \frac{CM_{f(p)} - CM_{lf(p)}}{rl}$$

Varianza fenotípica para FMHM

$$\sigma_{\hat{F}}^2 = \frac{CM_{f(p)}}{rl}$$

Heredabilidad para medias de familias:

$$h_{fmh}^2 = \frac{\sigma_{fmh(l)}^2}{\sigma_{\hat{F}}^2}$$

Donde: $CM_{f_{mh}}$ = Cuadrado medio de familias; CM_e = Cuadrado media del Error; r = número de repeticiones; l = número de localidades, $\sigma_{f_{mh}(i)}^2$ = Varianza genética para familias; σ_f^2 = Varianza fenotípica para medias de familias.

La respuesta a la selección (Molina, 1992):

$$\Delta_G = K \frac{\sigma_A^2}{\sigma_p}$$

Donde: Δ_G = Avance genético; σ_A^2 = varianza aditiva; σ_p = desviación típica de la varianza fenotípica; K = diferencial de selección estandarizado.

2.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.7.1.- Análisis para variables agronómicas

La variación de las fuentes de variación en los análisis de varianza y particularmente entre las FMHM para las variables agronómicas se observan en el Cuadro 2.4. con un alto grado de significancia ($P \leq 0.01$): entre los ambientes, con excepción de la variable PPG, tal significancia demuestra considerable contraste entre localidades, las que difieren en sus características climáticas y edáficas, así como en la influencia de las diferencias en fechas de siembra y el manejo agronómico del cultivo, entre otros factores. La variación entre poblaciones fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres agronómicos, lo cual constituye un indicador de la diversidad entre las poblaciones, así como del nivel de variación de las variables, por lo que se infiere la existencia de una gran variación genética; resultados similares con los de Hortelano *et al.* (2012) en estudios de diversidad fenotípica de 134 poblaciones nativas de diferentes razas, entre ellos la raza Chalqueños colectadas en 22 localidades en el estado de Puebla, México; de manera

semejante, los maíces nativos del SE del Edo. de México presentan variabilidad morfológica como lo mencionan Herrera-Cabrera *et al.* (2004) y Hortelano *et al.* (2008).

En general existe alta variabilidad ($P \leq 0.01$) entre las familias dentro de cada población para las variables agronómicas estudiadas, dichos resultados tienen relación con lo reportado por López *et al.* (2010) quienes estudiaron la diversidad de maíces nativos con marcadores isoenzimáticos y observaron que el 80 % de la variación para polimorfismo isoenzimático correspondió a variación dentro de las poblaciones y 12 % entre las poblaciones; sólo la población de Manuel (tipo azul), no presentó diferencias significativas para las variables AP y MZP entre familias de MHM.

A nivel de poblaciones se detectó interacción ($P \leq 0.01$) genotipo con el ambiente para las variables AP, AMZ, MZP y RG, la cual es atribuible a la adaptabilidad restringida de las poblaciones, lo cual coincide con Ortega (2003) quien reporta que los maíces de la región Chalco-Amecameca son propios del lugar y no prosperan adecuadamente en la región de Texcoco, a pesar de que ambas localidades son similares en ubicación y clima. A nivel más específico de familias dentro de cada población la interacción con el ambiente fue significativa ($P \leq 0.01$) para la variable RG en las poblaciones Enrique y Pedro, mientras que para las poblaciones de Marcelino y testigos hubo diferencia del ($P \leq 0.05$); mientras que las FMHM en la población de Manuel no presentaron interacción con el ambiente para ninguna de las variables agronómicas, indicando estabilidad de tales caracteres en dicha población; es decir, que varían en proporción a cada cambio ambiental.

En lo referente al coeficiente de variación, se encontraron valores entre 1.9 (DFM) y 58.6 (MZP). Al respecto, se conoce que en el cultivo de maíz es común tener valores altos de CV, sobre todo al evaluar características morfológicas de maíces criollos, además de que el porcentaje de mazorcas podridas fue muy variado entre las familias de cada población y por la adaptabilidad, ya que la pudrición fue en mayor grado en la localidad de Montecillo.

Cuadro 2.4.- Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para variables agronómicas en la evaluación de FMHM en cuatro poblaciones de maíz del SE del Edo. de México, Montecillo y Ayapango, Edo. Méx., 2017

Fuente	GL	DFM	AP	AMZ	MZP	PPG	RG
LOC	1	127018.1 **	85.2 **	80.8 **	349220.7 **	8.3 ns	24,00 **
REP(LOC)	4	46.6 **	3.2 **	0.9 **	2778.0 **	70.0 **	16,95 **
POBN	4	2216.7 **	3.2 **	4.5 **	4368.0 **	227.2 **	9,53 **
FMH(POBN)	250	23.4 **	0.1 **	0.2 **	305.3 **	11.2 **	3,31 **
Enrique	59	9.8 **	0.1 **	0.1 **	297.4 **	9.2 **	4,48 **
Manuel	59	6.4 **	0.1 ns	0.1 *	198.0 ns	8.7 **	2,61 **
Marcelino	59	14.3 **	0.1 **	0.1 **	371.6 **	14.1 **	3,90 **
Pedro	59	13.2 **	0.1 **	0.1 **	371.6 **	10.4 **	2,36 **
Testigos	14	232.7 **	0.7 **	1.3 **	242.8 **	21.6 **	2,67 ns
LOC*POBN	4	4.8 ns	2.1 **	0.9 **	4663.0 **	10.6 ns	58,25 **
LOC*FMH(POBN)	248	4.5 **	0.1 ns	0.1 ns	257.2 **	5.5 ns	2,77 **
Enrique	59	3.4 ns	0.1 *	0.1 ns	277.2 **	4.8 ns	2,93 **
Manuel	59	2.9 ns	0.1 ns	0.0 ns	218.3 ns	6.5 ns	1,81 ns
Marcelino	59	4.1 ns	0.1 ns	0.1 ns	275.2 *	7.1 ns	3,65 *
Pedro	59	4.0 ns	0.1 ns	0.1 ns	299.8 ns	3.2 ns	2,35 **
Testigos	14	19.6 ns	0.2 **	0.1 **	92.3 ns	7.5 ns	4,08 *
Error	1012	3.8	0.1	0.1	185.5	5.1	1,83
C. V. (%)		1.9	9.2	12.8	58.6	2.5	38,40

** = significancia 0.01; * = Significancia al 0.05; ns = no significativo; C. V. = Coeficiente de variación; GL= grados de libertad; DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta; AMZ= Altura de mazorca; MZP= Mazorca podrida; PPG= Proporción de grano por mazorca; RG= Rendimiento de grano.

2.7.2.- Análisis para atributos de mazorca y grano

En el estudio de los componentes de mazorca y grano (Cuadro 2.5), hubo variación significativa ($P \leq 0.01$) para la fuente de variación localidad en las variables de mazorca y olote, mientras que las dimensiones de grano no fueron influenciadas de manera significativa por el efecto del ambiente. Entre poblaciones, la variación fue de alta significancia ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres de mazorca y grano, como muestra de la variabilidad genética presente entre las poblaciones, lo cual puede ser aprovechado a través de la selección para mayor rendimiento ya que todos ellos son factores importantes para el rendimiento total de grano y además, existe gran variación morfológica entre los genotipos evaluados que ha permitido describir y clasificar a poblaciones nativas de maíz (Herrera *et al.*, 2000; López-Romero *et al.*, 2005)

Las variables NH, DO y Agr presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre familias dentro de cada una de las poblaciones, mientras que la población de Enrique, presentó variación significativa para todos los caracteres de mazorca, olote y grano, con excepción de la variable DMZ; dicha variación permitirá mejorar cada población por selección recurrente por métodos masal o familiar, incrementando la frecuencia de alelos favorables (Ramírez-Díaz *et al.*, 2000).

El efecto de interacción de las familias por localidad dentro de poblaciones para las dimensiones de grano y mazorca no fue significativa, con excepción de la variable Lgr y LMZ, con significancia al 1 y 5 %, respectivamente, lo cual coincide con Sánchez *et al.* (1993) y Rocandio *et al.* (2014), quienes señalaron tales variables como útiles para la caracterización y clasificación de las poblaciones de maíz, por ser estables a través de localidades, principalmente los caracteres de mazorca o estructuras reproductivas.

Los Coeficientes de Variación son considerados aceptables para todas las variables, manteniéndose en un rango de 5.8 a 13.5 %, debido a que las variables presentaron estabilidad a través de las repeticiones.

Cuadro 2.5.- Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para caracteres de mazorca y grano, Montecillo y Ayapango, 2017

Fuente	GL	DMZ	LMZ	NH	NGH	DO	LO	Egr	Agr	Lgr
LOC	1	3.3 **	32.6 **	5.3 **	107.4 **	3.8 **	26.9 **	5.0 ns	10.1 ns	49.1 ns
REP(LOC)	4	1.1 **	28.7 **	2.1 ns	126.4 **	0.6 **	41.5 **	13.7 ns	50.4 ns	572.4 **
POBN	4	26.8 **	76.9 **	651.0 **	350.1 **	13.0 **	97.6 **	385.3 **	6783.8 **	17783.7 **
FMH(POBN)	250	0.3 **	5.1 **	5.0 **	22.2 **	0.2 **	5.5 **	28.9 **	70.1 **	188.6 **
Enrique	59	0.2 ns	5.1 **	3.5 **	20.6 **	0.1 **	5.1 *	33.6 **	68.9 **	241.1 **
Manuel	59	0.2 ns	4.2 ns	3.9 **	23.2 **	0.1 **	5.0 **	18.9 ns	58.7 **	136.7 *
Marcelino	59	0.3 ns	6.3 **	5.5 **	23.5 *	0.2 **	5.9 ns	28.4 **	55.7 **	142.4 ns
Pedro	59	0.3 *	4.5 ns	5.1 **	16.8 ns	0.2 **	5.2 *	26.4 **	61.2 **	168.5 **
Testigos	14	0.8 **	5.7 **	13.9 **	43.5 **	0.1 ns	7.6 *	63.2 **	219.3 **	470.2 **
LOC*POBN	4	0.6 *	16.9 **	6.7 **	168.7 **	0.1 ns	14.7 **	92.2 **	101.3 **	848.2 **
LOC*FMH(POBN)	248	0.2 ns	4.1 *	2.1 ns	15.1 ns	0.1 ns	4.4 ns	14.9 ns	28.6 ns	143.7 **
Enrique	59	0.2 ns	3.8 ns	1.4 ns	11.8 ns	0.1 ns	4.2 ns	18.3 ns	29.2 ns	119.0 ns
Manuel	59	0.2 ns	3.8 ns	1.6 ns	16.3 ns	0.1 ns	4.9 **	14.1 ns	27.5 ns	109.5 ns
Marcelino	59	0.3 ns	5.6 **	2.7 ns	20.9 ns	0.1 ns	4.9 ns	14.7 ns	18.8 ns	222.7 **
Pedro	59	0.2 ns	2.7 ns	2.0 *	12.0 ns	0.2 ns	3.4 ns	11.8 ns	37.5 ns	140.7 ns
Testigos	14	0.1 ns	5.5 **	4.8 **	14.7 ns	0.1 ns	3.9 ns	16.9 ns	33.6 ns	74.0 ns
Error	1012	0.2	3.4	1.9	14.1	0.1	3.8	14.9	25.7	113.4
C. V. (%)		9.0	11.6	8.8	13.5	11.7	12.8	8.1	5.8	6.8

** = significancia 0.01; * = Significancia al 0.05; ns = no significativo; C. V. = Coeficiente de variación; GL= grados de libertad; DMZ= Diámetro de mazorca; LMZ= Longitud de mazorca; NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote; LO= Longitud de olote; Egr= Espesor de grano; Agr= Ancho de grano; Lgr= Longitud de grano.

2.7.3.- Análisis para atributos de brácteas (totomoxtle) de las mazorcas

Para componentes de brácteas de las mazorcas (Cuadro 2.6), hubo alta variación ($P \leq 0.01$) entre localidades, lo cual es atribuible al contraste ambiental en Ayapango y Montecillo, donde se establecieron los experimentos. Entre poblaciones existió variabilidad importante ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres estudiados, entendiéndose que existe materia prima (variación genética) suficiente para mejorar la calidad y producción de las hojas mediante la selección (Flores-Rosales *et al.*, 2015).

