

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GENETICA**

## **POTENCIAL DE GERMOPLASMA DE MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA**

**PEDRO CERVANTES BAUTISTA**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO  
2015**

La presente tesis titulada: **POTENCIAL DE GERMOPLASMA DE MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA**, realizada por el alumno: **Pedro Cervantes Bautista** 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**

**CONSEJERA**



---

**Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo**


**ASESOR**



---

**Dr. José D. Molina Galán**

**ASESOR**



---

**Dr. José Agapito Pecina Martínez**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo 2015.

# POTENCIAL DE GERMOPLASMA DE MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA

**Pedro Cervantes Bautista, M. en C.**  
**Colegio de Postgraduados, 2015.**

## RESUMEN

La utilidad de la diversidad del maíz es limitada en México, en este sentido el Colegio de Postgraduados genera materiales avanzados para Valles Altos Centrales; pero, en ambientes de estrés como en la Mixteca Alta Oaxaqueña, estos genotipos pueden responder a las necesidades de los agricultores. En esta perspectiva se evaluaron 50 genotipos agrupados en: Poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales (CB); cruzas simples experimentales (HE) comparados con híbridos comerciales (HC). Bajo consideraciones fenológicas, morfológicas, sanidad en planta y mazorca, rendimiento y componentes de rendimiento, utilidad de biomasa y su distribución en órganos. Se observó que en VA la floración fue más tardía y asincrónica, el grupo de CB fue el más tardío y asincrónico para ambos ambientes, en precocidad los HE sobresale tanto en VA como en MA. La mayor altura en plantas fue en VA destacando los CB y HE. En aspectos de sanidad como mala cobertura en mazorca, la MA fue al ambiente donde más se presentó esta deficiencia y los HE fue el grupo más afectado. Los HE fue el grupo con mayor precocidad sobresalen las cruzas L4 x L1, L5 x L3, L5 x L6. En rendimiento VA fue superior en 1.1 t ha<sup>-1</sup> a la MA. Los CB fueron los de más bajo rendimiento a través de ambientes; el grupo con mayor rendimiento para VA fueron los HE y estadísticamente igual a los HC en la MA, destacando las cruzas 1558 x P14, 1564 x P14 y L5 x L3 con rendimientos de 7.8, 7.4 y 7.3 t ha<sup>-1</sup>. Los HC en la MA mostraron mejores respuestas en rendimiento de grano, destaca el H-San José, con rendimiento de 4.9 t ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la eficiencia fisiológica los HE fue el grupo que alcanzó los mayores índices de cosecha, mayor acumulación de biomasa y por ende mayor rendimiento de grano por planta, las relaciones entre índices de cosecha, acumulación de biomasa y rendimiento de grano por planta fueron positivas y con alta significancia.

**Palabras clave:** Poblaciones nativas, rendimiento, componentes de rendimiento, utilidad de biomasa.

# **GRAIN YIELD AND YIELD COMPONENTS IN MAIZE INTRODUCED TO HIGH VALLEYS: HIGH CENTRAL VALLEYS AND MIXTECA ALTA OF OAXACA.**

**Pedro Cervantes Bautista, M.Sc.  
Colegio de Postgraduados, 2015.**

## **ABSTRACT**

The usefulness of maize diversity in Mexico is limited in this respect the Colegio de Postgraduados generates advanced materials for High Central Valleys; but in stressful environments and in Mixteca Alta Oaxaqueña, these genotypes may respond to the needs of farmers. In this perspective grouped into 50 genotypes were evaluated: Populations adapted to Central High Valleys (CB); simple experimental crosses (HE) compared to commercial hybrids (HC). Under phenological, morphological, healing in plant and ear, yield and yield components, use of biomass and distribution in organs considerations. It was noted that VA was later flowering and asynchronous, CB group was the slowest and asynchronous for both environments and the HE excels in earliness both VA and MA. The tallest plant was in VA highlighting the CB and HE. In aspects of health as poor coverage on the cob, the MA was the environment where they are presented this deficiency and HE was the most affected group. The HE was the group most precocious crosses 1558 x P14, 1564 x P14 y L5 x L3. The yield VA was higher by 1.1 t ha<sup>-1</sup> to the MA. The CB were the lowest yield across environments; the group with higher performance for VA were the HE and HC statistically equal to the MA, highlighting the cross 1558 x P14, 1564 x P14 y L5 x L3 with yields of 7.8, 7.4 and 7.3 t ha<sup>-1</sup>. The HC in the MA showed better responses in grain yield, highlights the H-San José, with yield 4.9 t ha<sup>-1</sup>. Regarding the HE physiological efficiency was the group that achieved the highest levels of harvest index, further accumulation of biomass and therefore increased grain yield per plant, the relationship between harvest index, biomass accumulation and grain yield per plant were positive and highly significant.

**Key words:** Landraces, yield, yield components, utility biomass.

# **Dedicatoria**

## **A mi madre y padre:**

Virgilia Bautista Ortíz.

## **A mi familia:**

Delfino, Pascual, Ma. Luisa, Catalina y David.

## **Al pueblo Mixteco:**

Pueblo de agua y luz.

## **A Yeni:**

Por su ayuda. Por enseñarme y permitir haber sido parte de su vida.

## **Soy resultado de la unión de muchas voluntades:**

Lulú, Geremías, Goyis, Aarón, Mike, Gus, Edgar, Hugo, Alij, Enriqueta, Yuri y Delfina.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para realizar mi programa de estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, por la formación que me dio en el IREGEP en especial el área de Genética.

A la Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, por sus valiosos consejos en la conducción de este trabajo, su confianza, dedicación y esfuerzo para sacar adelante esta investigación.

Al Dr. Fernando Castillo González por sus comentarios y apoyo en los análisis estadísticos de esta investigación y la calidez humana.

Al Dr. José Domingo Molina Galán por sus comentarios y apoyo para culminar esta investigación.

Al Dr. José Agapito Pecina Martínez por sus comentarios y apoyo para culminar esta investigación.

Al Ing. Humberto Castro y a su equipo de trabajo por el apoyo desinteresado y presto.

Al C. Héctor Celis, productor de maíz en la localidad de San Andrés Andua por aceptar la siembra de los genotipos evaluados en su parcela y en especial por las facilidades que con humildad siempre me brindó.

A los trabajadores de campo: C. José y C. Miguel, que siempre hicieron por ayudar en el presente trabajo.

## CONTENIDO

|   | Pág.       |
|---|------------|
| <b>RESUMEN GENERAL</b>  | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b>  | <b>vii</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>  | <b>ix</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>  | <b>1</b>   |
| 1.1 Objetivo general.....   | 6          |
| 1.1.1 Objetivos específicos.....  | 6          |
| 1.2 Hipótesis.....  | 7          |
| <b>CAPÍTULO II. EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLÓGICA DE<br/>MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS<br/>CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA.....</b>       | <b>8</b>   |
| 2.1 Resumen.....  | 8          |
| 2.2 Introducción.....   | 9          |
| 2.2.1 Objetivo general.....   | 11         |
| 2.2.1.1 Objetivo específico.....  | 11         |
| 2.2.2 Hipótesis.....  | 12         |
| 2.3 Revisión de literatura.....   | 12         |
| 2.4 Materiales y Métodos.....   | 15         |
| 2.5 Resultados y discusión.....   | 20         |
| 2.5.1 Comportamiento de variables morfológicas en los Valles Altos Centrales....  | 26         |
| 2.6 Conclusiones.....   | 37         |
| 2.7 Bibliografía.....   | 38         |
| <b>CAPÍTULO III. RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO<br/>EN MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS<br/>CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA.....</b> | <b>47</b>  |
| 3.1 Resumen.....  | 47         |
| 3.2 Introducción.....   | 48         |
| 3.2.1 Objetivo general.....   | 51         |

|   |            |
|---|------------|
| 3.2.2 Objetivo específico.....  | 52         |
| 3.2.3 Hipótesis.....  | 52         |
| 3.3 Revisión de literatura.....   | 52         |
| 3.4 Materiales y métodos.....   | 55         |
| 3.5 Resultados y discusión.....   | 60         |
| 3.6 Conclusiones.....   | 71         |
| 3.7 Bibliografía.....   | 72         |
| <b>CAPÍTULO IV. UTILIDAD DE BIOMASA EN MAÍCES CON DIFERENTE<br/>ORIGEN GENÉTICO EN EL ALTIPLANO MEXICANO.....</b>   | <b>79</b>  |
| 4.1 Resumen.....  | 79         |
| 4.2 Introducción.....   | 80         |
| 4.2.1 Objetivo general.....   | 82         |
| 4.2.2 Objetivos específicos.....  | 83         |
| 4.2.3 Hipótesis.....  | 83         |
| 4.3 Revisión de literatura.....   | 84         |
| 4.4 Materiales y métodos.....   | 87         |
| 4.5 Resultados y discusión.....   | 91         |
| 4.5.1 Relaciones entre índice de cosecha y biomasa total en la definición del<br>rendimiento de grano en grupos de maíces evaluados en Valles Altos Centrales.... | 94         |
| 4.6 Conclusiones.....   | 98         |
| 4.7 Bibliografía.....   | 99         |
| <b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>   | <b>104</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA DE DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES<br/>GENERALES.....</b>  | <b>109</b> |



## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> | <b>Título</b>  | <b>Pág.</b> |
|---------------|--|-------------|
| 2.1           | Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, 2013.....   | 16          |
| 2.2           | Características de los ambientes donde se evaluaron grupos de poblaciones de maíz en 2013.....   | 17          |
| 2.3           | Cuadros medios de los análisis de varianza para variables morfológicas y fenológicas en poblaciones de maíz evaluadas en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, durante 2013..... | 22          |
| 2.4           | Valores medios para el comportamiento de ambiente y grupos de poblaciones dentro de ambientes, evaluados en 2013.....  | 24          |
| 2.5           | Cuadros medios de los análisis de varianza para variables morfológicas de entrenudos y espigas en maíz crecido en los Valles Altos Centrales, durante 2013.....                                    | 27          |
| 2.6           | Valores medios entre grupos de poblaciones para Valles Altos Centrales durante 2013.....   | 29          |
| 2.7           | Cuadros medios de los análisis de varianza para variables morfológicas en maíz crecido en los Valles Altos Centrales durante 2013.....   | 30          |
| 2.8           | Valores medios de variables morfológicas entre grupos de poblaciones de maíz crecidos en los Valles Altos Centrales durante 2013.....  | 31          |
| 2.9           | Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de precocidad, morfología y sanidad de mazorca y planta para Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.....                           | 34          |
| 2.10          | Maíces representativos en cada grupo, ordenados bajo criterios de precocidad, morfología y sanidad de mazorca y planta, para la Mixteca Alta Oaxaqueña, evaluados en 2013.....                     | 36          |
| 3.1           | Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, 2013.....   | 57          |
| 3.2           | Características de los ambientes donde se evaluaron los grupos de poblaciones de maíz en 2013.....   | 58          |

|     |  |           |
|-----|--|-----------|
| 3.3 | Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en Valles Altos y Mixteca Alta, durante 2013.....  | <b>61</b> |
| 3.4 | Rendimiento de grano y sus componentes en grupos evaluados en dos ambientes, durante 2013.....   | <b>63</b> |
| 3.5 | Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de rendimiento y sus componentes, para los Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.....   | <b>68</b> |
| 3.6 | Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de rendimiento y componentes del rendimiento, para la Mixteca Alta Oaxaqueña, evaluados en 2013.....  | <b>70</b> |
| 4.1 | Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales, 2013.....   | <b>88</b> |
| 4.2 | Cuadrados medios de los análisis de varianza para los componentes de distribución de materia seca, rendimiento biológico e índice de cosecha y materia seca acumulada en órganos de maíz evaluados, durante el 2013... | <b>91</b> |
| 4.3 | Componentes de distribución de materia seca y biomasa acumulada en órganos en grupos de maíz evaluados en Valles Altos Centrales, durante el 2013.....   | <b>93</b> |
| 4.4 | Correlaciones de los componentes de la utilidad de biomasa en grupos de poblaciones de maíz, evaluados en Valles Altos Centrales en 2013.....  | <b>97</b> |
| 4.5 | Maíces sobresalientes en cada grupo genético, ordenados bajo criterios de índice de cosecha y sus componentes, para los Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.....   | <b>98</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b> | <b>Título</b>   | <b>Pág.</b> |
|---------------|---|-------------|
| 4.1           | Relación del rendimiento de grano por planta y el índice de cosecha en tres grupos de poblaciones de maíz de diferente origen genético..... | <b>94</b>   |
| 4.2           | Relación del rendimiento de grano por planta y el rendimiento biológico por planta en grupos de poblaciones en maíz.....                    | <b>96</b>   |

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Con base en los volúmenes de producción de maíz (*Zea mays* L.) obtenidos mundialmente en los últimos 11 años (630.3 millones de toneladas anuales) se considera que este cereal es el cultivo más importante del mundo. De los principales cereales, por su producción, el maíz es superior al trigo y al arroz; ha sido el único cultivo que ha tenido un ritmo positivo en el crecimiento promedio anual (Polanco *et al.*, 2008), también es uno de los cereales que mayor distribución en superficie sembrada tiene en el mundo (Reyes, 1990; Sleper y Poehlman, 2006). El maíz es, por mucho, el mayor componente del comercio mundial de granos, lo que representa alrededor de tres cuartas partes del volumen de granos producidos recientemente. La mayor parte del maíz que se comercializa se utiliza para la alimentación humana y animal, y son cantidades más pequeñas las utilizadas para usos industriales. Dentro del grupo de cereales, por los subproductos obtenidos y sus usos como harinas y edulcorantes, el maíz se considera el más importante (Salinas-Moreno *et al.*, 2010).