El enfoque entre familias dentro de cada población en lo general se detectó variación significativa para todas las variables, mientras que, de manera específica, para la variable HB no hubo diferencias significativas en las poblaciones de Manuel y de Pedro. La variable HT no presentó variación significativa en la población de Manuel; mientras que para las variables LH, AH y PH, hubo alta significancia ($P \leq 0.01$) indicando una variación genética sustancial para el mejoramiento de dichas poblaciones para atributos de totomoxtle. Dichos resultados coinciden con Flores-Rosales *et al.* (2015), que reportan variabilidad para la producción de totomoxtle en variedades criollas colectadas en el Estado de Puebla, México, en donde también se aprovechan las hojas de la mazorca, para el mercado local. En un estudio sobre cobertura de mazorca, Mejía (1981) detectó variación genética para los caracteres de longitud y número de hojas del totomoxtle, entre familias de medios hermanos de una variedad criolla; por su parte, Sierra-Macías *et al.* (2016) observaron introgresión entre criollos hojeros y maíces mejorados, por la mayor longitud y ancho del totomoxtle en relación a los testigos.

La variación entre poblaciones para las variables en estudio es de gran importancia, lo cual coincide con los resultados de Herrera-Cabrera *et al.* (2004) quienes reportan amplia diversidad genética en las poblaciones nativas de la raza Chalqueño que se cultivan en el oriente del Estado de México, con base en caracteres morfológicos y agronómicos.

Cuadro 2.6.- Cuadros medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para brácteas de mazorca. Ayapango y Montecillo, Edo. de México 2017.

Fuente	GL	HT	HB	LH	AH	PH
LOC	1	88.4 **	255.9 **	1056.1 **	1203.7 **	62342.3 **
REP(LOC)	4	4.9 **	23.2 **	34.4 **	20.9 **	23477.2 **
POBN	4	49.2 **	24.4 **	88.7 **	42.5 **	16559.6 **
FMH(POBN)	250	1.5 **	1.4 **	7.9 **	6.2 **	2313.3 **
Enrique	59	1.3 **	1.3 **	7.8 **	5.3 **	1727.3 **
Manuel	59	1.2 ns	1.1 ns	6.1 **	6.2 **	1182.4 **
Marcelino	59	2.0 **	1.7 *	9.2 **	7.5 **	3899.7 **
Pedro	59	1.1 **	1.1 ns	6.1 **	5.0 **	2114.0 **
Testigos	14	2.9 **	2.5 **	18.5 **	7.8 **	4078.7 **
LOC*POBN	4	2.1 *	3.4 **	21.8 **	4.5 ns	15323.4 **
LOC*FMH(POBN)	248	0.7 ns	0.8 ns	3.3 ns	3.6 ns	1592.1 **
Enrique	59	0.8 ns	0.6 ns	3.9 ns	2.8 ns	1443.4 ns
Manuel	59	0.5 ns	0.6 ns	3.6 ns	2.9 ns	863.8 ns
Marcelino	59	0.9 ns	1.0 ns	3.2 ns	5.7 ns	2479.4 **
Pedro	59	0.5 ns	0.8 ns	2.1 ns	3.2 ns	1387.7 *
Testigos	14	0.7 ns	1.2 ns	3.7 ns	3.8 ns	2248.1 ns
Error	1012	0.8	0.9	3.3	3.3	1152.5
C. V. (%)		14.2	23.7	7.2	10.0	25.2

** = significancia 0.01; * = Significancia al 0.05; ns = no significativo; C. V. = Coeficiente de variación; GL= grados de libertad; HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle; AH= Ancho de hoja del totomoxtle; PH= Peso de hojas del totomoxtle.

Como mencionan Perales *et al.* (2003), la diversidad es resguardada por los pequeños productores y se encuentra en dinámica constante, introduciendo variedades mejoradas o creando nuevas variedades por selección de semillas, manteniendo poblaciones estables o bien ejerciendo cambios determinados por las preferencias en el mercado; tal es el caso de la región norte de Veracruz (King, 2007), donde los agricultores modificaron sus estrategias de subsistencia para responder a los cambios en el mercado del maíz por efecto del TLCAN, comercializando el totomoxtle en el mercado nacional e internacional, lo que determina las necesidades de realizar selección para rendimiento y calidad tanto del totomoxtle como del grano, para mejorar los ingresos del productor.

La interacción de las poblaciones con el ambiente fue significativa ($P \leq 0.01$) para las variables HT, HB, LH y PH; mientras que la interacción de familias dentro de cada población con el ambiente no fue significativa, con excepción de PH en las poblaciones de Marcelino y de Pedro.

El coeficiente de variación se considera aceptable (Cuadro 2.6) ya que el máximo fue de 25.2 % para PH y el mínimo de 7.2 % para LH; es importante mencionar que las medias de las variables LH y AH son de 25.2 y 18.1 cm, considerándose de excelentes medidas para su uso como envoltura de tamal, pero la variación significativa implica que aún se pueden mejorar.

2.7.4.- Comparación de medias por población y los testigos

La comparación de medias para las variables en estudio se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para las medias por población, incluyendo a la de los testigos (Cuadro 2.7). Las poblaciones más tardías fueron los maíces de cajete y presentaron también la mayor altura de planta y de inserción de mazorca; por otro lado, la población de Manuel presentó mayor precocidad.

La población de Enrique presentó el mejor porcentaje de grano por mazorca, lo cual puede aportar a un mejor rendimiento, el cual fue similar al de los testigos con 3.7 t.ha^{-1} ; el porcentaje de mazorcas podridas fue alto para las poblaciones de Manuel, Pedro y Marcelino, lo cual se atribuye a la adaptación limitada de las poblaciones en la localidad de Montecillo, Edo. de México.

Para las dimensiones de grano y de la mazorca, la población de Marcelino presentó un diámetro de mazorca de 5.65 cm superando a los testigos, y 15.04 cm de longitud de mazorca, superado por la población de Manuel. Todas las poblaciones nativas superaron a los testigos en las dimensiones del grano; de igual manera, para las dimensiones de las hojas del totemoxtle, las poblaciones fueron superiores a los testigos; los valores de LH y AH en promedio fueron superiores a los reportados por Flores -Rosales *et al.* (2015), lo cual puede deberse a las diferencias regionales de las poblaciones de maíz, así como a la selección recurrente por parte de los agricultores.

Cuadro 2.7 Comparación de medias en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México. Ayapango y Montecillo, Edo. Méx.,2017

Variable	Testigo	Marcelino	Pedro	Enrique	Manuel	DSH
Variables agronómicas						
DFM	109.40	a 102.22	b 102.16	b 100.09	c 99.10	d 0.50
AP	3.07	a 2.93	b 2.93	b 2.76	c 2.79	c 0.06
AMZ	2.07	a 1.80	b 1.86	b 1.66	c 1.69	c 0.05
MZP	11.35	c 24.85	a 24.48	a 21.32	b 25.29	a 3.51
PPG	86.28	d 87.52	c 88.78	a 89.19	a 88.40	b 0.59
RG	3.79	a 3.50	a 3.34	c 3.73	A 3.41	b 0.34
Caracteres de mazorca						
DMZ	4.78	d 5.65	a 5.08	c 5.27	b 4.97	c 0.12
LMZ	15.72	b 15.04	c 15.93	b 15.59	b 16.45	a 0.48
NH	14.66	d 18.10	a 15.75	b 14.50	d 15.16	c 0.36
NGH	29.19	a 26.85	b 28.58	a 26.72	b 28.92	a 0.98
DO	2.72	b 3.12	a 2.63	c 2.69	b 2.65	b 0.08
LO	15.27	b 14.41	c 15.31	b 15.04	b 16.01	a 0.52
Caracteres de grano						
Egr	44.63	d 47.33	b 46.49	c 48.68	a 47.61	b 1.00
Agr	88.50	b 83.52	d 85.12	c 94.89	a 85.95	c 1.32
Lgr	137.57	d 162.75	a 157.40	b 163.70	a 151.1	c 2.78
Caracteres de brácteas de la mazorca						
HT	6.38	b 6.66	a 6.13	c 6.03	c 5.60	d 0.22
HB	4.41	a 4.43	a 4.19	a 3.93	b 3.77	b 0.25
LH	23.80	c 24.73	b 25.52	a 25.57	a 25.42	a 0.47
AH	17.49	d 18.41	a 18.50	a 17.66	c 18.00	b 0.47
PH	153.48	a 137.18	b 133.34	b 137.54	b 125.6	c 8.85

5

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta (m); AMZ= Altura de mazorca (m); MZP= Mazorcas podridas (%); PPG= Proporción de grano por mazorca (%); RG= Rendimiento de grano (t/h¹); DMZ= Diámetro de mazorca (cm); LMZ= Longitud de mazorca (cm); NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote (cm); LO= Longitud de olote (cm); Egr= Espesor de grano (mm); Agr= Ancho de grano (mm); Lgr= Longitud de grano (mm); HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle (cm); AH= Ancho de hoja del totomoxtle (cm); PH= Peso de hojas del totomoxtle (g).

2.7.5.- Variación entre las poblaciones testigos para variables agronómicas, componentes de rendimiento de grano y totomoxtle por localidad

Al agrupar a las poblaciones de maíz de cajete y de manera separada a los híbridos comerciales por localidad de evaluación (Cuadro 2. 8), se observó una menor expresión en las poblaciones nativas para rendimiento de grano en la localidad de Montecillo, la cual se atribuye por su especificidad de adaptación, tal como menciona Ortega (2003) quien reporta que los maíces de la región Chalco-Amecameca son propios del lugar y no prosperan adecuadamente en la región de Texcoco, a pesar de que es similar en ubicación y clima, similar al caso del maíz de la raza Jala ya que dicha raza no expresa sus características en otras regiones como en el Valle de Jala (CONABIO 2010). Los híbridos y las colectas de la Mixteca Oaxaqueña en la localidad de Montecillo presentaron rendimiento de grano ligeramente mayor que en Ayapango; el rendimiento de grano de los híbridos fue superado por las poblaciones nativas del Surestes del Edo. de México, en la localidad de Ayapango.

En la producción de totomoxtle los híbridos presentaron el mayor número de hojas, pero de dimensiones reducidas comparado a las poblaciones nativas; los híbridos presentaron valores bajos para caracteres importantes del componente del rendimiento de grano como: DMZ, NH, Egr y Lgr.

Cuadro 2. 8.- Comparación de medias en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México, Híbridos comerciales y poblaciones de cajete. Ayapango y Montecillo, Edo de México, 2017