México es uno de los principales países productores de maíz, al ocupar el quinto lugar en la producción mundial (FAOSTAT, 2015); en promedio de los últimos 11 años, se han producido 19.3 millones de toneladas anuales de maíz, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2 % (Polanco *et al.*, 2008). La producción obtenida en 2012 fue de 22 069 254 ton (SIAP, 2014).

El maíz es el cereal básico de la alimentación en México. Estudios recientes sobre el consumo *per capita* de tortilla señalan que es de 127 kg (Nadal y Wise, 2005). La importancia de la tortilla en la dieta mexicana radica en que es una fuente importante de calorías y calcio (Serna-Saldívar y Amaya-Guerra, 2008), puede proporcionar de 32 a 62 %

de los requerimientos mínimos de hierro (Paredes-López *et al.*, 2009). Es en México también en donde se encuentra una de las mayores riquezas en diversidad genética de esta planta. Ello se atribuye a que en este país se originó y domesticó al maíz (Vavilov, 1951; Kato *et al.*, 2009); por lo que se reportan 57 razas nacionales (Sánchez *et al.*, 2000), las cuales representan aproximadamente 23 % de la diversidad genética del continente americano (Goodman y Brown, 1988). Las poblaciones de maíz domesticado mantienen una proliferación de su diversidad, o reducción en algunos casos, debido a fenómenos de deriva genética y selección, tanto la natural como la inducida. Como resultado de esto, en la actualidad se encuentra un gran número de poblaciones nativas adaptadas a condiciones ambientales específicas y adecuadas a una amplia diversidad de usos (Warburton *et al.*, 2008); al grado tal que es posible ubicar un patrón varietal específico por microrregión (Muñoz, 1991).

El cultivo del maíz en México se hace actualmente en un amplio espectro de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta niveles cercanos a 4 000 msnm. Se siembra en zonas con escasa precipitación, en regiones templadas, en laderas de las zonas montañosas y en ambientes muy cálidos y húmedos; en pronunciadas laderas y en amplios valles fértiles; tiene suficiente plasticidad para cultivarse en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (Ortega, 1991; CONABIO, 2011). Con respecto al suelo, el maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelos (Reyes, 1990). A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Muñoz, 1991).

Aún con la amplia diversidad en este cultivo emblemático, actualmente en programas de mejoramiento genético, para la formación de híbridos y variedades

mejoradas, el uso de esta diversidad se ha limitado solo a algunas razas o complejos raciales para una región; tal es el caso de la raza Tuxpeño en el trópico húmedo; de las razas Celaya, Bolita y Cónico Norteño en el Bajío; y de Chalqueño y Cónico en los Valles Altos; esto indica que el aprovechamiento de la variación genética ha ocurrido en mayor proporción con germoplasma adaptado a áreas ecológicas específicas. Sin embargo, para ambientes emergentes de estrés, ocasionados por el inminente cambio climático, o para condiciones ecológicas particulares, en muchas ocasiones no se satisfacen los requerimientos de producción con estos materiales mejorados, de tal forma que llegan a rendir igual o son superados por las poblaciones nativas locales (Castillo, 1994).

La región Mixteca es una zona ubicada al sur de México, abarca los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero con una extensión aproximada de 37 229 km<sup>2</sup>. En el Estado de Oaxaca la región de la Mixteca se divide por su altitud en Mixteca Baja (< 2000) y Mixteca Alta (> 2000); la etnia Mixteca es la que principalmente habita en el área (Guerrero *et al.*, 2010). Los climas predominantes son de los tipos C (w<sub>0</sub>, w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>), templados subhúmedos, característicos de las montañas de México (García, 1994).

En cuanto a la diversidad de maíz presente en la Mixteca Oaxaqueña se muestra una adaptación particular a las condiciones de estrés ambiental, debido a que la erosión del suelo es uno de los problemas más agudos para la producción agrícola, pues 80 % de sus suelos se encuentran afectados por la erosión hídrica y la tasa anual de pérdida de suelo (200 t ha<sup>-1</sup>) es una de las más elevadas a nivel mundial (Martínez, 2006; Valencia-Manzo *et al.*, 2006; Contreras, 2007; León-Santos, 2007). Además, una de las principales actividades económicas de la Mixteca Alta es la producción de ganado menor, condición que sigue agravando el problema (Guerrero-Arenas *et al.*, 2010), situación que provoca las bajas del

rendimiento en los agroecosistemas (Frausto *et al.*, 1991). La disminución en la productividad de la Región repercute directamente en un reducido poder adquisitivo de los productores y un mayor costo de producción, al requerir mayor cantidad de insumos y aplicarlos en mayor frecuencia (Kidd y Pimentel, 1992). Empero, existen al menos 20 razas de maíz, de las que sobresalen las razas Cónico, Chalqueño, Pepitilla y Elotes Cónicos, además de ciertos complejos raciales fenotípicos y un grupo de razas incipientes no muy documentadas denominadas Mixteco y Serrano Mixe (Aragón *et al.* 2006; Chávez *et al.*, 2011). La escasa precipitación es otro de los factores ambientales que ejercen presión sobre la diversidad de maíces de la Mixteca Alta Oaxaqueña. La localidad de San Andrés Andua representa un nicho importante para la región de Nochixtlán, Oaxaca, al contar con suficiente agua y suelos aptos para la producción; no obstante, los híbridos comerciales, procedentes en su mayoría de empresas privadas extranjeras, son los utilizados por los agricultores de la localidad; situación que genera desigualdad en el acceso a esta tecnología y el desplazamiento de los maíces nativos.

La agrobiodiversidad es un sistema biológico dinámico en constante cambio, el cultivo de maíz es el ejemplo por excelencia; sin embargo, por diferentes causas, actualmente hay un incremento en la tasa de erosión de las poblaciones, situación que hace necesario considerar estrategias de conservación y usos sustentables de este recurso, especialmente en los centros de origen y áreas de diversidad; esto con la finalidad de mantener una amplia base de genes para utilizarlos en el mejoramiento genético y prevenir pérdidas permanentes de la diversidad restante y la extinción de sus parientes silvestres (Damania, 2008).

La dinámica de distribución de germoplasma de maíz en el país, por los diferentes medios, es muy activa; esto favorece el aprovechamiento de la diversidad genética, tanto en

la propia región como en otras áreas ecológicas. Sin embargo, la diversidad de maíz existente en áreas distantes como la Península de Baja California, la región montañosa del estado de Tamaulipas, el estado de Tabasco y el Norte de Chiapas, aún está escasamente estudiada, y existen riesgos de pérdida o degradación de esas poblaciones nativas (Ortega *et al.*, 1991). Ante el panorama donde ciertas regiones presentan una reducción en la utilidad de ciertas razas de maíz, situación que conlleva a una paulatina pérdida del germoplasma, los materiales introducidos a regiones ajenas a sus nichos (exóticos) son una fuente importante de reactivación de las poblaciones locales; no obstante, los cambios que puedan presentar los materiales introducidos pueden ser favorables o no, desde el punto de vista agronómico (Goodman *et al.*, 1985); sin embargo, se han demostrado las bondades del potencial de este tipo de germoplasma como estrategia para incrementar la diversidad genética (Santillán *et al.*, 2004).

González *et al.* (2008) mencionan que en los Valles Altos Centrales de México existe heterogeneidad ambiental relacionada con altitud, temperatura, precipitación y tipo de suelo. Condición que corroboran en 2010; ya que, al evaluar maíces nativos en cuatro ambientes de la región de los Valles Altos Centrales encontraron respuestas diferenciales entre ambientes, independientemente de las similitudes en altitud y clima (González *et al.*, 2010).

El estudio de la conservación y uso de esta diversidad es de interés científico y económico; científico porque se requiere documentar la variación morfológica y genética así como su relación con el ambiente físico y biótico que lo rodea, y con la determinante social de su existencia y evolución bajo domesticación. Económico, porque aún en nuestros días predomina en México el cultivo de maíces nativos, y puesto que los recursos fitogenéticos son la materia prima para la obtención de variedades altamente productivas,



su uso adecuado podría contribuir a cubrir las necesidades crecientes de alimentos en el país (Ortega, 1991; SINAREFI, 2015).

### **1.1. Objetivo General**

Estudiar los cambios fenológicos, morfológicos, rendimiento y componentes de rendimiento y eficiencia en el uso de la biomasa en la definición del rendimiento al evaluar en dos ambientes, poblaciones de maíz agrupadas en: a) Poblaciones adaptadas a VA; b) cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético de Fisiotecnia, Colegio de Postgraduados y c) híbridos comerciales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y experimentales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Así como determinar si dichos cambios favorecen la adaptación de los genotipos a las diversas condiciones de estrés ambiental que se presentan en la Mixteca Alta de Oaxaca y que algunas de esas poblaciones puedan mostrar mayor potencial fisiotécnico e identificar los genotipos sobresalientes para su posible recomendación a productores locales.

### **1.2. Objetivos específicos**

Determinar el comportamiento fenológico y morfológico de poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales; cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético del Colegio de Postgraduados e híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y experimentales del CIMMYT en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca.

Cuantificar los cambios en el rendimiento y sus componentes en maíz agrupado en: adaptadas a Valles Altos Centrales, cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético del Colegio de Postgraduados e híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y experimentales del CIMMyT en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca.

Determinar la dinámica de acumulación y distribución de materia seca en poblaciones de maíz agrupadas en poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales; cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético del Colegio de Postgraduados e híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y experimentales del CIMMyT en los Valles Altos Centrales.

### **1.3. Hipótesis**

Los grupos de poblaciones de maíz, al ser evaluados en condiciones ambientales de altitud, latitud y temperaturas diferentes a las de su origen, como son las poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales, las cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético del Colegio de Postgraduados y los híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y los experimentales del CIMMyT, exhiben cambios no deseables en su comportamiento fenológico y morfológico que repercuten en su capacidad de rendimiento de grano. Con el análisis del comportamiento de los genotipos es posible identificar materiales sobresalientes que sirvan para el apoyo en la producción local, con una opción de bajo costo y accesibilidad para los productores.

**CAPÍTULO II. EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLÓGICA DE MAÍZ  
INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS CENTRALES Y  
MIXTECA ALTA DE OAXACA.**

**2.1 RESUMEN**

México es considerado centro de origen y domesticación del maíz; sin embargo, el mejoramiento genético de este cultivo se ha acompañado por una reducción de la base germoplásmica; ya que, para la obtención de variedades y líneas nuevas, éstas se han derivado de poblaciones de origen común. Para aumentar la diversidad genética se introducen materiales exóticos; no obstante, es necesaria la evaluación de las repuestas al cambio ambiental. El objetivo del presente trabajo fue determinar los cambios fenológicos, morfológicos y de sanidad ocurridos al comparar en dos ambientes del Altiplano Mexicano; Valles Altos (VA) y Mixteca Alta de Oaxaca (MA), tres grupos de poblaciones de maíz: a) Poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales (CB); b) cruza simple experimental (HE) comparados con c) híbridos comerciales (HC). Se consideraron variables fenológicas, morfológicas y sanidad en planta y mazorca. Los grupos presentaron interacción ( $p \leq 0.05$ ) con el ambiente en sus floraciones masculina, femenina y en asincronía floral; en VA la floración fue más tardía y asincrónica, el grupo CB fue el más tardío y con mayor asincronía floral, tanto en VA como en MA; se diferencia en precocidad a los HE en ambos ambientes. La altura de planta fue estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en VA, destacando los CB y HE. En aspectos de sanidad como mala cobertura en mazorca, la MA fue el ambiente donde más se presentó esta deficiencia, los HE fue el grupo más afectado. Los CB e HE fueron los que presentaron mayor ramificación y longitud de sus espigas. Con la finalidad de recomendar genotipos sobresalientes, los CB reportaron días a floración

similares a los testigos y con tendencias a la precocidad de las poblaciones C4026 y C4035 tanto en VA como en la MA. Los HE fue el grupo con mayor precocidad para VA y MA destacando las cruzas L4 x L1, L5 x L3 y L5 x L6.

**Palabras clave:** Maíz, diversidad genética, germoplasma exótico, cambios morfológicos y fenológicos.

## 2.2 INTRODUCCIÓN

Hace aproximadamente 9 000 años, el maíz fue domesticado en México a partir de un teocintle tropical (Beadle, 1939; Doebley, 2004). La variación genética de las poblaciones de maíz domesticado es el producto de miles de años de selección tradicional, practicada por los agricultores del país (Miranda, 1998); por lo que se considera que es México el centro de origen y diversificación de este cereal (Matsuoka *et al.*, 2002; Kato *et al.*, 2009).

La conservación de una variedad nativa de maíz depende de la utilidad para los agricultores; sin embargo, en todos los panoramas agrícolas tradicionales de México, los custodios de este patrimonio biológico se están enfrentando a condiciones de adversidades socioeconómicas y ambientales (Ortega, 1991; Serratos, 2009). La conservación de germoplasma *in situ* y *ex situ* no tiene sentido si no se considera el uso sustentable del mismo (Molina *et al.*, 2006). Sólo al conocer la diversidad genética que existe y clasificar para qué sirve cada variedad de maíz, los fitomejoradores podrán utilizar esta riqueza para desarrollar nuevas variedades que combinen, en lo más posible, los atributos particulares de las mismas (González *et al.*, 2013).

La reducción de la diversidad genética al aplicar metodologías de mejoramiento y la sucesiva sustitución de germoplasma nativo por las variedades mejoradas está provocando una reducción de la base genética, tanto en Europa como en E.U.A. (Duvick, 2005; Reif *et al.*, 2005; Dubreuil *et al.*, 2006). El mismo panorama se presenta en las regiones subtropicales y tropicales (Reif *et al.*, 2004; Xia *et al.*, 2004, 2005; Reif *et al.*, 2006); cabe mencionar que estos estudios sugieren que las variedades de maíz de los agricultores tradicionales pueden ser una buena fuente de nueva diversidad alélica. En México, los programas de mejoramiento de maíz, al centrarse en el uso limitado de las razas existentes, también sugiere que se haya provocado una reducción en la base genética de los materiales mejorados obtenidos; actividad que limita la respuesta favorable a los cambios ambientales (Castillo *et al.*, 1994).

Con el intercambio de semilla entre productores e investigadores, se ha observado que los maíces al sembrarse fuera de su región de adaptación representan cambios morfológicos y fenológicos, y que éstos pueden ser favorables o contrarios a los fines productivos; sin embargo, los beneficios en la ampliación de la base genética local son directos (Goodman, 1985; Molina, 1990; Pérez *et al.*, 2000).

Expuesto lo anterior, un grupo de germoplasma de maíz colectado en la zona centro-sur de Tamaulipas (Castro *et al.*, 2013), se integró al programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados; ya que al evaluar 29 poblaciones sobresalientes (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Pecina *et al.*, 2013) y encontrar en ellas características agronómicas favorables, permitió que algunas de estas poblaciones se adaptaran a los Valles Altos Centrales; tales poblaciones en su versión de compuestos balanceados con dos ciclos de recombinación mediante polinización controlada, se incluyen en el presente

trabajo. En el Colegio de Postgraduados se han obtenido materiales avanzados de maíz y en seguimiento a este eje estratégico, también se incluyen en el presente estudio, cruzas experimentales agrupadas como híbridos experimentales; ambos grupos comparados son comparados con algunos híbridos comerciales formados en diferentes instituciones.

### **2.2.1 Objetivo General**

Estudiar los posibles cambios fenológicos y morfológicos ocasionados por modificar el ambiente original de producción de poblaciones de maíz adaptado a VA, (compuestos balanceados) y cruzas simples experimentales del Programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados; que al compararlos con híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y experimentales del CIMMyT; se pueda determinar si dichos cambios favorecen la adaptación a las diversas condiciones de estrés ambiental de la Mixteca Alta de Oaxaca y con ello se puedan identificar los materiales sobresalientes para su recomendación local.

### **2.2.2 Objetivo específico**

Determinar el comportamiento fenológico y morfológico ocurrido en grupos de poblaciones de maíz con diferente origen genético que al ser desarrollados para Valles Altos Centrales y ser crecidos en la Mixteca Alta muestren características arquetípicas favorables para ser aprovechadas en la región.

### **2.2.3 Hipótesis**

Los grupos de poblaciones de maíz integrados en compuestos balanceados, cruza simples e híbridos comerciales al ser formadas para los Valles Altos Centrales y ser evaluados en condiciones ambientales diferentes a las de su origen genético como la Mixteca Alta en Oaxaca, algunos presentan cambios favorables en su comportamiento fenológico y morfológico. Con ello, es posible identificar las poblaciones sobresalientes para su consideración en programas de mejoramiento genético o en su caso, como referencia de comportamiento productivo favorable para recomendaciones a productores locales.

## **2.3 REVISIÓN DE LITERATURA**

El movimiento de las semillas desde una región a otra es una práctica común de los pueblos originarios de México, actividad que permitió la diversificación del maíz en complejos denominados “razas”, adaptadas a condiciones ambientales específicas (Badstue *et al.*, 2006). Wellhausen (1951) en sus estudios de maíz nativo “Razas de Maíz en México” hizo la observación de que las razas de maíz clasificadas como “antiguas” tales como Chapalote y Nal-tel, se adaptaban con mayor facilidad a los cambios drásticos del ambiente, pues al moverlos hacia zonas templadas, mostraban mayor adaptabilidad que los maíces “modernos”, considerando que son de origen tropical. Introducir maíz exótico y cruzarlo con las razas antiguas presentes en el territorio mexicano originó diversidad y productividad.

La diversidad genética del maíz ofrece oportunidades para el mejoramiento genético. La presencia de alelos favorables en el germoplasma de maíz contribuye a obtener

mayor rendimiento, tolerancia al estrés abiótico, resistencia a las enfermedades y la mejora de la calidad nutricional. Sin embargo, estos alelos deseables son a menudo dispersos en una amplia gama de variedades o poblaciones locales. La capacidad para ampliar la base genética del maíz y mejorar las variedades con alto rendimiento, adaptables a diversos contextos agroecológicos, sin duda dependerá del descubrimiento e integración eficiente y rápida de nuevos alelos favorables (Sánchez, 2011; Prasanna, 2012).

Germoplasma exótico se considera a las variedades de cultivos no adaptadas para su uso inmediato bajo condiciones ambientales diferentes a las de su origen; el germoplasma exótico constituye una rica fuente de diversidad, por ende, es un recurso con potencial de mejora en las poblaciones locales que carecen de productividad, resistencia a enfermedades y estreses abióticos, entre otros (Goodman *et al.*, 2000; Holland, 2004; Zivanovic *et al.*, 2007).

El germoplasma exótico requiere de un proceso de adaptación para ser considerado como un prospecto en el mejoramiento genético de los materiales locales, esto debido a las respuestas poco favorables en fotoperiodo, altura de planta y temperatura; características que al contrastar con las de las poblaciones locales lo ubica en desventaja (Bridges y Garner, 1987); las razones principales del uso limitado de germoplasma exótico en el mejoramiento de maíz señalan la brecha de rendimiento entre el germoplasma mejor adaptado *versus* el exótico, además de que poseen floración tardía, asincronía prologada y el acame de tallo y raíz (Hallauer y Sears, 1972; Albrecht y Dudley, 1987; Holland *et. al.*, 1996; Bernardo, 2009). Las respuestas antes mencionadas pueden ser corregidas al someter a las poblaciones introducidas a un proceso de selección, pero con baja presión de selección (Ponce *et al.*, 2002).



En algunos programas de mejoramiento genético, las poblaciones exóticas de maíz ya son parte integral de su germoplasma base con fines varios, como el rendimiento de grano alto y otras características de importancia económica como el forraje (Nass y Coors, 2003). La reducción de la base genética en la formación de híbridos resulta en una peligrosa reducción de la diversidad, esto es un fenómeno presente en distintas regiones agrícolas del mundo; por ejemplo, los Estados Unidos de Norteamérica, en el cinturón maicero, reportan los rendimientos más altos pero con una reducción peligrosa en la base genética para responder a los cambios ambientales; no obstante, se llevó a cabo la introducción de maíces exóticos que en un principio provocaron plagas, lo que estigmatizó el uso de estas poblaciones. Actualmente las líneas que ofertan las empresas semilleras llevan en su base germoplásmica porcentajes considerables de maíces tropicales cruzados con templados, locales y adaptados (Goodman, 2004). Resultados similares obtuvo Vasic (2006) al comparar los efectos de las diferentes proporciones de germoplasma de maíz tropical (NC298, línea homocigótica) en progenitores masculinos de híbridos; considerando las variables rendimiento de grano, contenido de humedad del grano y características de estabilidad en la interacción genotipo por ambiente. Se estudiaron cruzas directas y retrocruzas (entre NC298 como hembra, MO17 y NS796 como líneas masculinas). Se formaron grupos con porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100 % de germoplasma tropical, respectivamente. Los resultados sugieren que la introducción de materiales con 25 % de germoplasma tropical en los programas de mejoramiento de maíces templados o locales, resulta favorable para características de alta productividad.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Derivado del proyecto de conservación del maíz nativo, en la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), donde en el estado de Tamaulipas se logró coleccionar a partir de 2001, más de 250 poblaciones (Castro *et al.*, 2013). Pecina-Martínez *et al.* (2009) estudiaron 29 poblaciones nativas sobresalientes de esta colección; encontraron que esas poblaciones de Tamaulipas, en los Valles Altos Centrales exhibieron una alta variabilidad e interacción favorable con el ambiente, para las variables número de granos, producción de grano y compatibilidad con el germoplasma de Valles Altos para alto rendimiento, además de que algunas de estas poblaciones fueron prolíficas. En seguimiento a los materiales sobresalientes, Pecina *et al.* (2013) evaluaron en 3 ambientes contrastantes 18 mestizos formados con líneas S<sub>1</sub> derivadas de poblaciones nativas de cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas y un probador de alto rendimiento de Valles Altos. Hubo mestizos que presentaron rendimiento y componentes del rendimiento altos con características agronómicas favorables, indicando con ello el alto potencial de uso en el mejoramiento genético. En el presente estudio se incluyeron 18 poblaciones en su versión de compuestos balanceados con dos ciclos de recombinación mediante polinización controlada y dos compuestos de variedades sintéticas de Valles Altos, para formar el Grupo 1 con 20 materiales; el Grupo 2 estuvo integrado por cruza simples experimentales, 11 de líneas altamente endogámicas y 13 de mestizos obtenidos en el 2011; y el Grupo 3 fue formado por un híbrido comercial del INIFAP (H-377 trilineal), y tres híbridos provenientes de la UACH (H-San José de grano blanco, H-San Marcos de grano amarillo y H-San Miguelito de grano azul) y dos híbridos trilineales del CIMMyT (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, 2013.

| Nombre de grupo                     | Grupo    | Población  | Origen genético   |
|-------------------------------------|----------|--|---|
| <b>Compuestos Balanceados (CB)</b>  | <b>1</b> | C4021, C3024, C3040, C3041, C3043, C4022, C4026, C4031, C4035, C4037, C3004, C3006, C3007, C3012, C3016 y C3022                                    | Poblaciones nativas de Tamaulipas con adaptación a VA (C <sub>2</sub> ), su origen fueron colectas del centro-sur de Tamaulipas, de las razas Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Olotillo y Vandeño. |
|                                     |          | H-437  | Generación F <sub>3</sub> del Híbrido H-437 del INIFAP.   |
|                                     |          | UAT  | Población recombinante formada con 12 poblaciones nativas sobresalientes en ambientes de Tamaulipas.  |
|                                     |          | VS Chapingo 3 y VS San Bernardino  | Poblaciones recombinantes de variedades sintéticas de la UACH de maíces de Valles Altos.  |
| <b>Híbridos Experimentales (HE)</b> | <b>2</b> | T5 x M2, T5 x M3, VA5 x T5, VA5 x T4, VA5 x M4, VA5 x T3, VA6 x M2   | Cruzas simples de maíces exóticos por locales de VA.  |
|                                     |          | L4 x L1, L5 x L6, L5 x L3 y L5 x L4  | Cruzas de líneas altamente endogámicas del CP.  |
|                                     |          | 1348 x P2, 1451 x P6, 1313 x P2, 1547 x P14, 1455 x P6, 1564 x P14, 1401 x P2, 1367 x P2, 1546 x P14, 1558 x P14, 1435 x P6, 1355 x P2, 1392 x P26 | Cruzas de líneas del CP x UACH.   |
| <b>Híbridos Comerciales (HC)</b>    | <b>3</b> | H-377  | Híbrido del INIFAP  |
|                                     |          | H-San José   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Marcos   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Miguelito  | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | (CML460//CML461//CHYE140)<br>(CML457//CML459//CHYE133)   | Híbridos trilineales del CIMMYT   |

Durante el ciclo PV 2013 se estableció, bajo condiciones de riego, un ensayo uniforme en cada uno de dos ambientes: I) Valles Altos (VA): en el municipio de Texcoco, Edo. de México. II) Mixteca Alta (MA): en San Andrés Andua, municipio de San Juan Sayultepec, Oaxaca.

**Cuadro 2.** Características de los ambientes donde se evaluaron grupos de poblaciones de maíz en 2013.

| <b>Ambiente</b> | <b>Altitud<br/>(m)</b> | <b>Latitud<br/>Norte</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Precipitación<br/>(mm)</b> |
|-----------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Valles Altos    | 2250                   | 19° 29´                  | 16.5                        | 624                           |
| Mixteca Alta    | 2081                   | 17° 26´                  | 18.0                        | 416                           |

Datos de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados y Red meteorológica del INIFAP.