VAR	Maíz Cajete		Pedro		Marcelino		ASNP		Híbrido		Enrique		Manuel		DSH (0.05)	
LOC	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya	Mon	Aya
DFM	102a	123.1a	91.5b	112.8b	92.1b	112.7b	92b	112b	89.7c	111.1b	89.5c	110.6b	88.7d	109.5c	2.1	2.3
AP	3.7a	2.8a	3.2b	2.6a	3.2b	2.7a	3.3b	2.9a	2.6e	2.3c	3c	2.5b	2.9d	2.7a	0.2	0.3
AMZ	2.7a	1.9a	2.2b	1.6b	2.1b	1.5b	2.1b	1.7a	1.5d	1.1c	1.9c	1.4b	1.9c	1.5b	0.2	0.3
RG	4.3a	3.1b	2.5b	4.2b	3.2a	3.8b	4.3a	6.5a	3.6a	3.3b	3.3a	4.2b	2.3b	4.5b	1.4	1.6
PPG	86.5a	86.5b	88.4a	89.1a	87.5a	87.5a	86.9a	87.4a	85b	85.1c	89.2a	89.2a	88.5a	88.3a	3.0	2.0
Egr	43.5b	46.4a	47.3a	45.7a	47.7a	46.9a	47.9a	45.8a	40.8c	44.1b	48.7a	48.6a	47.9a	47.3a	5.1	3.3
Agr	86.4c	89.2a	85.2c	85c	84.2c	82.8d	92.8a	92.1a	87.6b	91.4a	95.2a	94.6a	85.4c	86.5b	5.9	5.4
Lgr	138.5c	137.9b	155.9a	158.9a	164.4a	161.1a	150.2b	155.6a	128.9d	131.5b	164.6a	162.8a	149b	153.1a	13.7	9.8
MZP	20.8b	2.7a	45.2a	4a	44.4a	5.3a	33.7a	4.8a	14.1c	0.6a	36.8a	6.1a	47.7a	3.3a	19.9	8.3
DMZ	4.8b	4.7c	5,10b	5.1a	5.8a	5.5a	5.1b	5.1a	4.8b	4.8b	5.3a	5.2a	5b	4.9b	0.6	0.5
LMZ	16.1a	15.4a	15.8a	16a	15.4a	14.7b	15.4a	17.3a	15a	15.7a	16.1a	15.1b	16.6a	16.3a	2.0	2.1
NH	15.2b	14c	15.7b	15.8b	18.1a	18.1a	14.6b	13.9c	15.3b	14.5b	14.5b	14.6b	15.2b	15.1b	1.7	1.4
NGH	30.4a	27.4a	27.9a	29.3a	27.3a	26.4b	27.9a	30.6a	30.5a	30.1a	27.8a	25.6c	28.8a	29.1a	4.6	3.8
DO	2.8b	2.6b	2,68b	2.6b	3.2a	3a	2.8b	2.76a	2.8a	2.8a	2.7b	2.7b	2.7b	2.6b	0.4	0.3
LO	15.3a	15.3a	15.29a	15.3a	14.7a	14.1b	14.8a	17a	14.6a	15.5a	15.6a	14.5b	16.1a	15.9a	2.1	2.2
HT	6.2b	6.1a	6.4b	5.8a	7a	6.3a	6.6b	6a	7.7a	6.6a	6.4b	5.6b	5,81c	5.4c	1.1	0.8
HB	3.9a	4.7a	3.6a	4.7a	4a	4.9a	3b	4.9a	4.8a	5a	3.5b	4.3a	3.2b	4.4a	1.2	0.9
LH	23.1a	24.7d	24.1a	26.8a	23.8a	25.7b	22.7b	27.9a	21.5c	24.3d	25a	26.2a	24.5a	26.3a	2.2	1.8
AH	16.7a	18.4b	17.4a	19.6a	17.4a	19.4a	18.4a	21.1a	15b	18.1b	16.7a	18.6b	16.8a	19.2b	2.1	1.9
PH	153.3a	154.9b	117.7a	148.2b	135.9a	138.5b	113.3a	191.7a	136.9a	164.4a	136.3a	138.8b	113.4a	137.3b	43.2	32.8

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); LOC= Localidad; Mon= Montecillo; Aya= Ayapango; DSH= Diferencia mínima significativa; DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta (m); AMZ= Altura de mazorca (m); MZP= Mazorca podrida (%); PPG= Proporción de grano por mazorca (%); RG= Rendimiento de grano (t/h¹); DMZ= Diámetro de mazorca (cm); LMZ= Longitud de mazorca (cm); NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote (cm); LO= Longitud de olote (cm); Egr= Espesor de grano (mm); Agr= Ancho de grano (mm); Lgr= Longitud de grano (mm); HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle (cm); AH= Ancho de hoja del totomoxtle (cm); PH= Peso de hojas del totomoxtle (gr).

2.7.6.- Estimación de la heredabilidad para medias de FMHM en las cuatro poblaciones nativas

La varianza genética atribuible a familias y la heredabilidad para medias de familias se presentan en el Cuadro 2.9 para todas las variables en estudio, estimadas a través de considerar las esperanzas de los cuadrados medios; la heredabilidad expresa el grado en que los fenotipos de los individuos están determinados por los efectos de los genes transmitidos por los progenitores a sus descendientes; en este caso al nivel de medias de familias.

Los valores de heredabilidad fueron variables, dependiendo del carácter y las poblaciones; como menciona Hallauer and Miranda (1981), los valores de heredabilidad son influenciados por el tipo de población, la característica en estudio y por el ambiente. Los valores para PPG osciló de entre 0.25 a 0.69, mientras que para Rendimiento de grano el valor máximo fue de 0.35 en la población de Enrique, valores ligeramente bajos a los reportados por Castañón y Latournerie (2004) para líneas S₁ de maíz (0.58), por lo que se considera correcto, debido al tipo de parentesco en las familias; además, el rendimiento está determinado por muchos genes, como menciona Hallauer and Miranda (1981), de modo que la heredabilidad para el rendimiento de grano en maíz es menor a la heredabilidad de las demás características, pero la magnitud observada en este estudio es suficiente para realizar selección.

Los valores altos de heredabilidad para medias de familias corresponden a DFM (0.55-0.72), AMZ (0.43-0.55) y AP (0.20-0.43), similares a los reportados por Castañón y Latournerie (2004), lo cual coincide con Hallauer and Miranda (1981), quienes señalan que para las variables altura de planta y de mazorca los valores que se han reportado son mayores de 50 % y menores de 70 %, ya que son caracteres controlados por pocos genes. Otro estudio realizado por Noor *et al.* (2010) reportan valores altos para el carácter días a floración masculina (0.88) y femenina (0.77),

coincidiendo con estos resultados y se entiende que dichos caracteres están poco influenciados por el ambiente.

La variable NH fue muy estable para todas las familias (0.5-0.6), dichos valores indican que los caracteres están determinados en mayor magnitud por efectos aditivos, por lo que la selección para esos caracteres en las familias deberá ser efectiva para mejorar la población original y es probable que el ambiente afecte poco esa respuesta; para Egr y Agr los valores fueron de entre 0.25 a 0.55 y 0.39 a 0.66, respectivamente.

Los atributos relacionados a la producción de totomoxtle presentan de moderada a alta heredabilidad para todas las poblaciones, donde la variable LH presentó una heredabilidad de entre 0.40 a 0.65 y para HT de entre 0.38 a 0.62, mientras que Mejía (1981) reporta una heredabilidad media para la variable longitud del totomoxtle de 23 % y baja heredabilidad para número de hojas del totomoxtle con 8.4 %; por su parte, Sierra *et al.* (2016) en cruzas de maíces hojeros y mejorados detectaron buena aptitud combinatoria general para longitud y ancho de las hojas del totomoxtle, lo cual indica que la variación para tales caracteres son del tipo aditivo y por lo tanto, se espera una buena respuesta a la selección en la incorporación de dichos caracteres como criterios de selección al programa de mejoramiento, obteniéndose en expectativa poblaciones con mayor producción de totomoxtle y de mejor calidad, y que indirectamente se puede mejorar el rendimiento de grano, ya que el totomoxtle contribuye a la producción de fotosintatos (Kang *et al.*, 1986) y protege a las mazorcas contra insectos plaga (Mejía, 1981), con la posibilidad de generar ingresos económicos importantes a los agricultores que mantienen la diversidad del maíz

De acuerdo a los resultados y la importancia de la producción del totomoxtle, se propone incorporar dichos caracteres al programa de mejoramiento genético y que al tener valores altos de heredabilidad se podrá mejorar las poblaciones con técnicas sencillas de mejoramiento y de forma participativa con los agricultores, para conservar la diversidad obteniendo ganancias para los

agricultores en la venta de totomoxtle para la envoltura de tamales, principalmente para el mercado regional.

Cuadro 2.9.- Componentes de varianza para familias (σ_f^2) y heredabilidad (h_F^2) de las variables en estudio. Ayapango y Montecillo, Edo. de México, 2017.

Variables	Enrique		Manuel		Marcelino		Pedro	
	σ_f^2	h_F^2	σ_f^2	h_F^2	σ_f^2	h_F^2	σ_f^2	h_F^2
Variables agronómicas								
DFM	1.08	0.66	0.58	0.55	1.71	0.72	1.55	0.70
AP	0.01	0.34	0.00	0.20	0.01	0.43	0.00	0.21
AMZ	0.01	0.55	0.01	0.43	0.01	0.45	0.01	0.47
MZP	3.37	0.07	0.00	0.00	16.07	0.26	11.97	0.19
PPG	0.73	0.48	0.37	0.25	1.17	0.49	1.20	0.69
RG	0.26	0.35	0.13	0.31	0.04	0.06	0.001	0.00
Caracteres de mazorca								
DMZ	0.00	0.00	0.01	0.22	0.00	0.00	0.02	0.38
LMZ	0.21	0.24	0.06	0.09	0.11	0.10	0.30	0.40
NH	0.36	0.61	0.38	0.59	0.46	0.50	0.52	0.61
NGH	1.46	0.43	1.16	0.30	0.43	0.11	0.81	0.29
DO	0.01	0.36	0.01	0.41	0.02	0.40	0.01	0.20
LO	0.15	0.17	0.02	0.03	0.17	0.17	0.31	0.35
Caracteres de grano								
Egr	2.56	0.46	0.80	0.25	2.28	0.48	2.43	0.55
Agr	6.62	0.58	5.20	0.53	6.15	0.66	3.95	0.39
Lgr	20.34	0.51	4.54	0.20	0.00	0.00	4.63	0.16
Caracteres de brácteas de la mazorca								
HT	0.08	0.38	0.13	0.62	0.18	0.54	0.09	0.50
HB	0.10	0.49	0.09	0.47	0.12	0.42	0.05	0.29
LH	0.65	0.50	0.41	0.40	0.99	0.65	0.67	0.65
AH	0.42	0.47	0.55	0.53	0.31	0.25	0.30	0.36
PH	47.32	0.16	53.09	0.27	236.72	0.36	121.04	0.34

DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta (m); AMZ= Altura de mazorca (m); MZP= Mazorca podrida (%); PPG= Proporción de grano por mazorca (%); RG= Rendimiento de grano (t/h¹); DMZ= Diámetro de mazorca (cm); LMZ= Longitud de mazorca (cm); NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote (cm); LO= Longitud de olote (cm); Egr= Espesor de grano (mm); Agr= Ancho de grano (mm); Lgr= Longitud de grano (mm); HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle (cm); AH= Ancho de hoja del totomoxtle (cm); PH= Peso de hojas del totomoxtle (g).

2.7.7.- Respuesta esperada a la selección para medias de FMHM en cuatro poblaciones de maíz nativas del SE del Edo. de México

La importancia de la heredabilidad en el estudio genético de los caracteres métricos radica en su sentido predictivo de la respuesta a la selección (Nyquist and Baker, 1991). Por lo tanto, se realizaron estimaciones para medias de familias si se aplicase selección bajo una presión del 5 %, para todas las variables en estudio (Cuadro 2.10), donde se observa que la ganancia genética esperada es diferente entre las poblaciones y dependiendo del tipo de carácter.

Para rendimiento de grano, la selección entre familias en las poblaciones de Enrique y de Manuel se estimaron las respuestas más altas con 16 y 12 %, respectivamente; considerando que dichas poblaciones presentaron una media de 3.7 y 3.4 ton/ha, se esperaría que para la siguiente generación fuera de 4.3 y 3.8 ton/ha, respectivamente; es decir, un incremento en promedio, de media tonelada por hectárea por ciclo de selección. Para los componentes de mazorca para la mayoría de las poblaciones se estimó una respuesta de entre 2 a 7 %, y para las dimensiones del grano de 1 a 5 %, los cuales contribuirán en el rendimiento final de grano. Con respecto a las variables asociadas a la producción de totemoxtle, la variable HB presentó una respuesta a selección de entre 10 a 12 % para todas las poblaciones, con excepción de la población de Pedro, que reporta una respuesta de 6 %, lo cual se considera buena respuesta por ciclo de selección, ya que en dos generaciones de selección se tendría la ganancia de una hoja aprovechable adicional. La población de Marcelino presentó buena respuesta para todas estas variables; la variable PH presentó un incremento estimado de 20 g por ciclo de selección, el cual será afectado por el grosor y tamaño de las hojas y la componente ancho de hoja del totemoxtle presentaría menor aportación, aunque es de considerar que la media fue de 18 cm, lo cual es bastante bueno. Lo anterior indica que es de esperarse que haya respuesta favorable a la selección a través de los ambientes. Con base en los resultados, sería recomendable el ampliar los criterios de selección, incorporando a la valoración

del rendimiento y los atributos del totomoxtle, debido a la presencia de variación para efectos aditivos que conlleva buena respuesta a la selección. El mejoramiento genético deberá ser efectivo también con la aplicación de técnicas sencillas de mejoramiento y de forma participativa con los agricultores de la región, acrecentando el potencial de las poblaciones nativas y manteniendo la diversidad genética.

Cuadro 2.10.- Respuesta a la selección para medias de FMHM en variables de componentes de la productividad y rendimiento. Ayapango y Montecillo, Edo. de México, 2017.