En ambas localidades se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en VA y cuatro repeticiones en MA. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud en VA y un surco en MA, los surcos tuvieron 0.80 m de ancho. La siembra fue manual en las dos localidades, a una densidad de 100 000 semillas ha<sup>-1</sup>; posteriormente se arraló dejando una densidad de 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Ambos experimentos se establecieron el 1 de mayo de 2013 y se regó inmediatamente después de sembrar. En VA se aplicó la dosis de fertilización 120-60-00, con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y la otra mitad de N en la segunda de dos escardas; para el caso de MA hubo además, dos aplicaciones foliares de Bayfolan® Forte, durante la etapa vegetativa, pues se presentaron síntomas de deficiencia de Hierro (Fe). El control de maleza e insectos se hizo de acuerdo con las recomendaciones para maíz en cada ambiente (INIFAP, 2007).

Las variables registradas en los dos ambientes se clasificaron en fenológicas y morfológicas. Las fenológicas fueron: **días a floración masculina (DFM)** y **femenina (DFF)**, contados desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la parcela iniciaban la liberación del polen y la exposición de estigmas, respectivamente; **Asincronía floral (AsF)** como la diferencia entre DFM y DFF. Las variables morfológicas fueron: **altura de planta (ALT, cm)** en cinco plantas por repetición, medidas desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera; **posición relativa de la mazorca (PRMz)** resultado de la relación (altura a la mazorca de planta/altura de planta); **mala cobertura (MCOB)** se evaluaron todas las plantas de las parcelas en cada repetición y se contabilizó el número de plantas con mazorca con mala cobertura; **acame de raíz (AR)** número de plantas acamadas desde la raíz y **acame de tallo (AT)** plantas acamadas desde el tallo, en las parcela de cada repetición.

En el ambiente de VA, además de las variables anteriores, también se registraron caracteres morfológicos en cinco plantas por tratamiento, siguiendo las indicaciones de la Guía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz (SNICS, 2013); los caracteres fueron: **Longitud de entrenudos superiores (LeS, cm)** se midieron todos los entrenudos superiores a la inserción de la mazorca, se obtuvo un promedio, mismo que se usó en el análisis estadístico de la variable. **Longitud de entrenudos inferiores (LeI, cm)** para esta variable fueron considerados todos los entrenudos localizados por abajo de la inserción a la mazorca, se obtuvo un promedio. **Longitud del pedúnculo (LpD, cm)** se midió el pedúnculo de la espiga como el segmento entre el nudo de la hoja bandera y la base de la espiga. **Longitud del eje central de la espiga (LeP, cm)** se registró la longitud del eje principal de la espiga. **Número de ramas primarias de la espiga (Nrp)** se contabilizaron todas las ramas primarias de la espiga. **Longitud promedio de ramas primarias de la**

**espiga (Lrp, cm)** el registro de medidas de las ramas primarias en las cinco plantas por parcela. **Número de ramas secundarias (Nrs)** se contabilizaron todas las ramas secundarias de la espiga. **Longitud promedio de ramas secundarias de la espiga (Lrs, cm)** se hizo el registro de medidas de las ramas secundarias. **Sumatoria de las ramas primarias y secundarias (Nrt)** concentrado de ramas primarias y secundarias en espigas de cinco plantas por parcela. **Longitud acumulada de las espigas (LgA, cm)** el producto de las sumatorias del número de ramas primarias y secundarias con sus respectivas longitudes (Nrp+Lrp) (Nrs+Lrs).

También se consideraron en tres plantas por tratamiento, en la etapa de grano masoso, el **número de brácteas (Nbr)** se contaron las brácteas que cubren la mazorca; **número de granos por hilera (Ng)** registro de los granos de una hilera por tratamiento; **número de hileras (Nh)** concentrado de hileras presentes en la mazorca; **granos potenciales (Gp)** como Ng x Nh; **hojas totales (HT)** se contó el total de hojas presentes en las plantas de cada genotipo y **hojas arriba de la mazorca (HaMz)** debido a la importancia en la captura de la radiación de las hojas presentes en la parte superior a la inserción de la mazorca, se contabilizaron para su evaluación.

El análisis estadístico se efectuó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002), mediante un análisis de varianza por ambiente y uno combinado a través de ambientes. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_k + R_{l(k)} + G_i + P_{j(i)} + AG_{ik} + AP_{kj(i)} + \epsilon_{ijkl}$$

donde,  $Y_{ijkl}$  = respuesta de la j-ésima población de maíz correspondiente al i-ésimo grupo de poblaciones, al ser evaluada en el k-ésimo ambiente en la l-ésima repetición;  $\mu$  = media general;  $A_k$  = efecto atribuido al k-ésimo ambiente;  $R_{l(k)}$  = efecto de repetición anidada en el

k-ésimo ambiente;  $G_i$  = efecto del grupo de poblaciones de maíz;  $P_{j(i)}$  = efecto de población anidada en grupo;  $AG_{ik}$  = efecto de interacción de grupo de poblaciones x ambientes;  $AP_{kj(i)}$  = efecto de ambiente por población anidada en grupo;  $\epsilon_{ijkl}$  = efecto aleatorio atribuido al error experimental.

Para la significancia entre ambientes se consideró como término de error a las repeticiones anidadas en ambientes, mientras que las otras fuentes de variación se probaron contra el error experimental. Se aplicó la comparación de medias entre ambientes y entre grupos. Para la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos, se calculó la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre ambientes, se muestran diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la variable PRMz y significativas ( $P \leq 0.05$ ) para FM, FF, AsF, ALT y MCOB, mas no para las variables AR y AT (Cuadro 3), esto puede atribuirse a que aún en agroecosistemas similares a los de los Valles Altos, como es el de MA, las condiciones climáticas y edáficas varían de tal forma que influyen en las respuestas diferenciales de las poblaciones de maíz estudiadas; sobresale en VA la presencia de una granizada en la etapa R4 (grano masoso); fenómeno que afectó el comportamiento de los materiales, también las características contrastantes del suelo, en especial el pH, pues en la Mixteca Alta el experimento se situó en un suelo con pH de 8.5, característica que dificulta el buen desarrollo del cultivo de maíz (Reyes, 1990) y suelo delgado por erosiones hídricas (Guerrero *et al.*, 2000).

Los análisis de varianza combinados (Cuadro 3) mostraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos dentro de grupos, para las variables FM, FF, AsF, ALT, PRMz, MCOB y AT; con excepción de AR. Las interacciones ambientes x

grupos de poblaciones fueron altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables FM y FF, y significativas ( $P \leq 0.05$ ) para AsF, ALT, PRMz y AT; en ambientes x poblaciones anidadas en grupos, también fueron altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) las variables FM, FF, AsF y significativas ( $P \leq 0.05$ ) ALT, PRMz, AT, con excepción de MCOB y AR. Con base en los objetivos planteados, el análisis de resultados se centra en las diferencias de tratamientos a través de grupos.



**Cuadro 3.** Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables morfológicas y fenológicas en poblaciones de maíz evaluadas en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, durante 2013.

| <b>FV</b>               | <b>gl</b>  | <b>FM</b> | <b>FF</b> | <b>AsF</b> | <b>ALT</b> | <b>PRMz</b> | <b>MCOB</b> | <b>AR</b> | <b>AT</b> |
|-------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| <b>Amb</b>              | <b>1</b>   | 201.9 *   | 397.8 *   | 32.8 *     | 175932.3 * | 13706.3 **  | 421.8 *     | 101.2 ns  | 161.7 ns  |
| <b>Rep (amb)</b>        | <b>5</b>   | 25.0 **   | 25.7 **   | 0.7 *      | 2526.7 **  | 49.5 *      | 51.9 **     | 24.3 **   | 33.4 **   |
| <b>Grupo</b>            | <b>2</b>   | 2029.7 ** | 2127.7    | 4.6 **     | 2689.9 **  | 174.8**     | 71.41 **    | 6.8 *     | 10.1 ns   |
| <b>Trat (grupo)</b>     | <b>47</b>  | 169.8 **  | 172.45    | 1.2 **     | 1262.4 **  | 69.24 **    | 14.1 **     | 2.0 ns    | 11.2 **   |
| <b>CB</b>               | <b>19</b>  | 264.2 **  | 281.2 **  | 1.4 **     | 1047.3 **  | 60.4 **     | 12.3 **     | 0.9 ns    | 4.5 ns    |
| <b>HE</b>               | <b>23</b>  | 66.9 **   | 60.9 **   | 1.1 **     | 699.5 **   | 54.5 **     | 14.9*       | 3.0 ns    | 17.3 **   |
| <b>HC</b>               | <b>5</b>   | 271.6 **  | 271.7 **  | 0.5 *      | 4669.5 **  | 170.9 **    | 17.1 *      | 1.6 ns    | 9.2 ns    |
| <b>Amb*grupo</b>        | <b>2</b>   | 62.9 **   | 73.6 **   | 1.06 *     | 1955.2 *   | 51.9 *      | 9.8 ns      | 2.8 ns    | 26.5 *    |
| <b>Amb*Trat (grupo)</b> | <b>47</b>  | 37.6. **  | 36.7 **   | 1.2 **     | 442.9 *    | 17.2 *      | 4.6 ns      | 1.3 ns    | 7.3 *     |
| <b>Error</b>            | <b>242</b> | 4.3       | 4.4       | 0.2        | 274.4      | 9.3         | 4.2         | 2.1       | 4.8       |
| <b>CV (%)</b>           |            | 2.3       | 2.2       | 13.1       | 6.2        | 5.9         | 75.6        | 133.2     | 75.9      |

\*\* , \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo; FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; AsF = Asincronía floral; ALT = Altura de planta; PRMz = Posición relativa de la mazorca; MCOB = Número de plantas con mala cobertura en mazorca; AR = Número de plantas con acame de raíz; AT = Número de plantas con acame de tallo.

Los grupos de poblaciones presentaron interacción ( $p \leq 0.05$ ) con el ambiente en sus floraciones masculina, femenina y en asincronía floral; en VA (ambiente con mayor altitud, menor temperatura y menor latitud) la floración fue más tardía y asincrónica (Cuadro 4). Pecina *et al.* (2009) al evaluar las poblaciones originales en ambientes contrastantes

encontraron una respuesta similar. En este estudio se tuvieron tendencias, ya que el grupo CB fue el más tardío y con mayor diferencia en días entre la floración masculina y femenina, tanto en VA como en MA; se diferencia en precocidad a los HE en ambos ambientes. Para el caso de la MA los HC estadísticamente fueron iguales a los CB en su floración masculina y femenina, pero significativamente diferente al grupo HE. Respuestas contrastantes se esperan al cambiar poblaciones de sus ambientes de origen, en especial por cambios en el fotoperiodo (Hallauer y Sears, 1972; Albrecht y Dudley, 1987; Holland *et. al*, 1996; Bernardo, 2009).

**Cuadro 4.** Valores medios para el comportamiento de ambiente y grupos de poblaciones dentro de ambientes, evaluados en 2013.

| Ambiente            | Grupo     | FM            | FF            | AF           | ALT            | PRMz          | MCOB         | AR           | AT           |
|---------------------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                     | <b>CB</b> | 94.0 a        | 98.3 a        | 4.2 a        | 291.1 a        | 60.2 a        | 1.1 ab       | 0.3 a        | 4.1 a        |
| <b>Valles Altos</b> | <b>HE</b> | 85.5 b        | 89.4 c        | 3.8 b        | 296.7 a        | 58.1 b        | 1.8 a        | 0.6 a        | 3.3 a        |
|                     | <b>HC</b> | 92.1 a        | 95.6 b        | 3.4 c        | 275.7 b        | 55.2 c        | 0.9 b        | 0.3 a        | 3.6 a        |
| <b>DHS</b>          |           | 1.2           | 1.1           | 0.27         | 10.8           | 1.7           | 0.79         | 0.52         | 1.4          |
| <b>Promedio</b>     |           | <b>89.7 A</b> | <b>93.7 A</b> | <b>3.9 A</b> | <b>291.9 A</b> | <b>58.6 A</b> | <b>1.4 B</b> | <b>0.4 A</b> | <b>3.6 A</b> |
|                     | <b>CB</b> | 91.0 a        | 94.4 a        | 3.5 a        | 251.0 a        | 46.3 a        | 2.8 b        | 1.6 ab       | 2.1 ab       |
| <b>Mixteca Alta</b> | <b>HE</b> | 86.2 b        | 89.5 b        | 3.2 ab       | 244.5 ab       | 46.0 a        | 4.5 a        | 1.6 a        | 2.7 a        |
|                     | <b>HC</b> | 91.33 a       | 94.5 a        | 3.2 b        | 240.5 b        | 44.6 b        | 3.4 ab       | 0.8 b        | 1.1 a        |
| <b>DHS</b>          |           | 1.0           | 1.0           | 0.22         | 7.3            | 1.5           | 1.17         | 0.84         | 0.9          |
| <b>Promedio</b>     |           | <b>88.2 B</b> | <b>91.6 B</b> | <b>3.3 B</b> | <b>246.6 B</b> | <b>45.9 B</b> | <b>3.6 A</b> | <b>1.5 A</b> | <b>2.3 A</b> |

Diferentes letras minúsculas en columnas representan diferencias entre grupos dentro del ambiente y las letras mayúsculas en columna indican diferencias entre ambientes (Tukey, 0.05). FM = Días a floración masculina; FF = Días a floración femenina; AsF = Asincronía floral; ALT = Altura de planta (cm); PRMz = Posición relativa de la mazorca; MCOB = Número de plantas con mala cobertura en mazorca; AR = Número de plantas con acame de raíz; AT = Número de plantas con acame de tallo. El valor DHS (Diferencia mínima significativa) se calculó considerando a la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

Los CB fueron 4 días más precoces en su floración femenina y 3 días en su FM al cambiar de ambiente, de VA a MA ( $p \leq 0.05$ ), siendo el grupo de poblaciones con mayor

interacción. Los híbridos comerciales crecidos a menor altitud (en MA) disminuyeron en un día su floración femenina; la situación fue similar para los HE. (Cuadro 4).