Variables	Enrique		Manuel		Marcelino		Pedro	
	Valor abs.	%						
Variables agronómicas								
DFM	1.74	1.73	1.17	1.18	2.28	2.23	2.15	2.10
AP	0.10	3.49	0.05	1.78	0.12	4.16	0.06	1.89
AMZ	0.16	9.87	0.10	5.81	0.12	6.55	0.13	6.86
MZP	0.99	4.63	0.00	0.00	4.21	16.95	3.14	12.81
PPG	1.22	1.37	0.63	0.71	1.57	1.79	1.87	2.11
RG	0.61	16.47	0.41	12.15	0.11	3.02	0.002	0.06
DMZ	0.00	0.00	0.09	1.73	0.00	0.00	0.18	3.50
LMZ	0.46	2.97	0.15	0.93	0.21	1.43	0.72	4.54
NH	0.97	6.66	0.98	6.46	0.99	5.50	1.16	7.37
NGH	1.63	6.09	1.22	4.22	0.45	1.68	0.99	3.47
DO	0.11	4.14	0.13	4.86	0.17	5.36	0.08	2.87
LO	0.33	2.19	0.05	0.30	0.35	2.44	0.68	4.45
Caracteres de grano								
Egr	2.23	4.58	0.93	1.95	2.16	4.57	2.39	5.15
Agr	4.03	4.24	3.43	3.99	4.17	4.99	2.55	3.00
Lgr	6.62	4.04	1.96	1.30	0.00	0.00	1.80	1.15
Caracteres de brácteas de la mazorca								
HT	0.36	5.94	0.58	10.44	0.64	9.58	0.44	7.17
HB	0.46	11.79	0.42	11.02	0.46	10.47	0.25	6.07
LH	1.18	4.62	0.83	3.28	1.66	6.70	1.36	5.33
AH	0.91	5.17	1.12	6.21	0.58	3.13	0.68	3.68
PH	5.75	4.18	7.80	6.21	19.16	13.96	13.30	9.98

DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta (m); AMZ= Altura de mazorca (m); MZP= Mazorca podrida (%); PPG= Proporción de grano por mazorca (%); RG= Rendimiento de grano (t/h¹); DMZ= Diámetro de mazorca (cm); LMZ= Longitud de mazorca (cm); NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote (cm); LO= Longitud de olote (cm); Egr= Espesor de grano (mm); Agr= Ancho de grano (mm); Lgr= Longitud de grano (mm); HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle (cm); AH= Ancho de hoja del totomoxtle (cm); PH= Peso de hojas del totomoxtle (g).

2.8.-CONCLUSIONES

La variación significativa detectada entre las familias de medios hermanos para todos los caracteres en estudio indican que la variabilidad genética aditiva asociada, puede respaldar al planteamiento de mejorar por selección recurrente la producción y calidad del grano, incorporando las variables asociadas a la producción y calidad del totomoxtle, lo que permitiría un ingreso adicional a los productores.

Las diferencias entre las localidades permitieron que las familias pudieran expresar su potencial genético y adaptabilidad a nichos ecológicos específicos. Los valores de heredabilidad estimada para medias de familias de medios hermanos y la estimación de la ganancia por ciclo de selección entre familias de medios hermanos, permiten suponer que se puede mejorar la población para aumentar la frecuencia de alelos favorables de caracteres importantes, como las dimensiones de mazorca y de granos, y la proporción de grano en la mazorca para aumentar el rendimiento de grano; así también, las variables longitud y ancho de las hojas del totomoxtle así como el número de hojas totales y el número de hojas aprovechables para el incremento en la producción de hojas, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores se puede mejorar a las poblaciones nativas manteniendo tal diversidad genética.

2.9.-LITERATURA CITADA

- Andrés-Meza P., M. Sierra-Macías, A. Espinosa-Calderón, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, F. A. Rodríguez-Montalvo, M. Tadeo-Robledo (2014)** Hoja de maíz (*Zea mays* L.), importante actividad en la zona Norte del Estado de Veracruz, México. *Agroproductividad* 7:13–20.
- Castañón N. G. y L. Latournerie M. (2004)** Comportamiento de familias S1 de maíz en distintos pH del suelo. *Bragantia* 63:63-72, <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000100007>
- Castillo G. F. (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia* 44: 69-79.
- Castillo G. F., E. Herrera, J. Romero, R. Ortega, M. Goodman, M. E. Smith (2000)** Diversidad genética del maíz y su aprovechamiento *In situ* a nivel regional. *En*: CIAT, (editor), Fitomejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe. Mem. Simp. Internacional. Quito, Ecuador. Ago 31-Sep. 3. 1999. CIAT–Programa PRGA del CGIAR. Cali, Colombia. 7 p.
- Chávez-Servia J. L., J. Canul, J. V. Cob, L. A. Burgos, F. Márquez, J. Rodríguez, L. M. Arias, D. E. Williams, D. I. Jarvis (2000)** Mejoramiento participativo con maíz en un proyecto de conservación *In Situ* en Yucatán, Méx. *In*: Programa PRGA-CIAT (ed.), Memorias de un Simposio Internacional de Fitomejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe, Quito, Ecuador. Ago 31- Sep. 3, 1999. CIAT–Programa PRGA del CGIAR. Cali, Colombia. 6 p.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2010)** Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F., http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf
- Demissie G., T. Tefera, A.Tadesse (2008)** Importance of husk covering on field infestation of maize by *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidea) at Bako, Western Ethiopia. *African Journal Biotechnol* 7:3777–3782, <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Ekhuemelo D. O. and K. Tor (2013)** Assessment of fibre characteristics and suitability of maize husk and stalk for pulp and paper production. *Journal of Research In Forestry* 5:41–49.

- Esquivel E. G., F. Castillo G., J. M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García de los S., J. A. Acosta G. y A. Ramírez H. (2011)** Heterosis en maíz del altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:331–344.
- Flores-Rosales M. D. C., J. A. Hernández-Guzmán, A. Gil-Muñoz, P. Antonio López, F. Parra-Inzunza and F. V. González-Cossío (2015)** Variability in cornhusk traits of landraces from the state of Puebla, Mexico. *Agronomy Journal* 107:1119–1127, <http://doi.org/doi:10.2134/agronj14.0542>
- Hallauer A. R. and J. B. Miranda (1981)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. First ed. Univ. Press, Ames. Iowa State, USA. 468 p.
- Hernandez X. E. (1985)** Maize and man in the Greater Southwest. *Economic Botany* 39:416–430, <https://doi.org/10.1007/BF02858749>
- Hernández C. J. M. (2010)** Proyecto FZ016 “Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Segunda etapa 2008-2009”. Informe final del Estado de México y D. F. INIFAP, Campo Experimental Valle de México. 17 p
- Herrera C. B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. A. Ortega P. y M. M. Goodman (2000)** Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:335–354.
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, J. J. Sánchez-González, J. M. Hernández-Casillas, R. A. Ortega-Pazkca y M. M. Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191–206.
- Herrera-Cabrera, B. E., F. Castillo-González, R. A. Ortega-Pazkca y A. Delgado-Alvarado. (2013)** Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:33–43.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C. y L. Córdova T. (2008)** Diversidad morfológica de maíces nativos del valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189–200
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López y S. Miranda C. (2012).** Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97–109.

- Huang X. and B. Han (2014)** Natural variations and genome-wide association studies in crop plants. *Annual Review of Plant Biology* 65:531–551, <http://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035715>
- Kang M. S., M. S. Zuber, T. R. Colbert and R. D. Horrocks (1986)** Effects of certain agronomic traits on and relationship between rates of grain-moisture reduction and grain fill during the filling period in maize. *Field Crops Research* 14:339-347, [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90068-7)
- Kato T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- King A. (2007)** Trade and totemoxtle: livelihood strategies in the Totonacan region of Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values* 24:29–40, <https://doi.org/10.1007/s10460-006-9031-3>
- Li C. Y., H. W. Kim, S. R. Won, H. K. Min, K. J. Park, J. Y. Park, M. S. Ahn, And H. I. Rhee (2008)** Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:11413–11416, <http://doi.org/10.1021/jf802201c>
- Lilja N. and M. Bellon (2006)** Analysis of Participatory Research Projects in the International Maize and Wheat Improvement Center. Mexico, D.F.: CIMMYT
- Long N. and M. Villarreal (1998)** Small product, big issues: value contestations and cultural identities in cross-border commodity networks. *Development and Change* 29:725–750, <https://doi.org/10.1111/1467-7660.00097>
- López-Romero G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez y H. Vaquera-Huerta (2005)** Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284–290.
- López R. G., A. Santacruz V., A. Muñoz O., F. Castillo G., L. Córdova T. y H. Vaquera H. (2010)** Perfil isoenzimático de maíces nativos del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. I. Caracterización de Grupos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:1–10.
- Matsuoka Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler and J. Doebley (2002)** A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping.

Proceedings of the National Academy of Sciences 99:6080–6084, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.052125199>

Mejía Contreras J. A., (1981) La cobertura de la mazorca del maíz su heredabilidad y su correlación con otros caracteres. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. 160 p.

Molina Galán J. D. (1992) Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor, México. 349 p.

Noor M., H. Rahman, Durrishahwar, M. Iqbal, S. M. A. Shah and I. Ullah (2010) Evaluation of maize half sib families for maturity and grain yield attributes. *Sarhad Journal of Agriculture* 26: 545-549.

Norashikin M. Z. and M. Z. Ibrahim (2009) The potential of natural waste (corn husk) for production of environmental friendly biodegradable film for seedling. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 58:176–180.

Nyquist W. E. and R. J. Baker (1991) Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences* 10:235–322, <http://dx.doi.org/10.1080/07352689109382313>

Ortega P. R. (2003) La diversidad del maíz en México. En: *Sin Maíz no Hay País*. G. Esteva y C. Marielle (eds). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F. pp:123-154.

Perales R. H., S. B. Brush, and C. O. Qualset (2003) Dynamic management of maize landraces in central Mexico. *Economic Botany* 57:21–34, <http://www.jstor.org/stable/4256639>

Ramírez-Díaz J. L., J. Ron-Parra, J. J. Sánchez-González y M. Chuela-Bonaparte (2000) Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-CE. *Agrociencia* 34:33–39

Reddy N. and Y. Yang (2005) Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. *Green Chemistry* 7: 190–195, <https://doi.org/10.1039/b415102j>

Rincón E., G., P. Ramírez V., J. J. Sánchez G. y T. Á. Kato Y. (2005) Variación isoenzimática en poblaciones de teocintle. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:105–113.

Ristic D., M. Kostadinovic, N. Kravic, V. Andjelkovic, J. Vancetovic, D. Ignjatovic-Micic (2014) Genetic diversity in maize flint landraces assessed by morphological and SSR

markers. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture and Food* 2:206–213.
<https://doi.org/10.2298/GENSR1303811R>

Rocandio-Rodríguez M., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, H. López-Sánchez, F. Castillo-González, R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala y R. Ortega-Paczka (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351–361.

Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and J. O. Rawlings (1993) Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany* 47:44–59, <https://doi.org/10.1007/BF02862205>

Sanchez G. J. J., C. W. Stuber and M. M. Goodman (2000a) Isozymatic diversity in the races of maize of the Americas. *Maydica* 45:185–203.

Sanchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000b) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59.

SAS, Statistical Analysis System. Institute Inc. 2013. Base SAS® 9.4 Procedures guide: statistical procedures, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/procstat/66703/PDF/default/procstat.pdf>

SIAP, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2017) El totomoxtle; mucho más que forraje: materia prima hasta para la elaboración de artesanías. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-totomoxtle-mucho-mas-que-forraje-materia-prima-hasta-para-la-elaboracion-de-artesantias> (mayo de 2018).

Sierra-Macías M., P. Andrés-Meza, F. A. Rodríguez-Montalvo y A. Espinosa-Calderón (2016) Introgresión genética de genotipos mejorados en maíces nativos de las razas Tuxpeño y Olotillo con calidad de hoja del totomoxtle. *Revista de Aplicación Científica y Técnica* 2:45-52.

Smith M. E., F. Castillo G. and F. Gómez (2001) Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica* 122:551–565.

Zambrano Z. E. E. (2013) Valoración del mejoramiento genético Participativo *in situ* en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) Criollo en el sureste del estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Texcoco, México. 61 p.