La altura de planta fue estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) en los Valles Altos, con una diferencia promedio de 45 cm con respecto a la Mixteca Alta (Cuadro 4). La tendencia del grupo de poblaciones provenientes de Tamaulipas (CB) y de las cruza simples experimentales (HE) fue que presentaron mayor altura de planta en el ambiente de mayor altitud y de menor temperatura (VA), lo cual coincide con reportes del comportamiento de genotipos tropicales evaluados en los Valles Altos Centrales de México, ya sea *per se* o en cruza con materiales locales, que mostraron mayor altura de planta y de mazorca (Carrera y Cervantes, 2006; Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000; Pecina *et al.*, 2009). Lo anterior, agronómicamente es indeseable debido a la alta correlación que existe entre esta variable y la tardividad y el acame de las plantas; así, el acame de raíz fue más frecuente en los HE con plantas de porte alto en el ambiente MA; no obstante, las diferencias entre ambientes no fueron significativas, pero evidenciaron tendencias numéricas en VA, para el caso de los CB con más plantas acamadas de tallo (AT). Tanto el acame de raíz y el de tallo son características muy frecuentes en poblaciones que están en proceso de mejoramiento genético cuando se considera sólo el rendimiento como criterio de selección. En plantas altas, estas características pueden ser debidas a un sistema radical débil (Antonio *et al.*, 2004). Al mantener una relación directa entre la altura de planta, la altura a la mazorca y la posición relativa de la mazorca, el grupo CB, con mayor altura a la mazorca presentó desproporción en la posición relativa de la mazorca, con más evidencia en VA. La posición relativa de la mazorca en los grupos evaluados se observó que en VA la posición de la mazorca se situó por encima de 50 %, caso contrario en MA los valores fueron inferiores (Cuadro 4).

La mala cobertura de la mazorca por la presencia de brácteas cortas, es una característica que se debe de evaluar, debido a las reducciones en la productividad de los materiales susceptibles, por ser más sensibles a pudriciones severas de mazorcas y grano. En esta variable las poblaciones mostraron una fuerte interacción con el ambiente; se presentó un mayor número de plantas con mala cobertura en MA (Cuadro 4). El grupo de HE fue el más afectado por presentar una deficiente cobertura de la mazorca en ambas localidades, ya que en MA el ambiente donde más se observó este fenómeno, tuvo 4 plantas por parcela, en promedio ( $p \leq 0.05$ ). Al considerar que el origen genético de este grupo es de materiales tropicales, es un comportamiento característico de poblaciones híbridas de maíz que observaron Martínez y de León (1996).

### **2.5.1. Comportamiento de variables morfológicas en los Valles Altos Centrales.**

Los análisis de varianza (Cuadro 5) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos y tratamientos anidados en grupos. Entre grupos, las variables con respuestas diferenciales altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) fueron: longitud de entrenudos superiores (LeS), longitud de entrenudos inferiores (LeI) y longitud del pedúnculo. Los tratamientos anidados en grupos, mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en LeS, LeI, número de ramas primarias de la espiga (NrP), longitud de ramas primarias (Lrp), número de ramas secundarias (Nrs), número de ramas primarias y secundarias (Nrt) y longitud total de espiga (LgA). Respuestas diferenciales atribuidas a los orígenes genéticos de los grupos evaluados.

**Cuadro 5.** Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables morfológicas de entrenudos y espigas en maíz crecido en los Valles Altos Centrales, durante 2013.

| F. V.               | gl  | LeS         | LeI         | LpD         | LeP       | Nrp       | Lrp         | Nrs         | Lrs         | Nrt         | LgA         |
|---------------------|-----|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Grupo</b>        | 2   | 92.3 **     | 303.5 **    | 321.8 **    | 11.7 ns   | 63.5 ns   | 1.5 ns      | 3.4 ns      | 62.3 ns     | 95.1 ns     | 57281.5 ns  |
| <b>Trat (grupo)</b> | 47  | 17.9 *      | 10.0 **     | 44.3 ns     | 33.4 ns   | 97.2 **   | 19.7 *      | 11.8 *      | 33.5 ns     | 142.2 **    | 47083.8 **  |
| <b>CB</b>           | 19  | 17.2 *      | 8.9 **      | 52.2 ns     | 30.6 ns   | 103.1 *   | 11.03 ns    | 10.05 ns    | 29.3 ns     | 142.2 *     | 54170.4 *   |
| <b>HE</b>           | 23  | 17.5 *      | 5.2 ns      | 36.5 ns     | 39.2 ns   | 83.0 *    | 20.2 ns     | 13.4 **     | 41.7 ns     | 128.9 *     | 41467.5 *   |
| <b>HC</b>           | 5   | 21.9 *      | 36.1 **     | 50 ns       | 16.9 ns   | 139.9 *   | 49.8 *      | 11.4 ns     | 12.2 ns     | 203.6 *     | 45989.3 ns  |
| <b>Error</b>        | 200 | 8.3         | 3.6         | 31.8        | 24        | 34.5      | 10.4        | 6           | 25.1        | 53.7        | 17400.3     |
| <b>CV (%)</b>       |     | <b>17.9</b> | <b>10.2</b> | <b>27.1</b> | <b>12</b> | <b>36</b> | <b>16.1</b> | <b>77.1</b> | <b>38.9</b> | <b>37.6</b> | <b>36.5</b> |

\*\*, \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo; FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación; LeS = Longitud promedio de entrenudos superiores a la mazorca (cm); LeI = Longitud promedio de entrenudos inferiores a la mazorca (cm); LpD = Longitud del pedúnculo (cm); LeP = Longitud del eje central de la espiga (cm); Nrp = Número de ramas primarias; Lrp = Longitud de ramas primarias (cm); Nrs = Número de ramas secundarias; Lrs = Longitud promedio de ramas secundarias de la espiga (cm); Nrt = número de ramas primarias y secundarias de la espiga; LgA = Longitud total de ramas de la espiga (cm).

El grupo de híbridos experimentales (HE) del programa de Fisiotecnia del CP presentaron la mayor longitud de entrenudos inferiores y superiores (Cuadro 6). La longitud del pedúnculo fue igual ( $p \leq 0.05$ ) en el grupo HE y el HC. Las diferencias estadísticas no se evidenciaron en las variables LeP, Nrp, Lrp, Nrs, Lrs Nrt, pero para LgA los grupos CB e HE fueron los que presentaron mayor ramificación y longitud de sus espigas, acordes con

las características comunes de los maíces tropicales. La evaluación morfológica es parte integral de las consideraciones mínimas para un material con fines de mejoramiento genético (Pecina *et al.*, 2009); es evidente que el seguimiento en el grupo HE sobre su arquetipo debe continuar en este sentido, para que en un futuro se pueda contar con germoplasma que puede cubrir las demandas de un mercado específico.

Es de resaltar en el Cuadro 6 que el grupo de poblaciones adaptadas a los Valles Altos (CB) mostraron características similares a las de los HE y HC, lo que indica que los CB, formados con poblaciones nativas de Tamaulipas, tienen potencial para ser utilizados en un futuro inmediato en programas de mejoramiento ya que el proceso de adaptación a los VA les ha permitido mostrar y fijar características favorables de importancia agronómica.

**Cuadro 6.** Valores medios entre grupos de poblaciones para Valles Altos Centrales durante 2013.

| <b>Grupo</b> | <b>LeS</b> | <b>LeI</b> | <b>LpD</b> | <b>LeP</b> | <b>Nrp</b> | <b>Lrp</b> | <b>Nrs</b> | <b>Lrs</b> | <b>Nrt</b> | <b>LgA</b>  |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>CB</b>    | 15.2 b     | 17.0 b     | 18.8 b     | 40.7 a     | 16.5 a     | 20.1 a     | 3.3 a      | 12.0 a     | 19.8 a     | 376.5 a     |
| <b>HE</b>    | 17.0 a     | 20.2 a     | 22.1 a     | 41.4 a     | 16.5 a     | 20.0 a     | 3.2 a      | 13.2 a     | 19.7 a     | 371.2 a     |
| <b>HC</b>    | 15.5 b     | 17.6 b     | 22.2 a     | 41.9 a     | 14.4 a     | 19.8 a     | 2.8 a      | 14.0 a     | 17.1 a     | 308.2 b     |
| <b>DHS</b>   | <b>1.3</b> | <b>0.8</b> | <b>2.5</b> | <b>2.1</b> | <b>2.6</b> | <b>1.4</b> | <b>1.0</b> | <b>2.1</b> | <b>3.2</b> | <b>57.8</b> |

En una columna, las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre grupos ( $p \leq 0.05$ ). LeS = Longitud promedio de entrenudos superiores a la mazorca (cm); LeI = Longitud promedio de entrenudos inferiores a la mazorca (cm); LpD = Longitud del pedúnculo de la espiga (cm); LeP = Longitud del eje central de la espiga (cm); Nrp = Número de ramas primarias; Lrp = Longitud de ramas primarias (cm); Nrs = Número de ramas secundarias; Lrs = Longitud promedio de ramas secundarias de la espiga (cm); Nrt = número de ramas primarias y secundarias; LgA = Longitud total de espiga (cm). DHS = Diferencia mínima significativa.

Los análisis de varianza (Cuadro 7) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos y entre tratamientos anidados en grupos. Para el caso de grupos, destacan las variables número de brácteas (Nbr), número de hileras potenciales (Nh), granos potenciales (Gp) y hojas totales por planta (HT).



**Cuadro 7.** Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables morfológicas en maíz crecido en los Valles Altos Centrales durante 2013.

| <b>F. V.</b>        | <b>gl</b>  | <b>Nbr</b>  | <b>Ng</b>   | <b>Nh</b>   | <b>Gp</b>      | <b>HT</b>  | <b>HaMz</b> |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------------|------------|-------------|
| <b>Grupo</b>        | <b>2</b>   | 192.3 **    | 35.3 ns     | 142.8 **    | 267535.7 **    | 20.6 **    | 0.5 ns      |
| <b>Trat (grupo)</b> | <b>47</b>  | 5.3 *       | 69.8 *      | 11.4 **     | 38600.5 *      | 2.5 ns     | 0.4 ns      |
| <b>CB</b>           | <b>19</b>  | 9.9 *       | 70.5 ns     | 7.8 *       | 23718.3 ns     | 2.5 ns     | 0.24 ns     |
| <b>HE</b>           | <b>23</b>  | 2.3 ns      | 50.3 ns     | 16.36 **    | 52700.0 *      | 1.8 *      | 0.3 ns      |
| <b>HC</b>           | <b>5</b>   | 1.8 *       | 156.8 *     | 2.5 ns      | 30295.0 ns     | 2.0 *      | 0.76 ns     |
| <b>Error</b>        | <b>200</b> | <b>2.9</b>  | <b>43.6</b> | <b>4.2</b>  | <b>21049,7</b> | <b>1.5</b> | <b>0.3</b>  |
| <b>CV (%)</b>       |            | <b>16.1</b> | <b>14.8</b> | <b>13.6</b> | <b>21.6</b>    | <b>5.7</b> | <b>9.9</b>  |

\*\* , \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo; FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación; Nbr = Número de brácteas por mazorca; Ng = Número de granos por hilera; Nh = Número de hileras; Gp = Número de granos potenciales; HT = Hojas totales por planta y HaMz = Número de hojas arriba de la mazorca. DHS = Diferencia mínima significativa.

Actualmente se le ha dado especial importancia a la cuantificación de los totomoxtles (brácteas) en las poblaciones en proceso de mejoramiento, pues son una interesante opción para el aprovechamiento, como hojas para la elaboración de tamales, de los maíces nativos y son metas relevantes en los programas de mejoramiento (Chávez *et al.*, 2011). En este sentido, los CB fueron los que tuvieron mayor número de brácteas y es posible que, en el caso de las cruza experimentales y los testigos, que presentaron un menor número de brácteas, esto sea lo que esté ocasionando los problemas de mala cobertura que se observó en estos grupos en los dos ambientes.

El rendimiento en maíz está relacionado directamente con el número de granos cosechados por planta y el peso individual del grano (Otegui, 1995), el mayor número de granos potenciales los presentó el grupo HE; no obstante, es de considerar que fue el grupo que menos hojas arriba de la mazorca reportó, situación que sensibiliza la disposición de área foliar receptiva a la intercepción de la radiación solar, condicionando en parte, la disponibilidad de fotoasimilados.