**CAPÍTULO III.- VIGOR A LA EMERGENCIA Y SU RELACIÓN CON
PRODUCTIVIDAD Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN POBLACIONES
NATIVAS DE MAÍZ**

3.1.-RESUMEN

El vigor de las semillas puede tener efectos importantes en el establecimiento adecuado de la densidad de población del cultivo; tasas de germinación más lentas y heterogéneas, mayor proporción de plántulas morfológicamente anormales, con capacidad insuficiente para emerger en condiciones estresantes de siembra profunda. En el SE del Edo. de Méx., prevalecen las siembras de maíz nativo bajo el sistema de humedad residual, donde el vigor de las semillas es muy importante pues estos son depositados a gran profundidad. Se plantea como objetivo estudiar la relación entre las variables relacionadas para el vigor de plántulas a la emergencia y los componentes de productividad y rendimiento. El material genético estuvo constituido por cuatro poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño representadas por 60 FMHM de cada población y como testigos se incluyeron 11 poblaciones nativas de la Mixteca Alta del Edo., de Oaxaca “maíz tipo cajete”, tres híbridos comerciales y una población recombinante adaptada a valles altos. La prueba de vigor se estableció en camas de arena con siembra de 20 cm de profundidad, bajo invernadero en Montecillo, Edo. de Méx. La valoración del rendimiento y sus componentes se estableció en dos localidades: Montecillo y Ayapango ambas en el Edo. de Méx., ciclo agrícola 2017, con diseño experimental de parcelas divididas en BCA y tres repeticiones. Se consideraron los caracteres relacionados a vigor de plántulas, mazorca, grano, planta y brácteas. Con los promedios de cada familia de MHM para cada uno de los caracteres medidos, se realizó un análisis de correlación canónica para cada una de las poblaciones nativas. Se observó una correlación positiva entre las dos primeras variables canónicas (Vigor1 y Rendimiento1) con coeficiente de entre 0.5 a 0.59 para las poblaciones y 0.91 para testigos, donde las variables con mayor influencia para vigor1 fueron Longitud del mesocótilo y plántula, porcentaje y velocidad de emergencia, mientras que para la variable canónica Rendimiento1 las variables con mayor efecto fueron altura de planta y mazorca, peso y número de hojas del totomoxtle y las dimensiones de grano. Por lo que se considera la existencia de una correlación positiva entre dichas variables, lo cual permite aprovechar la variación asociado a vigor para la formación de variedades mejoradas con potencial productivo de calidad.

Palabras clave: vigor a la emergencia, rendimiento de grano, maíz, correlación canónica

SEEDLING VIGOUR AND ITS RELATION TO GRAIN YIELD AND YIELD COMPONENTS IN NATIVE MAIZE POPULATIONS

3.2.-SUMMARY

Seeds vigor is important for the adequate population density of the crop; lower and heterogeneous germination rates, a greater proportion of morphologically abnormal seedlings, with insufficient capability to emerge in stressful conditions of deep sowing may determine inadequate populations densities. In the south eastern state of Mexico, farming of native maize populations prevails under the residual humidity cropping system, where the seeds have to be set at great depth and seed vigor is then so important. This research aims to study the relationship between the variables related to emergency vigour and the productivity and grain yield components. The genetic material was constituted by four native maize populations of the Chalqueño race, represented by 60 families of maternal half sibs by each population; as controls were include 11 native populations of the highland Mixteca of the state of Oaxaca, "maize de cajete", three local hybrids and a recombinant population adapted to highland valleys. The vigour test was established at 20 cm deep in a sand bed under greenhouse conditions in Montecillo, state of Mexico. The grain yield assessment was established in two locations: Montecillo and Ayapango both in the State of Mexico, 2017 growing season, with experimental design of split plots into randomized complete blocks design with three replicates, each traits related to the vigor of seedlings, ears, kernel, plant and cornhusk were considered. With the averages of entry for each of the measured traits, a canonical correlation analysis was performed for each native populations. A positive correlation was observed between the first two canonical variables (Vigor1 and Yield1) with a coefficient between 0.5 to 0.59 for the maize populations and 0.91 for controls, where the variables with the greater influence for vigor were mesocotyl and seedling length, percentage and emergency speed, while for the canonical variable Yield1, the variables with the greater effect were plant and ears height, weight and number of totomoxtle leaves and kernel dimensions. Therefore, the existence of a positive correlation between these variables, makes it possible to take advantage of the variation associated with vigour for the genetic improvement of native maize populations with seed quality and productivity potential.

Keywords: emergency vigour, grain yield and components, maize, canonical correlation

3.3.-INTRODUCCIÓN

La diversidad genética es la materia prima para el mejoramiento de los cultivos, por lo que es necesario conocer dicha variación con el fin de identificar aquéllas que sean útiles para la obtención de variedades e híbridos de alta productividad (Castillo, 1993). Además, para el aprovechamiento de dicha diversidad es importante la conservación de las poblaciones nativas en su contexto; para ello, es de gran importancia conocer la manera en que el cultivo ha evolucionado a través del tiempo y su relación con ciertas condiciones ambientales, tecnologías tradicionales y usos específicos en cada región. México es uno de los países con mayor diversidad del maíz, reportándose un total de 59 razas bien definidas (Sánchez *et al.*, 2000) de las cuales sólo una pequeña fracción ha sido utilizada en los programas de mejoramiento genético convencionales a pesar de que se han detectado algunas poblaciones con características agronómicas deseables y alto potencial de rendimiento; esto se debe a que se procura evitar la introducción de susceptibilidad a enfermedades asociados al uso de materiales exóticos, además de que esto requiere mayor trabajo y tiempo (Ortega *et al.*, 1991). Las razas de maíz están en constante cambio debido a la selección natural y la intervención del hombre (Doebley, 2004), especialmente en las poblaciones nativas manejadas por pequeños productores, cultivadas en diferentes nichos ecológicos; por ello, es importante profundizar los estudios de diversidad para el planteamiento de técnicas de estrategias y metodologías de aprovechamiento y conservación.

Las poblaciones nativas del maíz poseen virtudes como: adaptación a múltiples condiciones ambientales y agronómicas, son aptas para usos especiales (platillos tradicionales), presentan alta respuesta a la selección para rendimiento de grano, resistencia a plagas y enfermedades (Ortega, 2003). Para el caso de la raza Chalqueño, sus poblaciones presentan alto vigor de germinación y emergencia; además, presenta resistencia a la sequía en etapas medias del ciclo de crecimiento, ya

que se cultivan principalmente en valles altos de México bajo humedad residual y en suelos volcánicos (CONABIO, 2010).

En el sureste del estado de México se sigue conservando y cultivando el maíz nativo o usualmente llamada criollo (variantes de la raza Chalqueño) bajo el sistema de humedad residual, lo cual significa que el establecimiento y desarrollo inicial del cultivo depende principalmente del agua que se conserva en el suelo; esto es posible gracias a las condiciones climáticas y edáficas de la región y la preparación adecuada del terreno por parte de los agricultores, como es la cosecha adelantada y rastreo inmediato del suelo para evitar la liberación de la humedad contenida en él. Bajo este sistema de siembra y condiciones limitadas de humedad, las semillas pueden ser depositadas a profundidades mayores a 20 cm con el objetivo de buscar la humedad necesaria para el proceso de germinación y crecimiento de las plántulas, lo cual con frecuencia determina bajos porcentajes de emergencia y consecuentemente bajas densidades de población, por lo que los agricultores se ven obligados a “resembrar”, lo que implica costos adicionales de producción, con posibles efectos negativos al rendimiento, debido a que las plantas de resiembra quedan expuestas a una estación de crecimiento más corta. Este sistema de siembra requiere semilla vigorosa por lo que el método de cultivo ha ejercido una fuerte presión de selección en las poblaciones locales de maíz sobre esta característica, siendo el vigor de las semillas de estas regiones más acentuado con respecto a semillas de otras regiones (Pérez *et al.*, 2007).

El vigor se define como la capacidad que poseen las semillas para germinar y establecer las plántulas de manera rápida, uniforme y robusta en diversas condiciones ambientales (ISTA, 2015); por su parte, Delouche y Baskin (1973) definen al vigor de la semilla, como la suma de todas las propiedades físicas y fisiológicas; en particular, la elongación de las estructuras como el mesocótilo y coleóptilo, que juegan un papel importante para emerger y desarrollarse en una plántula normal;

por esta razón se han diseñado diversas técnicas para evaluar el vigor, las cuales pueden ser directas e indirectas, permitiendo inferir acerca del comportamiento de las semillas en el campo.

La buena emergencia de las plántulas y el vigor de las mismas son esenciales para la producción de los cultivos; por lo tanto, el establecimiento del cultivo es considerado como una de las etapas más críticas. El bajo vigor de las semillas influye en gran medida tanto en el número de plántulas que emergen como en el momento y la uniformidad de la emergencia de las plántulas, lo cual puede repercutir de manera directa e indirecta en la productividad económica de los cultivos agrícolas de todas las especies (Finch, 1995) y los esfuerzos subsiguientes o la cantidad de insumos durante las etapas posteriores del desarrollo del cultivo no compensarán este resultado (Khan *et al.*, 2012), además el vigor de la semilla es un parámetro importante para la calidad de semillas. El bajo vigor puede determinar tasas de germinación más lentas y variables, una mayor proporción de plántulas morfológicamente anormales y una menor capacidad para emerger en condiciones estresantes (Alizaga *et al.*, 1987; Roberts y Osei-Bonsu, 1988), por lo que el vigor de las semillas es de gran relevancia para los productores.

A pesar de ello, se ha mostrado poco interés por involucrar los caracteres de vigor inicial de plántula en los programas de mejoramiento genético del cultivo, por lo que se propone que, para el incremento de la productividad del maíz, es necesario el aprovechamiento de la diversidad genética existente dentro de las poblaciones para caracteres de vigor de la semilla para la emergencia, en la formación de variedades mejoradas con potencial productivo de calidad.

Algunos estudios, resaltan la importancia y la necesidad de incorporar en el mejoramiento genético, especialmente a parámetro de calidad de semillas, como medida para reducir el deterioro de las semillas de la cosecha hasta su establecimiento en campo; bajo este enfoque, se mencionan algunos trabajos y sus resultados: Ghassemi y Dalil (2014) mencionan que el cultivo para obtener semillas de alto vigor son necesarios, para garantizar un buen rendimiento de maíz en campo, ya

que el vigor afecta de forma directa e indirecta al rendimiento. Por su parte, Alizaga *et al.* (1992) mencionan que el vigor afecta tanto a la emergencia en campo como la altura de las plantas a los 21 y 60 días después de la siembra e indirectamente al rendimiento. De acuerdo a Finch-Savage y Bassel (2015) el impacto del vigor de la semilla en el rendimiento total difiere entre especies y también depende de las prácticas de producción específicas del cultivo.

El vigor inadecuado de las semillas se manifiesta de forma negativa en la emergencia de las plántulas lo cual puede conducir a baja densidad de población y distribución irregular, mientras que las plántulas que emergen pueden crecer más lentamente y en algunas circunstancias esto puede afectar a los rendimientos finales; inclusive cuando la emergencia subóptima es compensada por la siembra (Roberts y Osei-Bonsu, 1988; Tekrony y Egli, 1991). Mientras que según Antuna *et al.* (2003), en unos estudios de líneas endogámicas de maíz y sus cruza simples, reportan que no existe asociación directa y significativa entre las variables de calidad de semillas y las variables agronómicas, de modo que la calidad inicial de la semilla no influye significativamente en el desarrollo del cultivo, por otro lado, detecta efectos aditivos para variables de calidad fisiológica como velocidad y porcentaje de emergencia. El vigor de las semillas depende tanto del genotipo como del medio ambiente; por consiguiente, las mejoras son viables a través del mejoramiento genético, así como a través de la mejora de las prácticas agronómicas y del buen manejo de las semillas.

Reconociendo que se han realizado diversos estudios sobre la calidad de semillas y su regulación, aún falta el estudio y comprensión de la variación genética del vigor; y su relación con la variación para el rendimiento de grano de los cultivos, dicha información sigue siendo limitada.

3.4.-OBJETIVOS

Con base en lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo estudiar la relación entre las variables asociados al vigor de plántula a la emergencia y los componentes de rendimiento de grano y totomoxtle entre familias de medios hermanos maternos de poblaciones nativas de maíz.

3.5.-HIPÓTESIS

Las variables asociadas al vigor de plántula a la emergencia tienen efectos directos e indirectos significativos en la productividad y rendimiento del maíz.

3.6.-MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental consistió en cuatro poblaciones de maíz nativo de diferentes productores del Sureste del Estado de México de la raza Chalqueño, donde cada población estuvo representada por 60 Familias de Medios Hermanos maternos (FMHM), derivados durante el ciclo primavera-verano 2016. Estas poblaciones han estado en proceso de selección de semillas bajo la técnica de selección masal estratifica y de manera participativa con agricultores locales, por parte del programa de mejoramiento de maíz del Colegio de Postgraduados. Los testigos fueron once poblaciones nativas de maíz tipo “cajete” procedentes de la Mixteca Alta del Estado de Oaxaca, tres híbridos locales y una población recombinante con aprovechamiento forrajero adaptada a valles altos (Cuadro 3.1).

3.6.1.-Ubicación de los experimentos

La prueba de vigor se estableció en camas de siembra de arena de río bajo condiciones de invernadero y sin control de temperaturas, a 20 cm de profundidad de siembra, la localidad de

Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Con las siguientes coordenadas: 19° 29' de latitud Norte y 98° 53' de longitud oeste, a 2 250 msnm.

Para la evaluación de rendimiento y sus componentes se establecieron los experimentos en dos localidades: Montecillo con 19° 29' LN y 98° 54' LO y una altitud de 2250 msnm, y en la localidad de Ayapango (19° 10' LN y 98° 45' LO, a altitud de 2450 msnm), ambas en el Estado de México en el ciclo agrícola primavera-verano 2017.

Cuadro 3.1.- Descripción y origen del Germoplasma en el estudio

Material genético	Tipo	Origen
Marcelino C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Pedro C. (60 FMHM)	Chalqueño Cremoso	Juchitepec, Edo. Méx.
Manuel M. O. (60 FMHM)	Chalqueño Azul	Poxtla, Ayapango, Edo. Méx.
Enrique H. (60 FMHM)	Chalqueño “Palomo”	Tlapala, Chalco, Edo. Méx.
Alto sierra norte Puebla	población recombinante	Sierra Norte de Puebla
Esteban L. J.	maíz de cajete, Blanco	Santa María Nduayaco, Oax.
Guillermo P. P.	maíz de cajete, Amarillo	Santiago Apoala, Oax.
Guadalupe B. R.	maíz de cajete	San Martín Huamelulpan, Oax.
Ignacio H. C. (original)	maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Crecenciano J. C.	maíz de cajete, Blanco	Santiago Apoala, Oax.
Leobardo H. C.	maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Ignacio H. C. (version 2)	maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Casimiro H. C.	maíz de cajete	Santo Domingo Yanhuitlán, Oax.
Joel Misael J. P.	maíz de cajete, Rojo	Santiago Apoala, Oax.
Juan P. A.	maíz de cajete, Azul	Santa María Nduayaco, Oax.
Paola R. J.	maíz de cajete, Grueso	Santiago Apoala, Oax.
H-40	Híbrido	INIFAP
H-159	Híbrido	INIFAP
H-161	Híbrido	INIFAP

FMHM: Familias de Medios Hermanos Maternos

3.6.2.-Conducción de experimentos

Para la prueba de vigor cada repetición se estableció en fechas diferentes (25 de mayo, 2 de junio y 22 de junio del año 2017), debido a que por las dimensiones de las camas de arena disponibles sólo se podían establecer las unidades experimentales correspondientes a una repetición, además de la consideración del requerimiento de personal de apoyo para la extracción de las plántulas; de esta manera las condiciones ambientales fueron homogéneas en cada repetición en el invernadero sin control de temperatura.

Después de colocar las semillas y cubrirlas con una capa de área de 20 cm, se aplicó el primer riego a saturación inmediatamente; después se regó cada vez que se requería. La extracción de las plántulas para la medición de sus estructuras se realizó cuando se alcanzó la segunda hoja ligulada (aprox. 15 a 17 dds); de forma aleatoria se escogieron 10 plántulas por unidad experimental.

En el campo, para la evaluación de rendimiento de grano y totomoxtle y sus componentes en ambas localidades, la siembra se realizó manualmente. En Ayapango la fecha de siembra fue el 12 de abril del 2017, en condiciones de humedad residual depositando tres semillas por golpe cada 50 cm de distancia entre matas, para aclarar a una densidad de 50 mil plantas por ha; se fertilizó a una dosis 90-45-40 a los 40 dds; los labores culturales se realizaron conforme el manejo convencional de los productores de la región; las plagas y enfermedades no se controlaron y el control de malezas se hizo en forma mecánica y manual, para ello se tuvo especial cuidado en controlar el “Chayotillo” o “atatana” (*Sicyios deppei*) y el teocintle o “acece” (*Zea mays ssp mexicana*). En la localidad de Montecillo la siembra se realizó el 21 de abril del 2017 en suelo seco, el riego se aplicó inmediatamente después de la siembra y posteriormente se aplicó riegos de auxilio; la densidad de población fue de 50 mil plantas por ha; no se aplicaron fertilizantes y

tampoco se controlaron las plagas ni enfermedades; el control de malezas se hizo en forma mecánica y manual, donde la principal maleza fue el “Chayotillo” o “atatana” (*Sicyios deppei*). En ambas localidades se muestrearon 5 plantas con competencia completa por unidad experimental para el registro de variables sobre la estructura de mazorcas, grano y totomoxtle (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2.-Caracteres registrados para el estudio de la variación genética para vigor de plántulas y productividad

Variables	Unidad	Descripción de las variables
Variables relacionadas al vigor de plántulas		
PEMER	%	Porcentaje de emergencia es la relación de plántulas que alcanzaron la emergencia al final de la prueba respecto al número de semillas sembradas por unidad experimental. $PEMER = [(Núm. \text{ de plántulas emergidas}) / 25] * 100$
LMES	cm	Longitud del mesocótilo: Extensión desde la unión con la semilla hasta la base del coleóptilo
LCOL	cm	Longitud del coleóptilo: Extensión desde la base del coleóptilo hasta su ápice
LPA	cm	Longitud de la Parte aérea: Extensión a partir de la base del mesocótilo hasta el ápice de la hoja más larga
PPA	%	Porcentaje de plántulas anormales: Porcentaje de plántulas que presentaron alguna malformación en cualquiera de sus estructuras (raíz, tallo y hojas)
PPN	%	Porcentaje de plántulas normales: Porcentaje de plántulas que no presentaron alguna malformación en cualquiera de sus estructuras (raíz, tallo y hojas)
PSMES	mg	Peso seco de mesocótilo después de ser sometidos a secado por 72 h a 72 °C dentro de una estufa.
VE		Velocidad de emergencia: Consiste en hacer los conteos de las plántulas emergidas en los días subsecuentes a la aparición de la primera plántula (Maguire, 1962) $VE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{N_i} \right)$ donde: X_i = Número de plántulas emergidas al i-ésimo día. N_i = Número de días después de la siembra hasta el i-ésimo día.

Variables agronómicas

DFM	#días	Días a floración masculina: contados a partir de la siembra hasta el momento en que 50 % de las plantas liberaban polen
AP	m	Altura de planta: medidos desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga.
AMZ	m	Altura de mazorca, medidos desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.
MZP	%	Porcentaje de mazorcas que presentaron pudrición en más del 20 %
RG	Kg/ha	Rendimiento: peso de granos por hectárea, estimado a partir de la lectura en cada parcela
PPG	%	Proporción de grano por mazorca (es el peso de grano respecto al peso de mazorca) *100

Caracteres de mazorca

DMZ	cm	Diámetro medio de la mazorca
LMZ	cm	longitud de mazorcas
NH	#	Numero de hileras por mazorcas
NGH	#	Número de granos por hileras
DO	cm	Diámetro medio de olote
LO	cm	Longitud de olote

Caracteres de grano

Egr	mm	Espesor promedio de 10 granos
Agr	mm	Ancho promedio de 10 granos
Lgr	Mm	Longitud promedio de 10 granos

Caracteres de brácteas de la mazorca

HT	#	Número de hojas totales por mazorca
HB	#	Número de hojas aprovechables por mazorca; calificación visual
LH	cm	Longitud de las hojas aprovechables
AH	cm	Ancho de las hojas aprovechables
PH	g	Peso promedio de las hojas de 5 mazorcas

3.6.3.-Diseño y parcela experimental

El diseño experimental fue un arreglo de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones para todos los experimentos. Para el caso del estudio de vigor de semilla la parcela experimental fue de 25 semillas de las cuales se muestrearon 10 plántulas de forma aleatoria para medir las dimensiones de la plántula. Mientras que la evaluación en campo se consideró una parcela experimental un surco de 5.0 m de largo y 0.8 m de ancho, con un total de 22 plantas de las cuales se muestrearon de forma aleatoria 5 plantas con competencia completa para medir las dimensiones de mazorca, grano y totomoxtle.

Con los promedios de cada familia para cada uno de los caracteres medidos, se realizó un análisis de correlación canónica para cada población nativa de maíz, mediante el procedimiento Proc Cancorr de SAS (SAS Institute Inc., 2013).

El análisis de Correlación canónica es una técnica multivariada que estudia la relación existente entre un grupo de variables X con otro grupo de variables Y ; consiste en encontrar una combinación lineal de las variables $X = (V_1 = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p)$ y otra combinación lineal de las variables $Y = (U_1 = a_1y_1 + a_2y_2 + \dots + a_qy_q)$ de tal manera que la correlación entre U_1 y V_1 sea máxima (Anderson, 2003; Díaz y Morales, 2012).

3.7.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de correlación canónica, se obtuvo de la combinación lineal de ocho variables asociados al vigor de las plántulas a la emergencia y la combinación lineal de catorce variables asociados a rendimiento de granos y totomoxtle, lo que permitió estudiar el grado de asociación entre las variables Canónicas Vigor y Rendimiento en cada una de las cuatro poblaciones nativas de maíz de la Raza Chalqueño. Se observó que la correlación entre las dos primeras variables canónicas (Vigor1 y Rendimiento1) para las poblaciones fue de 0.97 a 0.99 (Cuadro 3.3), por lo

que se considera la existencia de una correlación positiva entre dichas variables; mientras que para el grupo de testigos la correlación fue altamente positiva de 1.0, la cual se atribuye por el bajo número de muestras.

Se observa que hubo significancia estadística para las correlaciones con la prueba de F donde las poblaciones nativas del SE del Edo de México y las poblaciones testigos son altamente significativa ($p < 0.01$); por lo tanto, se asume que existe correlación multivariada entre el vigor de la semilla para su emergencia en siembras profundas y la productividad de las plantas; es decir, se puede generar una función lineal para valorar al vigor de las plántulas a la emergencia que tendrá una relación directa con otra función lineal para la productividad de las plantas y los componentes de rendimiento de granos y hojas del totemoxtle. Estos resultados presentan valores similares de acuerdo a lo reportado por Pérez *et al.* (2007), que fue de 0.99, en una valoración, en la cual se consideró información a nivel de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño, provenientes del Valle de Chalco, éstas mostraron mayor vigor a la emergencia que los testigos. Por su parte, Alizaga *et al.* (1992) detectaron relación del vigor con la emergencia en campo en poblaciones de maíz y en la altura de planta hasta los 21 dds; mientras que el rendimiento de grano no tuvo efecto con los diferentes niveles de vigor. En otro estudio con líneas endogámicas de maíz y sus cruza simples, Antuna *et al.* (2003) indican que no existe asociación directa ni significativa entre la calidad de semillas evaluadas con pruebas de germinación estándar y los caracteres agronómicos.

Cuadro 3.3.-Primeras correlaciones canónicas entre variables asociados al vigor a la emergencia y productividad en cuatro poblaciones nativas del SE del Edo. Méx., 2017

Población	Prueba de H0							
	Correlación Canónica	Correlación Canónica ajustada	Error Estándar Aprox.	Relación de verosimilitud	Valor F aprox.	Den DF	Pr > F	
Enrique	1	0.9983	0.9977	0.000454	0.00024894	5.62	278.1	<.0001
Manuel	1	0.9976	0.9969	0.000616	0.00063475	4.61	278.1	<.0001
Marcelino	1	0.9997	0.9997	0.000066	0.00007933	7.06	278.1	<.0001
Pedro	1	0.9711	0.9615	0.007408	0.00701366	2.55	278.1	<.0001
Testigos	1	1	1	0.0

Dentro de cada variable canónica las variables originales presentan diferente peso o relevancia, para la determinación global canónica. Son comparables porque tienen coeficientes de variables estandarizadas con media cero y desviación estándar uno, que calcula el Programa SAS.