**Cuadro 8.** Valores medios de variables morfológicas entre grupos de poblaciones de maíz crecidos en los Valles Altos Centrales durante 2013.

| <b>Grupo</b> | <b>Nbr</b> | <b>Ng</b>  | <b>Nh</b>  | <b>Gp</b>   | <b>HT</b>  | <b>HaMz</b> |
|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| <b>CB</b>    | 12.1 a     | 44.7 a     | 13.8 b     | 618.1 b     | 21.7 a     | 5.6 ab      |
| <b>HE</b>    | 9.6 b      | 44.4 a     | 16.1 a     | 716.6 a     | 20.9 b     | 5.4 b       |
| <b>HC</b>    | 9.5 b      | 42.9 a     | 15.3 a     | 656.8 ab    | 20.9 b     | 5.8 a       |
| <b>DHS</b>   | <b>0.7</b> | <b>2.8</b> | <b>0.9</b> | <b>63.6</b> | <b>0.7</b> | <b>0.3</b>  |

En una columna, las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre grupos ( $p \leq 0.05$ ). Nbr = Número de brácteas; Ng = Número de granos potenciales por hilera; Nh = Numero de hileras; Gp = Granos potenciales por mazorca (Ng x Nh); HT = Hojas totales y HaMz = Número de hojas arriba de la mazorca. DHS = Diferencia mínima significativa.

El grupo CB mostró el valor más bajo del número de hileras, característica común en la raza Olotillo una de las razas de la cuales provienen las colectas para formar este grupo; no obstante, en la continuidad de la selección para adaptación de estas poblaciones estas características se pueden mejorar fijando caracteres de interés como aumentar el número de granos potenciales; también, el contar con un mayor número de hojas por planta,

indica la posibilidad de producir mayor biomasa; esta respuesta podría ser aprovechada con fines forrajeros, sin omitir realizar los estudios específicos para este aprovechamiento.

La selección de plantas es una práctica que está dirigida a subsanar diferentes necesidades de la humanidad mediante una búsqueda continua de arquetipos, para maíz se considera que deben cumplir en su arquitectura de planta con altura reducida, tallos vigorosos, hojas abundantes en especial de la parte superior a la inserción de la mazorca, que sean pequeñas y erectas; mazorcas largas, plantas prolíficas y con un tallo (Donald, 1968), estos caracteres permiten a las plantas soportar competencias por manejo de altas densidades de población (Tollenar *et al.*, 2006); sin embargo, en situaciones de estrés ambiental es necesario considerar acciones adicionales para lograr rendimientos altos; en este sentido, en los Valles Altos Centrales es común la presencia de heladas atípicas que condicionan el establecimiento de la estación de desarrollo del maíz (Espinoza *et al.*, 2012); es por esto que la precocidad en los genotipos que se desarrollen para esta área se debe considerar esta característica para evadir estos fenómenos que diezman la producción. Con la finalidad de identificar materiales con características morfológicas, fenológicas, cobertura en mazorca y acame aceptables en VA y en la MA, en el Cuadro 9 y 10 se presentan sus respuestas.

En Valles Altos Centrales se han generado variedades precoces con 70 días a FM e híbridos de 75 a 80 días con asincronía de un día, alturas promedio de 2 m y aptitudes de sanidad en mazorca y planta que no superan umbrales que afecten la producción (Hernández-Esquivel, 2004; Espinoza *et al.*, 2012). Con estos criterios, los tres grupos evaluados se clasificaron como tardíos tanto en VA como en MA; no obstante, existen excelentes opciones de algunos genotipos. Los maíces representativos de los CB reportaron

días a floración similares a los testigos y con tendencias a la precocidad de las poblaciones C4026 y C4035 tanto en los Valles Altos Centrales como en la Mixteca Alta Oaxaqueña, en VA reportaron asincronía prolongada, ganancias en altura y un bajo número de plantas con acame de tallo y raíz; al ser poblaciones adaptadas a VA evidencian la capacidad de respuesta de los maíces provenientes de la zona montañosa del suroeste tamaulipeco, región con clima templado seco (Pecina *et al.*, 2009). Las poblaciones adaptadas a VA como C3024 proveniente de la zona de la Huasteca y C4037 de la zona montañosa de Tamaulipas también se incluyen entre las más precoces; sin embargo, C4037 reportó asincronía superior a 5 días, altura superior a los 2.5 m y con acame de tallo severo, respuestas que condiciona su utilidad o en su caso considerar estos caracteres en el programa de mejoramiento al cual están sujetas estas poblaciones. Para el caso de VS Chapingo, población local para VA figura entre los materiales precoces pero con problemas en el acame de tallo (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de precocidad, morfología y sanidad de mazorca y planta para Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.

| <b>Grupo</b>  | <b>Genealogía</b>    | <b>FM</b>  | <b>FF</b>   | <b>AsF</b> | <b>ALT</b>  | <b>PRMz</b> | <b>MCOB</b>  | <b>AR</b>   | <b>AT</b>  |
|---------------|----------------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| 1 (CB)        | C4026                | 85.7       | 89.3        | 3.7        | 277.3       | 55.8        | 3.0          | 0.7         | 1.3        |
|               | VS Chapingo          | 86.3       | 89.7        | 3.3        | 276.3       | 57.3        | 1.3          | 0.3         | 5.0        |
|               | C4035                | 86.7       | 91.3        | 4.7        | 304.7       | 60.1        | 3.0          | 0.3         | 1.7        |
|               | C3024                | 88.0       | 91.3        | 3.3        | 286.0       | 56.7        | 1.3          | 0.7         | 3.7        |
|               | C4037                | 88.0       | 93.7        | 5.7        | 311.0       | 56.4        | 1.3          | 0.0         | 3.3        |
| 2 (HE)        | L4 x L1              | 78.0       | 82.7        | 4.7        | 301.3       | 59.7        | 2.0          | 0.0         | 5.7        |
|               | L5 x L3              | 79.7       | 85.3        | 5.7        | 295.3       | 58.0        | 1.7          | 0.7         | 3.0        |
|               | L5 x L6              | 80.7       | 85.3        | 4.7        | 308.0       | 60.1        | 4.7          | 0.3         | 3.0        |
|               | L5 x L4              | 81.7       | 85.3        | 3.7        | 297.3       | 59.3        | 1.7          | 0.7         | 6.7        |
|               | 1547 x P14           | 83.0       | 86.7        | 3.7        | 281.3       | 52.8        | 0.3          | 0.0         | 1.0        |
| 3 (HC)        | H- San Marcos        | 85.3       | 89.0        | 3.7        | 279.3       | 50.5        | 0.7          | 0.0         | 3.3        |
|               | H- San Miguelito     | 85.3       | 90.0        | 4.7        | 299.0       | 61.8        | 1.7          | 0.7         | 5.0        |
|               | CML-460-461-CHYE-140 | 88.0       | 91.3        | 3.3        | 293.3       | 46.8        | 0.3          | 0.0         | 3.0        |
|               | H- San José          | 92.0       | 95.0        | 3.0        | 307.7       | 64.5        | 1.0          | 1.3         | 4.0        |
|               | CML-457-459-CHYE-133 | 92.0       | 95.0        | 3.0        | 224.3       | 50.0        | 0.7          | 0.0         | 6.3        |
|               | <b>DHS</b>           | <b>6.8</b> | <b>6.7</b>  | <b>1.6</b> | <b>63.7</b> | <b>9.9</b>  | <b>4.6</b>   | <b>3.1</b>  | <b>8.3</b> |
| <b>CV (%)</b> | <b>2.2</b>           | <b>2.1</b> | <b>12.3</b> | <b>6.4</b> | <b>5.0</b>  | <b>96.2</b> | <b>193.7</b> | <b>67.4</b> |            |

FM = Días a floración masculina; FF = Días a floración femenina; AsF = Asincronía floral; ALT = Altura de planta (cm); PRMz = Posición relativa de la mazorca; MCOB = Número de plantas con mala cobertura en mazorca; AR = Número de plantas con acame de raíz; AT = Número de plantas con acame de tallo. DHS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

Los HE fue el grupo con mayor precocidad para VA y MA (Cuadro 9) las cruces L4 x L1, L5 x L3 y L5 x L6 pueden considerarse como excelentes opciones como maíces precoces en VA; las tres cruces anteriores y L5 x L4 fueron precoces en la MA, y destaca L4 x L1 con 79 días en promedio a través de ambientes para FM. En VA, las cruces L4 x L1, L5 x L3 y L5 x L6 y L5 x L4 mostraron deficiencias por asincronía, alturas superiores a

2.5, problemas con la cobertura de mazorca y acame de tallo; respuestas a considerar en el proceso de mejoramiento al cual están sujetas.

Los HC al ser desarrollados para VA se esperaba cierta estabilidad; no obstante, sus tendencias fueron hacia la tardividad en floración, una asincronía de 3.5 días, alturas superiores a los 2 m y severos problemas con acame de tallo. Destacan H-San Marcos y H-San Miguelito con 85 días a FM y asincronía de 3.7 y 4.7, respectivamente, características morfológicas poco aceptables como alturas y acames (Cuadro 9).

En la MA en general los materiales fueron más precoces que en VA, menos asincrónicos, porte bajo, pero con aumentos en la deficiencia de la cobertura en mazorca y acames más acentuados (Cuadro 10). Para las poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales (CB) destaca VS San Bernardino con precocidad de 83 días a FM, asincronía de 3.5 días, bajo porte pero con problemas en cobertura de mazorca. VS Chapingo sobresalió tanto en Valles Altos Centrales como en la MA por sus deficiencias en el acame de tallo.

**Cuadro 10.** Maíces representativos en cada grupo, ordenados bajo criterios de precocidad, morfología y sanidad de mazorca y planta, para la Mixteca Alta Oaxaqueña, evaluados en 2013.

| <b>Grupo</b> | <b>Genealogía</b>    | <b>FM</b>  | <b>FF</b>  | <b>AsF</b>  | <b>ALT</b>  | <b>PRMz</b> | <b>MCOB</b> | <b>AR</b>    | <b>AT</b>   |
|--------------|----------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 (CB)       | VS San Bernardino    | 83.0       | 86.5       | 3.5         | 258.8       | 47.6        | 3.3         | 0.5          | 1.0         |
|              | VS Chapingo          | 83.3       | 86.3       | 3.0         | 236.8       | 43.7        | 3.5         | 1.5          | 2.8         |
|              | C4026                | 83.8       | 87.0       | 3.3         | 221.3       | 40.6        | 6.3         | 1.3          | 6.0         |
|              | C4035                | 85.5       | 89.0       | 3.5         | 255.3       | 47.4        | 5.3         | 1.8          | 2.5         |
|              | C4031                | 86.3       | 90.0       | 3.8         | 244.5       | 46.4        | 4.8         | 2.8          | 1.8         |
| 2 (HE)       | L4 x L1              | 80.3       | 83.3       | 3.0         | 243.3       | 45.5        | 6.0         | 1.0          | 6.5         |
|              | L5 x L4              | 81.3       | 85.3       | 4.0         | 254.0       | 43.2        | 3.3         | 2.0          | 3.5         |
|              | L5 x L3              | 81.8       | 85.0       | 3.3         | 236.3       | 43.5        | 4.8         | 1.5          | 5.3         |
|              | 2080 x 2010          | 82.0       | 85.3       | 3.3         | 235.0       | 44.8        | 3.0         | 0.8          | 1.3         |
|              | L5 x L6              | 82.0       | 85.5       | 3.5         | 243.5       | 46.0        | 8.8         | 1.5          | 3.5         |
| 3 (HC)       | H- San Marcos        | 83.0       | 86.3       | 3.3         | 243.5       | 42.6        | 3.8         | 1.3          | 2.3         |
|              | H- San Miguelito     | 85.0       | 88.0       | 3.0         | 266.3       | 48.6        | 6.8         | 1.8          | 2.0         |
|              | H- San José          | 88.0       | 91.0       | 3.0         | 269.3       | 49.3        | 5.8         | 0.8          | 2.0         |
|              | H-377                | 88.3       | 92.0       | 3.8         | 217.3       | 42.3        | 1.5         | 0.5          | 0.3         |
|              | CML-460-461-CHYE-140 | 99.8       | 103.0      | 3.3         | 229.0       | 41.3        | 1.5         | 0.3          | 0.3         |
|              | <b>DHS</b>           | <b>6.0</b> | <b>6.3</b> | <b>1.4</b>  | <b>42.8</b> | <b>8.9</b>  | <b>6.9</b>  | <b>4.9</b>   | <b>5.7</b>  |
|              | <b>CV (%)</b>        | <b>2.3</b> | <b>2.3</b> | <b>14.0</b> | <b>6.0</b>  | <b>6.8</b>  | <b>65.3</b> | <b>110.6</b> | <b>86.0</b> |

FM = Días a floración masculina; FF = Días a floración femenina; AsF = Asincronía floral; ALT = Altura de planta (cm); PRMz = Posición relativa de la mazorca; MCOB = Número de plantas con mala cobertura en mazorca; AR = Número de plantas con acame de raíz; AT = Número de plantas con acame de tallo. DHS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

De los HE en la MA destacan las cruzas L4 x L1, L5 x L4, L5 x L3 por su precocidad; no obstante, la cobertura de mazorca y el acame de tallo no tuvieron comportamientos óptimos. Las cruzas 2080 x 2010 y L5 x L6 fueron más tardías, y mostraron deficiencias en cobertura; empero, disminuyeron su altura y fueron los materiales con menos acame de tallo (Cuadro 9).