Para la variable canónica Vigor1 entre las poblaciones se observa una ligera diferencia de la relevancia de las variables, donde predominan las variables, Porcentaje y velocidad de Emergencia, así como el porcentaje de plántulas anormales y la longitud del mesocótilo (Cuadro 3.4); resultados similares reportados por Pérez *et al.* (2007), lo cual confirma que dichos caracteres son de gran importancia para el vigor en etapas tempranas de desarrollo, por lo que debe considerarse en el mejoramiento genético de las poblaciones; de acuerdo a Bell *et al.* (1983) el método de la selección masal permite aumentar la capacidad de emergencia en campo en poblaciones de maíz con una ganancia del 3,3 % por ciclo de selección, lo cual se considera bueno ya que es un carácter cuantitativo; es decir es controlado por múltiples genes (Azanza *et al.*, 1996). Con métodos de mejoramiento asistido por marcadores moleculares se pueden alcanzar aumentos de 28 a 40 %, de acuerdo con Yousef y Juvik (2002).

Para la variable canónica Rendimiento1, para todas las poblaciones se observa que las variables con mayor efecto fueron altura de planta y mazorca, proporción de grano en la mazorca, el número de granos por hileras, diámetro de mazorca, los componentes de grano y la variable hojas totales del totemoxtle (Cuadro 3.5), las cuales varían dependiendo de la población.

Cuadro 3.4.- Valores con los primeros vectores característicos para las variables asociados a vigor a la emergencia en la primera variable canónica Vigor 1 correspondiente a cada población. Montecillo, 2017

	Enrique	Manuel	Marcelino	Pedro	Testigos
PEMER	0.7629	0.9146	0.7990	0.6854	-1.2324
LMES	0.0039	-0.0002	-0.0046	0.0066	-0.8464
LCOL	-0.0102	-0.0226	-0.0021	0.0379	0.3415
LPA	0.0155	0.0017	0.0038	-0.0300	0.5803
PPA	-0.4529	-0.2629	-0.3727	-0.3002	-3.0598
PPN	0.7629	-0.0274	-0.0049	-0.0278	-1.3792
PSMES	0.0039	-0.0040	-0.0044	-0.0309	0.5112
VE	-0.0102	-0.0385	0.0084	0.1454	-0.4378

LMES = Longitud del mesocótilo; LCOL = Longitud del coleóptilo; LPA = Longitud de la parte aérea; PPA = porcentaje de plántulas anormales; VE = Velocidad de emergencia; PEMER = porcentaje de emergencia; PSMES = peso seco del mesocótilo; PPN = Porcentaje de plántulas normales

Cuadro 3.5.- Valores con los primeros vectores característicos para las variables de componentes de rendimiento en la primera variable canónica Rendimiento 1 correspondiente a cada población. Ayapango, Montecillo, 2017

VARIABLES	Enrique	Manuel	Marcelino	Pedro	Testigos
DFM	0.0344	0.0072	0.0020	0.0235	0.2014
AP	0.9965	0.9929	1.0033	0.9662	-5.1874
AMZ	0.0194	0.0228	0.0022	0.0630	10.4477
RG	0.0040	-0.0029	0.0000	0.0158	-22.2948
HT	0.0154	0.0070	0.0109	0.0278	3.2513
PH	-0.0066	0.0046	-0.0035	0.0100	-13.8076
DMZ	-0.0021	-0.0341	0.0035	-0.0266	8.6543
LMZ	0.0074	0.0040	0.0028	0.0295	19.0249
NH	0.0039	0.0239	-0.0034	-0.0136	1.5876
NGH	0.0303	0.0020	0.0064	-0.0998	22.4848
PPG	-0.0093	0.0365	-0.0038	0.0419	-24.4031
Egr	0.0112	-0.0214	0.0044	-0.0672	-8.7556
Agr	-0.0344	-0.0068	0.0022	0.0389	-18.4147
Lgr	-0.0114	-0.0310	0.0087	-0.1293	18.3284

DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta; AMZ= Altura de mazorca; MZP= Mazorca podrida; PPG= Proporción de grano por mazorca; RG= Rendimiento de grano; DMZ= Diámetro de mazorca; LMZ= Longitud de mazorca; NH= Número de hileras por mazorca; NGH= Número de grano por hileras por mazorca; DO= Diámetro de olote; LO= Longitud de olote; Egr= Espesor de grano; Agr= Ancho de grano; Lgr= Longitud de grano; HT= Hojas totales del totomoxtle; HB= Hojas aprovechables del totomoxtle; LH= Longitud de hoja del totomoxtle; AH= Ancho de hoja del totomoxtle; PH= Peso de hojas del totomoxtle.

En las figuras 3.1 a 3.5 se observa dispersión de las familias de MHM y la tendencia que muestra la correlación entre las dos primeras variables canónicas vigor1 y rendimiento1, dentro de cada población. Las familias que se ubican en el cuadrante III son de bajo vigor y rendimiento, mostrando así el efecto directo del vigor en la productividad, en contra parte, las familias del cuadrante I presentaron buen vigor y una respuesta positiva a la productividad. Resaltan las poblaciones de Marcelino y Pedro con un número alto de familias en el cuadrante I. Este atributo

puede ser explicado, por el sistema de siembra profundo al que han estado expuestas para aprovechar la humedad residual del suelo a través del tiempo, por lo tanto, se puede realizar selección con el objetivo de aprovechar la variación genética dentro de cada población, seleccionando familias de buen vigor en las siembras profundas el cual dará como resultado mejor rendimiento de grano y hojas (totomoxtle) ya que se asegura la densidad de población sin incremento en los costos de producción, además de promover la conservación *in situ* de las poblaciones.

Por su parte las poblaciones de bajo vigor fueron las poblaciones testigos específicamente los híbridos y como consecuencia presentan bajos rendimientos, ubicándose en el cuadrante III. Mientras que las poblaciones de maíz de cajete presentaron mejor vigor y rendimiento respecto a los híbridos, el cual se atribuye al proceso de selección realizado por los agricultores debido al sistema de siembra, en forma de cajete (de ahí el nombre) sobre los surcos con el fin de almacenar el agua alrededor de la plántula y debido a la presión del ambiente sobre el cultivo y de igual manera, al comparar los híbridos con las poblaciones locales del SE del Edo. México. Se pone en evidencia una de las razones por la cual los agricultores no adoptan a los híbridos para sus siembras ya que no les asegura buena emergencia en dichas condiciones, obteniendo baja densidad de población el cual reduce la producción final, por lo tanto, este atributo puede aprovecharse para el mejoramiento de dichas poblaciones

Figura 3.1.-Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Enrique (tipo palomo).

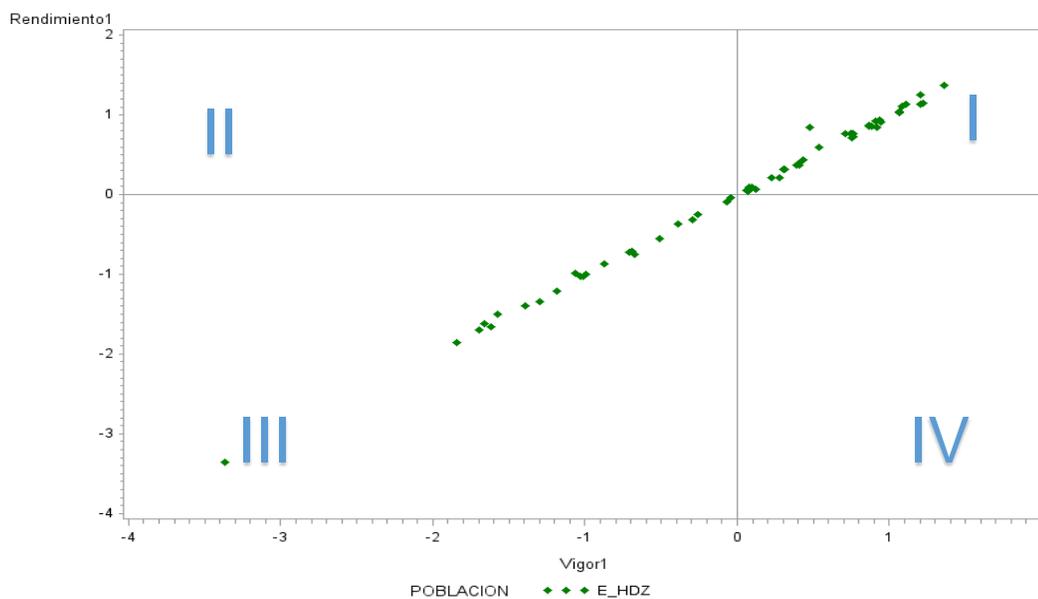


Figura 3.2.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Manuel (tipo azul)

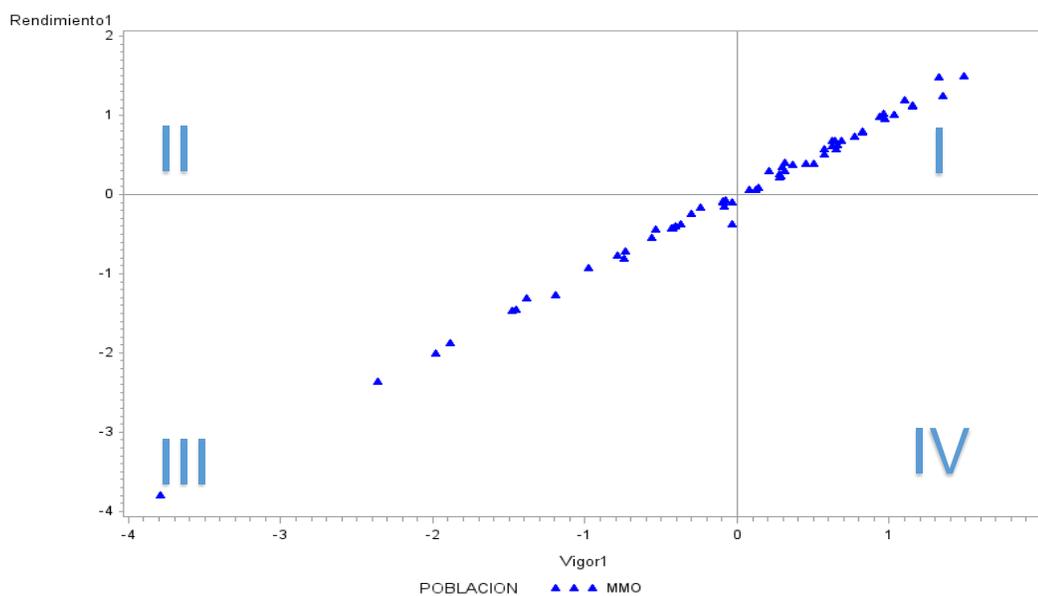


Figura 3.3.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Marcelino (tipo Cremoso)

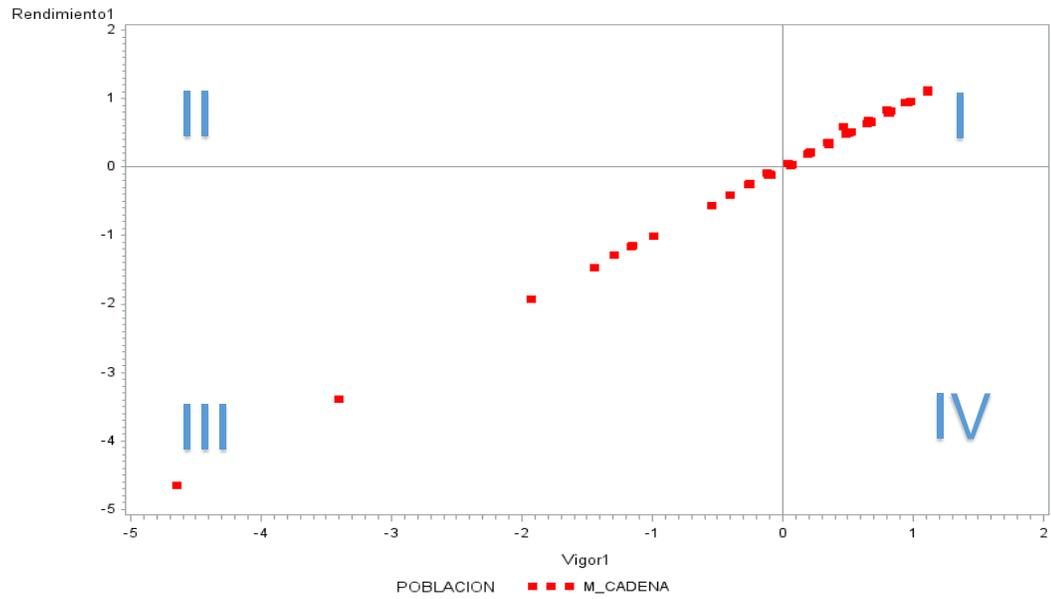


Figura 3.4.- Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Población Pedro (tipo Cremoso)