De las respuestas de los HC en la MA destacan los híbridos H-San Marcos, de grano amarillo y H-San Miguelito, de grano azul (Cuadro 10) al disminuir su asincronía a 3 días, alturas más bajas que en VA, pero con aumentos en las deficiencias en cobertura de mazorca y acame de raíz. El H-San José, de grano blanco también se incluyó en los genotipos precoces; no obstante presentó las deficiencias de cobertura y acame de tallo y raíz.

## 2.6 CONCLUSIONES

Entre grupos de poblaciones y dentro de ellos se presentó alta variabilidad e interacción con los ambientes donde se evaluaron, en relación a las variables fenológicas y morfológicas estudiadas.

El grupo de poblaciones adaptadas (CB) mostró buen potencial de uso en la Mixteca Alta Oaxaqueña, pero al ser materiales aún en proceso de mejoramiento para su adaptación a VA, presentaron deficiencias en cobertura de mazorca, acame de tallo, tardividad y asincronía floral; sin embargo, las poblaciones C4026, C4035 provenientes de la zona montañosa de Tamaulipas y VS Chapingo de VA, reportaron tendencias a precocidad; sin menoscabo de implementar mejores estrategias en la selección para corregir estos caracteres poco favorables; empero, son una opción para ser incorporados en los programas de mejoramiento genético para esta zona.

Las cruzas experimentales representaron el grupo con mejor comportamiento en precocidad, asincronía, porte bajo y mejor cobertura de mazorca, destacan las cruzas L4 x L1, L5 x L4, L5 x L3 y L5 x L6 que pueden considerarse como excelentes opciones de maíces precoces, ya que fueron precoces en la MA y VA. Sin embargo, se les debe corregir



características de asincronía, altura no mayor a 2.5 para reducir el acame de tallo y mejorar deficiencias en la cobertura de mazorca.

H- San José, H-San Marcos y H-San Miguelito del grupo de híbridos comerciales mostraron características de arquetipo aceptables para las condiciones de introducción en la Mixteca Alta Oaxaqueña como insumos para la producción, debido a los bajos costos, con respecto a los híbridos de empresas privadas extranjeras que actualmente se siembran y que detonan la producción. Son excelente opción como material para evaluaciones de instancias públicas en sus programas de mejoramiento genético para la región de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

## 2.7 BIBLIOGRAFÍA

**Albrecht, B. and J. W. Dudley. 1987.** Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm. *Crop Sci.* 27:480-486.

**Antonio, M. M., J. L. Arellano V., G. García S., S. Miranda C., J. A. Mejía C., F. V. González C. 2004.** Maize landraces of Chalqueño race blue kernel. Agronomic traits and seed quality. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1):9-15.

**Badstue, B. L., M. Bellon R., J. Berthaud, X. Juárez, I. Manuel R., A. M. Solano, A. Ramírez. 2006.** Examining the role of collective action in an informal seed system: A case study from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Human Ecology* 34(2):249-273.

**Beadle, G. W. 1939.** Teosinte and the origin of maize. *J. Hered.* 30:245-247.

- Bernardo, R. 2009.** Genome wide selection for rapid introgression of exotic germplasm in maize Crop Sci. 49:419-425.
- Bridges, W. C. and C. O. Gardner. 1987.** Foundation populations for adapted by exotic crosses. Crop Sci. 27:501-506.
- Carrera, V. J. A. y T. Cervantes S. 2006.** Respuesta a densidad de población de cruza de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. Rev. Fitotec. Mex. 29 (4):331-338.
- Castillo, G. F. 1994.** Aprovechamiento de la diversidad genética de maíz en México. In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Asociación Latinoamericana de Genética. SOMEFI. Monterrey, N. L. México. pp. 78-92.
- Castro, N. S., J. A. López-Santillan, J. A. Pecina-Martínez, M. C. Mendoza-Castillo, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4 (4): 645-653.
- Chávez, S. J. L., P. Diego F., J. C. Carrillo R. 2011.** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. Ra Ximhai 7 (1):107-115.
- Duvick, D. N. 2005.** Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). Maydica 50:193-202.
- Dubreuil, P., M. Warburton, M. Chastanet, D. Hoisington, A. Charcosset. 2006.** More on the introduction of temperate maize into Europe: large-scale bulk SSR genotyping and new historical elements. Maydica 51:281–291.

- Doebley, J. F. 2004.** The genetics of maize evolution. *Annu. Rev. Genet.* 38:37–59.
- Donald, C. M. 1968.** The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17:385-403.
- Espinoza, C. A., M. Tadeo-Robledo, J. Virgen-Vargas, I. Rojas-Martínez, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, A. Palafox-Caballero, G. Vázquez-Carrillo, F. A. Rodríguez-Montalvo, B. Zamudio-González, Israel Arteaga-Escamilla, E. I. Canales-Islas, B. Martínez-Yáñez y R. Valdivia-Bernal. 2012.** “H-51 AE”, Híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos Centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (4):347-349.
- González, C. M. E., N. Palacios R., A. Espinoza B., C. A. Bedoya S. 2013.** Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:329-338.
- Goodman, M. M. 1985.** Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. *Iowa State Journal Research* 59:497-527.
- Goodman, M. M., M. L. Carson. 2000.** Reality vs. Myth: Corn breeding, exotic, and genetic engineering. *Annual Corn and Sorghum Research Conference* 55:140-172.
- Goodman, M. M. 2004.** Developing temperate using tropical maize germplasm: Rationale, results, conclusions. *Maydica* 49:209-219.
- Guerrero, A. R., H. Jiménez E., R. Santiago H. 2010.** La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta Oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno. *Ciencia y Mar* XIV (40):61-68.
- Hallauer, A. T. and J. H. Sears. 1972.** Integrating exotic germplasm into Corn Belt maize breeding programs. *Crop Sci.* 12:203-206.

- Hernández, C. J. M. y G. Esquivel E. 2004.** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:27-31.
- Holland, J. B., M. M. Goodman, F. Castillo G. 1996.** Identification of agronomically superior Latin American maize accessions via multi-stage evaluations. *Crop Sci.* 36:778-784.
- Holland, J. B. 2004.** Breeding: Incorporation of exotic germplasm. In: *Encyclopedia of Plant and Crop Science*. Marcel Dekker Eds. pp. 222-224.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2007.** Paquetes Tecnológicos para Maíz de Temporal. INIFAP. 49 p.
- Kato, Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. 2009.** Origen y diversificación del maíz. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler, J. Doebley. 2002.** A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:6080–6084.
- Martínez, G., H. De león-Castillo. 1996.** Efectos genéticos en híbridos de maíz tropical (*Zea mays* L.). III. Acame, mala cobertura y pudrición de mazorca. *Agronomía Mesoamericana* 7 (1):47-52.

- Miranda, C. S. 1998.** El mejoramiento genético del maíz en la época prehispánica. In: J.A. Cuevas S., P. E. Cedillo, A. Muñoz O. y P. Vera C. (eds.). *Lecturas en etnobotánica. Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica. Serie: Didáctica de la Etnobotánica. Núm. 1.* Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 269-282.
- Molina, G. J. D. 1990.** Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. En: Resúmen XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez Chihuahua, México. 344 p.
- Molina, M. J. C., L. Córdova T. 2006.** Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 172 p.
- Nass, L. L. and J. G. Coors. 2003.** Potential of exotic x adapted maize germplasm for silage. *Maydica* 48:197-206.
- Ortega, P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., J. M. Hernández C. 1991.** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., M. Livera M. (eds.). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Otegui, M. E., F. H. Andrade, and E. E. Suero. 1995.** Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40:87-94.

- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009.** Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz-Cereceres. 2011.** Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, J. A. López-Santillán, M. Mendoza-Rodríguez, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Genetic potential of S1 lines derived from native maize populations of Tamaulipas, México. *Maydica* 58: 127-134.
- Pérez, C. A. A., J. D. Molina G., A. Martínez G. 2000.** Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34:533-542.
- Ponce, A. D. D., J. D. Molina G., J. A. Mejía C., T. Cervantes S., y J. J. López R. 2002.** Comportamiento de variedades de maíz de razas exóticas originales y adaptadas y de sus cruzas con variedades de razas locales. *Nota Científica. XIX Congreso Nacional de Fitogenética.* 133 p.
- Prasanna, B. M. 2012.** Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal Biosciences* 37:843-855.
- Reif, J. C., C. C. Xia, A. E. Melchinger, M. L. Warburton, D. A. Hoisington, D. Beck, M. Bohn, M. Frisch. 2004.** Genetic diversity determined within and among

CIMMYT maize populations of tropical, subtropical, and temperate germplasm by SSR markers. *Crop Sci.* 44:326–334.

**Reif, J. C., P. Zhang, S. Dreisigacker, M. L. Warburton, M. van Ginkel, D. Hoisington, M. Bohn, A. E. Melchinger. 2005.** Trends in genetic diversity during the history of wheat domestication and breeding. *Theor. Appl. Genet.* 110:859–864.

**Reif, J. C., M. L. Warburton, S. Taba, D. Hoisington, J. Crossa, J. Franco, X. Xia, J. Muminovic, M. Bohn, M. Frisch, A. E. Melchinger. 2006.** Grouping of accessions of Mexican landraces of maize revisited with SSR markers. *Theor. Appl. Genet.* 113:177–185.

**Reyes, C. P. 1990.** *El Maíz y su Cultivo*. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.

**Sánchez, G. J. J. 2011.** *Diversidad del Maíz y el Teocintle*. Informe preparado para el proyecto: Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito.

**Serratos, H. J. A. 2009.** *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Greenpeace. México. 36 p.

**Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla. 2013.** *Guía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz*. SNICS. 24 p.

**Statistical Analysis System Institute. 2002.** *The SAS® System for Windows® (Ver. 9.0)*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

- Tollenaar, M., E. A. Lee. 2006.** Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica* 51:399–408.
- Vasic, N. J., M. R. Ivanovic, I. J. Brkic, G. F. Bekavac, Z. I. Zdunic, A. S. Jambrovic. 2006.** Evaluation of maize hybrids containing different proportion of NC298 tropical germplasm line in their male parents. *Maydica* 51:79-88.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., P. C. Mangelsdorf. 1951.** Razas de Maíz de México. Su Origen, Características y Distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería–Oficina de Estudios Especiales. Folleto Técnico No. 5. México, D. F. 236 p.
- Xia, X. C., J. C. Reif, D. A. Hoisington, A. E. Melchinger, M. Frisch, M. L. Warburton. 2004.** Genetic diversity among CIMMYT maize inbred lines investigated with SSR markers: I. Lowland tropical maize. *Crop Sci.* 44:2230–2237.
- Xia, X. C., J. C. Reif, A. E. Melchinger, M. Frisch, D. A. Hoisington, D. Beck, M. L. Warburton. 2005.** Genetic diversity among CIMMYT maize inbred lines investigated with SSR markers: II. Subtropical, tropical mid-altitude, and Highland maize inbred lines and their relationships with elite U.S. and European maize. *Crop Sci.* 45:2573–2582.
- Zivanovic T., R. Dordevic, S. Drazic, M. Secanski, M. Kostic. 2007.** Effects of recombinations on variability and heritability of traits in maize populations with exotic germplasm. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 21 (2): 229-234.



**Sitios de consulta para datos climáticos:**

Estación meteorológica del Colegio de Postgraduados.

<http://www.cm.colpos.mx/meteoro/index.html>

Red meteorológica del INIFAP.

<http://clima.inifap.gob.mx/redcli>

**CAPITULO III. RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN  
MAÍZ INTRODUCIDO AL ALTIPLANO MEXICANO: VALLES ALTOS  
CENTRALES Y MIXTECA ALTA DE OAXACA**

**3.1 RESUMEN**

La diversidad genética del maíz en México es una fuente para el mejoramiento genético; no obstante, se ha utilizado poco en la generación de variedades mejoradas. El aprovechamiento óptimo permitirá atender de mejor manera los sistemas de producción en condiciones ambientales extremas como erosión severa de suelo, precipitación errática y altas temperaturas en el Altiplano Mexicano. Se evaluaron poblaciones de maíz con diferente origen genético: compuestos balanceados de poblaciones nativas procedentes de Tamaulipas con adaptación a Valles Altos Centrales (CB), cruzas simples experimentales (HE) e híbridos comerciales provenientes de diferentes instituciones (HC). La evaluación de campo se efectuó en dos ambientes: Valles Altos Centrales (VA) (Texcoco, Edo. Méx.) y Mixteca Alta Oaxaqueña (MA) (San Juan Sayultepec, Oaxaca). Para rendimiento de grano hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes, VA fue superior en 26 % a MA. También hubo diferencias significativas entre grupos de poblaciones ( $P \leq 0.01$ ); los dos grupos integrados con cruzas (HE y HC) fueron superiores a los CB. La interacción ambiente x grupos fue significativa ( $P \leq 0.01$ ); HE fue el grupo con mayor rendimiento en VA, sobresaliendo las cruzas 1558 x P14, 1564 x P14 y L5 x L3 con rendimientos de 7.8, 7.4 y 7.3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sin embargo, fue el grupo que más redujo su rendimiento en MA, en donde fue estadísticamente igual a CB y ambos superados por HC. El peso individual del grano (PIG) al igual que el índice de desgrane (ID) tuvieron la mayor expresión en MA. En la Mixteca Alta Oaxaqueña, la superioridad del híbrido H-San José

con rendimiento de 4.9 t ha<sup>-1</sup> fue marginal y no significativo con respecto a la mejor población de los CB (C3016, 4.5 t ha<sup>-1</sup>). Estos resultados son una muestra del aprovechamiento integral del potencial genético evaluado.