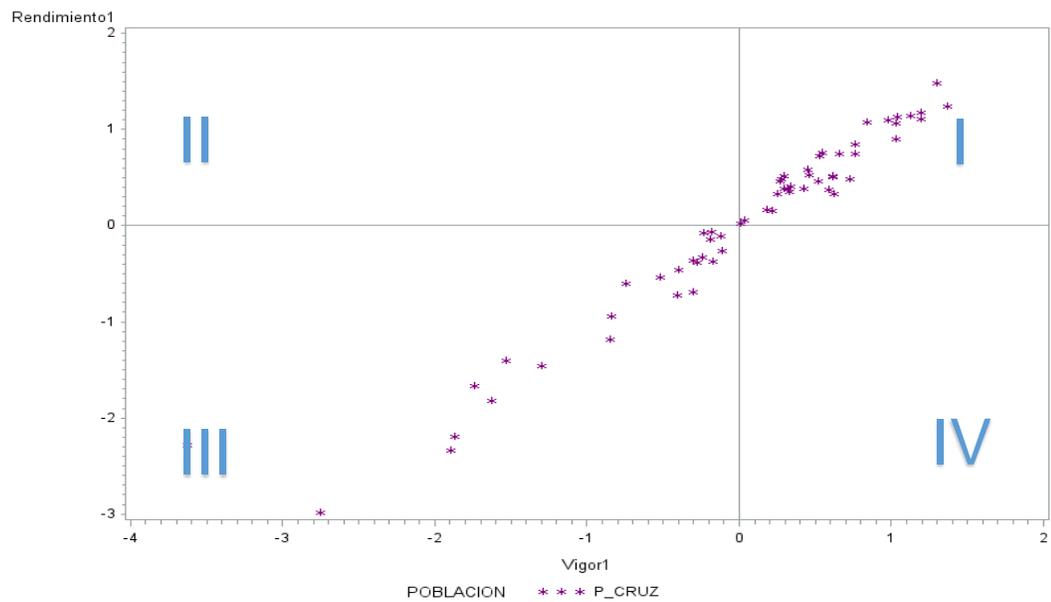
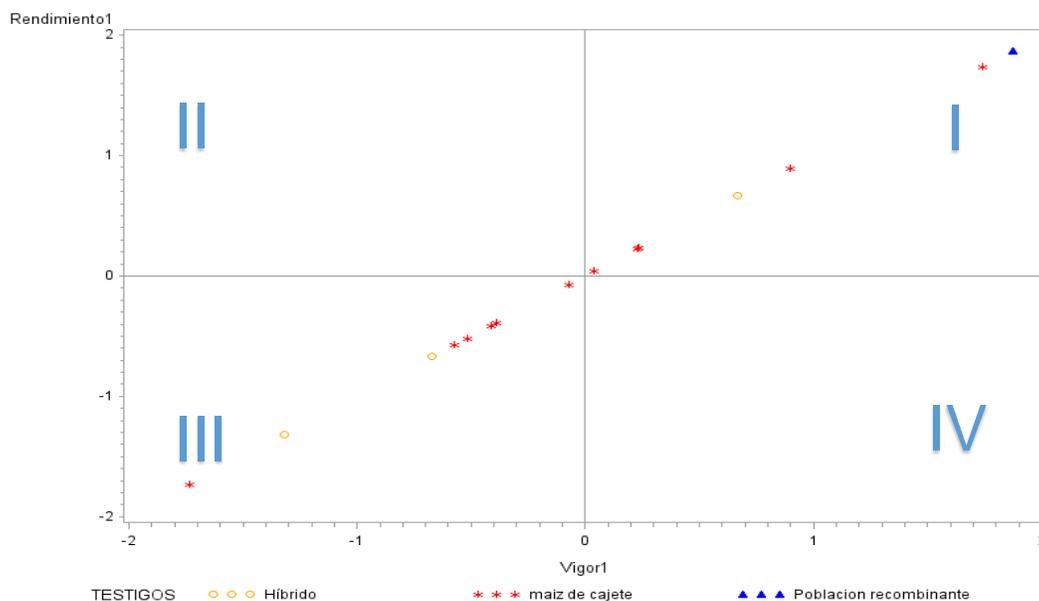


Figura 3.5. - Dispersión de las FMHM en el plano determinado por las dos primeras variables canónicas. Poblaciones Testigos



3.8.-CONCLUSIONES

Existe correlación significativa del vigor a la emergencia y los componentes de rendimiento de grano y totomoxtle en las poblaciones nativas de maíz del sureste del estado de México. Las poblaciones del SE del Edo. de Méx. y las poblaciones de cajete presentaron mejor respuesta a la emergencia y rendimiento bajo condiciones de humedad residual respecto a los híbridos.

Las variables con mayor influencia en la variable canónica vigor1 fueron Longitud del mesocótilo, Porcentaje y velocidad de Emergencia y Longitud de la parte aérea y Para la variable canónica Rendimiento1 fueron las variables Altura de planta y mazorca, componentes de grano y las variables peso y hojas totales.

Se sugiere incorporar a la selección caracteres asociados al vigor de plántulas al programa de mejoramiento genético, con el propósito de mejorar el rendimiento de las poblaciones de siembra profunda (humedad residual).

3.9.- LITERATURA CITADA

- Alizaga G., R. Alizaga y H. Jorge (1987)** Evaluación del vigor de la semilla de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) y su relación con la emergencia y el rendimiento. *Agronomía Costarricense* 11:195–203.
- Alizaga R., F. Sterling y J. Herrera (1992)** Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense* 16:203–210.
- Anderson T. W. 2003.** An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. 3rd ed. Wiley–Interscience. New York, New York, USA. 752 p
- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. (2003)** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:11–17.
- Azanza F., A. Bar-Zur and J. A. Juvik (1996)** Variation in sweet corn kernel characteristics associated with stand establishment and eating quality. *Euphytica* 87:7-18, <https://doi.org/10.1007/BF00022959>
- Bell R. D., L. L. Darrah, and M. S. Zuber (1983)** Progress from mass selection for field emergence and seed weight in a *sh2* Population of maize. *Crop Science* 23:461-464., <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300030005x>
- Castillo G. F. (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia* 44:69-79.
- Delouche J. C. and C. C. Baskin (1973)** Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1:427-452
- Díaz M. L. G. y M. A. Morales R. (2012)** Estadística Multivariada: Inferencia y Métodos. Tercera ed. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 637p.
- Doebley J. (2004)** The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38:37–59, <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092425>.
- Finch-Savage, W.E. (1995)** Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In: Basra, A.S., Ed., Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications, Food Product Press, New York, 361-384.
- Finch-Savage W. E. and G. W. Bassel (2015)** Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67:567-91, <http://doi.org/10.1093/jxb/erv490>.

- Ghassemi-Golezani K. and B. Dalil (2014)** Effect of seed vigor on growth and grain yield of maize. *Plant Breeding and Seed Science* 70:81–90, <http://doi.org/10.1515/plass-2015-0015>.
- ISTA. International Seed Testing Association (2015)** International rules for seed testing. Basserdorf, Switzerland: International Seed Testing Association
- Khan N., R. H. Kazmi, L. A. J. Willems, A. W. van Heusden, W. Ligterink and H. W. M. Hilhorst (2012)** Exploring the natural variation for seedling traits and their link with seed dimensions in tomato. *PLoS ONE* 7:20-31, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043991>
- Maguire J. D. (1962)** Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2:176-177, <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Ortega P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. In: *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Ortega P. R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). México. pp: 161-185
- Ortega P. R. (2003)** La diversidad del maíz en México. In: *Sin Maíz no Hay País*. G Esteva, C Marielle (coords). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F. pp:123-154.
- Pérez de la C. F. de J., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., E. Cárdenas S. y A. Delgado A. (2007)** Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz Chalqueño. *Agricultura Técnica en México* 33:5-16.
- Roberts E.H., K. Osei-Bonsu (1988)** Seed and seedling vigour. In: Summerfield R.J. (eds) *World crops: Cool season food legumes*. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 5. Springer, Dordrecht
- Sanchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59.
- SAS Institute Inc. (2013)** *Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures*, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/procstat/66703/PDF/default/procstat.pdf>
- Tekrony D. M. and D. B. Egli (1991)** Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop science* 31:816–822, <http://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x>
- Yousef G. G. and J. A. Juvik 2002** Enhancement of seedling emergence in sweet corn by marker-assisted backcrossing of beneficial QTL. *Crop Science* 42:92-104.

DISCUSIÓN GENERAL

La variación local de los maíces nativos es de importancia para el mejoramiento poblacional del cultivo, para ello es importante conocer sus parámetros genéticos y sus componentes a través de diseños de apareamientos o por estructuras de familias. Para tal caso se encontró buena heredabilidad y respuesta a la selección participativa entre FMHM, para caracteres de vigor a la emergencia, componentes de rendimiento de grano y totomoxtle, lo que permitirán el mejoramiento poblacional del maíz nativo por selección, el cual se podrá lograr bajo diferentes metodologías de selección como son la selección masal (diferentes modificaciones) y la selección familiar (medios hermanos paternos o maternos, hermanos completos) así como la autofecundación a través de líneas endogámicas, donde cada metodología presenta ventajas como mejores ganancias genéticas pero con desventajas en costos y manejo. Por lo que para mantener dicha diversidad del maíz nativo de manera *in situ* es necesario ampliar los criterios de selección como el caso de la producción del totomoxtle que genera ingresos importantes al agricultor, además de que las hojas del totomoxtle contribuyen en la buena cobertura de la mazorca evitando daños por insectos plaga.

La productividad del cultivo depende de diversos factores bióticos y abióticos; en condiciones de siembra bajo el sistema de humedad residual se encontró una correlación entre las variables asociados al vigor a la emergencia y la productividad del cultivo, permiten señalar que el vigor a la emergencia es una etapa importante para el buen desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de maíz, por lo que es necesario incorporar tales atributos al programa de mejoramiento genético, especialmente para el sistema de siembra bajo humedad residual donde la humedad es escasa. La selección para dichos caracteres, permitirá asegurar al productor la densidad de población, evitando así el incremento en el costo de producción a causa de la resiembra y sin afectaciones al rendimiento final.

CONCLUSIONES GENERALES

Las poblaciones nativas del sureste del estado de México superan a los híbridos y a las poblaciones nativas de la Mixteca Oaxaqueña en la capacidad de emergencia a la siembra profunda.

La variación entre familias de medios hermanos maternos derivados de las poblaciones de maíz del SE de Edo. de México, para los atributos de capacidad de emergencia a siembra profundas es significativa, lo que permite esperar respuesta a la selección para la mejora de la emergencia y establecimiento de buenas densidades de población.

Las poblaciones de Enrique y Manuel presentan la mayor respuesta a la selección para rendimiento de grano y hojas aprovechables del totomoxtle. Las poblaciones nativas del SE del estado de México en promedio superan a las poblaciones testigos en dimensiones de las hojas del totomoxtle.

Existe correlación directa entre el vigor a la emergencia y la productividad y rendimiento del cultivo en poblaciones de maíz nativo del sureste del estado de México, establecidos bajo el sistema de humedad residual.

Las variables con mayor influencia para vigor a la emergencia fueron Longitud del mesocótilo, Porcentaje y velocidad de Emergencia y para la productividad son: Altura de planta y mazorca, componentes de grano y las variables peso y hojas totales.

La variación, heredabilidad y la respuesta a la selección estimada por ciclo entre las FMHM permiten señalar que se puede mejorar a las poblaciones para aumentar las frecuencias de alelos favorables de caracteres importantes como rendimiento de grano y producción de hojas para tamal, bajo técnicas sencillas de selección y de forma participativa con los agricultores, manteniendo la diversidad genética *in situ*.