**Palabras clave:** Poblaciones nativas, rendimiento, componentes del rendimiento, mejoramiento genético y Mixteca Alta.

### 3.2 INTRODUCCIÓN

México, como parte de Mesoamérica, es el centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), por la diversidad de variantes de este cultivo en todo el territorio y la presencia de sus parientes silvestres (Vavilov, 1951). Existen 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000), las cuales representan aproximadamente 23 % de la diversidad genética del continente americano (Goodman y Brown, 1988). El grado de variabilidad que presenta el maíz es tal que en cada agro-ecosistema, nicho ecológico y micro-región donde se cultiva, es posible ubicar un patrón varietal específico (Muñoz, 1991).

El maíz surgió de un proceso de selección empírica que inició al menos hace 9000 años A. C. (Miranda, 1998), en condiciones ambientales y culturales diversas. El valor potencial de este cereal radica no solamente en su amplia constitución genética, que le permite sobrevivir bajo condiciones ambientales abióticas adversas, tolerar plagas y enfermedades y su gran capacidad de adaptación; sino también, por sus caracteres genéticos que pueden ofrecer soluciones a futuras contingencias ambientales. Con la pérdida de una población nativa se elimina irreversiblemente la diversidad genética en ella contenida (Esquinas, 1982; Serratos, 2009).

Parte de esta diversidad genética aún no es aprovechada por los programas de mejoramiento genético, en particular la variación intervarietal e intravarietal (Molina, 1990).

La creación de híbridos y variedades provenientes de la raza Tuxpeño en el trópico húmedo, de las razas Celaya, Bolita y Cónico Norteño en el Bajío, y de Chalqueño y Cónico en los Valles Altos, indica que el aprovechamiento de la variación genética ha ocurrido en mayor proporción con germoplasma adaptado a áreas ecológicas específicas. Sin embargo, en atributos especiales para ambientes emergentes de estrés, ocasionados por el cambio climático o para condiciones ecológicas particulares, en ocasiones no se satisfacen los requerimientos con estos materiales mejorados, de tal forma que rinden igual o son superados por las poblaciones nativas locales (Castillo, 1994). Las razas de maíz presentes en la Mixteca Oaxaqueña presentan una adaptación particular a las condiciones de estrés ambiental, debido a que la erosión del suelo es uno de los problemas más agudos para la producción agrícola, pues 80 % de sus suelos se encuentran afectados por la erosión hídrica (León-Santos, 2007), situación que provoca una disminución del rendimiento en los agroecosistemas (Frausto *et al.*, 1991). La disminución de la productividad repercute directamente en un bajo poder adquisitivo de los productores y un mayor costo de producción, al requerir mayor cantidad de insumos y aplicar en mayor frecuencia labores culturales al suelo (Kidd y Pimentel, 1992). Por lo anterior, existe un número muy reducido de variantes en esa región, como el maíz Mixteco (Benz, 1997; Chávez *et al.*, 2011), y los complejos raciales del tipo Chalqueño, Cónico y Pepitilla (Aragón *et al.*, 2006). En consecuencia, es necesario evaluar nuevas fuentes de germoplasma para estas condiciones, que permitan ampliar la variabilidad genética y paulatinamente, lograr la

obtención de variedades mejoradas accesibles en costos, tanto de producción como de accesibilidad para los productores.

El rendimiento en maíz es el resultado de múltiples y complejos procesos fisiológicos, mismos que responden a condiciones ambientales y de manejo agronómico. Los componentes directos del rendimiento son el número de granos cosechados por planta y el peso individual del grano (Otegui, 1995; Pandey *et al.*, 2000). Se considera que el número de granos producidos es el componente más influenciado por el ambiente (Borrás y Otegui, 2001), contrario al peso individual del grano que depende del potencial de la propia planta (Borrás *et al.*, 2004) y de la competencia intraplanta, representada por el número de mazorcas producidas por la planta y el número de granos en cada una de ellas (Kiniry *et al.*, 1990); los componentes del rendimiento como el número y peso de granos hacen que esté asociado con la antesis (pre y post antesis); pues es en esta etapa donde se define el número y peso de los granos de la mazorca; esto posiciona a la antesis como la etapa crucial para lograr la expresión mayor del rendimiento en maíz y permite identificarlo como el resultado de complejas relaciones genéticas, fisiológicas, ambientales y de buenas prácticas agronómicas para su óptima expresión (Borrás y Otegui, 2001; Andrade *et al.*, 2002; Borrás *et al.*, 2004; Gambín *et al.*, 2006).

Como parte de los esfuerzos para la conservación y aprovechamiento del maíz nativo; germoplasma de maíz colectado en la zona centro-sur de Tamaulipas (Castro *et al.*, 2013), se integró al programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados; ya que, al evaluar 29 poblaciones sobresalientes (Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Pecina *et al.*, 2013) y encontrar en ellas características agronómicas favorables; permitió que algunas de estas poblaciones se adaptaran a los Valles Altos Centrales; algunas de estas

poblaciones se incluyen en el presente trabajo se incluyeron 18 poblaciones en su versión de compuestos balanceados con dos ciclos de recombinación mediante polinización controlada. También en el CP se han obtenido materiales avanzados de maíz y, en seguimiento a este eje estratégico se incluye en la evaluación cruza simple experimental denominada como grupo HE, ambos grupos fueron comparados con híbridos comerciales de diferentes instituciones; ya que al cultivar estas poblaciones de diferente origen genético han mostrado atributos aceptables para los Valles Altos Centrales y también podrían responder a condiciones ambientales de altitud, latitud y temperatura similares, como las que se presentan en la Mixteca Alta de Oaxaca; no obstante, los cambios en el comportamiento del rendimiento y sus componentes permitirán la detección de su variabilidad genética y los usos potenciales en estrategias de aprovechamiento local.

### **3.2.1 Objetivo General**

Estudiar los cambios en el rendimiento de grano y en los componentes ocasionados por modificar el ambiente original de producción en poblaciones de maíz adaptado a VA, (compuestos balanceados) y cruza simple experimental del Programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados; al compararlos con híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y experimentales del CIMMYT; y determinar si dichos cambios favorecen la adaptación a las diversas condiciones de estrés ambiental de la Mixteca Alta de Oaxaca y con ello se puedan identificar los materiales sobresalientes para su recomendación local.

### **3.2.2 Objetivo específico**

Valorar el rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz con diferente origen genético, tales como: Poblaciones adaptadas a los Valles Altos Centrales formadas con germoplasma proveniente del centro y sur de Tamaulipas y variedades locales, denominados compuestos balanceados; cruzas simples experimentales del Programa de Mejoramiento Genético del Colegio de Postgraduados e híbridos comerciales de la UACH, INIFAP y trilineales experimentales del CIMMYT, y así determinar si las respuestas detectadas en la Mixteca Alta son agronómicamente favorables, similares a las reportadas para los Valles Altos Centrales.

### **3.2.3 Hipótesis**

El grupo de compuestos balanceados y el de las cruzas simples experimentales comparados con el grupo de híbridos comerciales, al ser introducidos a la Mixteca Alta Oaxaqueña, presentan cambios favorables en el rendimiento de grano y sus componentes; lo cual permitirá identificar poblaciones sobresalientes para integrarse a programas de mejoramiento para los Valles Altos o en el caso de los híbridos comerciales, como referencia de comportamiento productivo para recomendaciones inmediatas a los productores de la Mixteca Alta.

## **3.3 REVISIÓN DE LITERATURA**

El rendimiento de grano en maíz está estrechamente asociado con el número de granos cosechados (Pandey *et al.*, 2000); por lo tanto, la comprensión de los mecanismos que determinan el número de granos es de gran importancia para fisiotécnicos y

fitomejoradores; a su vez, el número de granos por planta depende del número de mazorcas por planta y del número de granos por mazorca, que alcanzaron la madurez fisiológica. El número de granos por mazorca es el componente del rendimiento de maíz que varía más con los cambios ambientales (Gambin *et al.*, 2006).

Borrás *et al.* (2004) al realizar un estudio del comportamiento de los resultados en diferentes investigaciones en los últimos 40 años, sobre la acumulación de materia seca en grano y limitaciones en la relación fuente demanda en Trigo, Maíz y Soya, reportó que el maíz es un cultivo altamente sensible a leves limitaciones en las relaciones fuente-demanda, durante la etapa crítica de llenado de grano. Derivado de estos avances se define al peso de los granos como el segundo componente de mayor importancia para definir el rendimiento.

Las prácticas culturales son importantes para incrementar el rendimiento e índice de cosecha en maíz. El manejo de la densidad de población en maíz mantiene una relación directa con el índice de cosecha y el rendimiento de grano. Edmeades y Daynard (1979) al evaluar las respuestas en el índice de cosecha y el rendimiento en plantas de maíz con densidades de 50 000, 100 000 y 150 000 plantas ha<sup>-1</sup> durante la floración; el flujo diario y la distribución de asimilados en plantas individuales y comparar las frecuencias de asimilados por planta con modelos de simulación, con respecto a la materia seca acumulada en grano, los resultados mostraron que los índices de cosecha disminuyeron conforme aumentó la densidad, 0.44, 0.42 y 0.37, en las densidades de 50 000, 100 000 y 150 000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La modificación de las fechas de siembra condicionan la radiación efectiva interceptada por las plantas y las condiciones termales durante la estación de crecimiento; Cirilo y Andrade (1994), con el manejo de diferentes fechas de siembra en maíz,



evidenciaron que el rendimiento de grano fue mayor en siembras tempranas para zonas templadas, con una asociación positiva entre el peso y el número de granos. En las fechas de siembra tardías las plantas estuvieron expuestas a baja radiación solar y bajas temperaturas durante el período de llenado de grano, provocando una reducción en la producción de materia seca y por ende, bajo peso del grano. Los resultados muestran ciertas inconsistencias con la interacción ambiental; ya que, Maddonni *et al.* (1998) en ambientes templados de Argentina obtuvieron datos contradictorios debido a que la temperatura del aire no fue igualada con las condiciones imperantes en las evaluaciones de Cirilo y Andrade (1994). Cabe destacar que en las evaluaciones de Cirilo y Andrade (1994) los índices de cosecha fueron mayores en fechas de siembras tempranas, como producto de una mayor disposición de la radiación y un uso eficiente de la misma.

Kiniry y Ritchie (1985) consideran al número de granos como el principal componente del rendimiento; sin embargo, es el más susceptible a los cambios ambientales, situación diferente para el peso de los mismos.

Otros estudios reconocen que la etapa crítica en el crecimiento y desarrollo de los cultivos es entre dos semanas antes y dos a tres semanas después de la floración; esto debido a que es en este momento cuando se lleva a cabo la fecundación y el llenado de grano que repercutirá directamente en el rendimiento (Andrade *et al.*, 1999; Pandey *et al.*, 2000; Borrás *et al.*, 2004). El número de estigmas fertilizados que sobrevivan y formen granos maduros es más importante que el total de estigmas diferenciados (Goldsworthy, 1984). El cultivo de maíz es ineficiente en el uso de asimilados almacenados antes de la floración para el crecimiento de la semilla. Aunque los carbohidratos no estructurales almacenados aumentan la capacidad de amortiguación para el crecimiento de las semillas, éstos se consumen principalmente en los procesos de mantenimiento, cuando se produce un

estrés severo (Yang y Zhang, 2010); ya que, la eficiencia del uso de asimilados en maíz para la producción de biomasa en semillas durante pre-floración se ha estimado en alrededor de 0.26 g de semilla g<sup>-1</sup> de carbohidratos almacenados (Kiniry *et al.*, 1992). Por otro lado, la eficiencia del trigo en el uso de los asimilados en pre-floración para el llenado de grano se calculó entre 0.68 a 0.78 g de semilla g<sup>-1</sup> de carbohidratos almacenados (Gebbing *et al.*, 1999).

La evaluación de maíces nativos en ambientes contrastantes que realizaron Pecina *et al.* (2011) define al peso de los granos como un componente del rendimiento variable y al número de granos como el principal componente para determinar el rendimiento. En este sentido, para la comprensión del rendimiento de grano en maíz se requiere la evaluación del comportamiento de sus componentes (Gambin *et al.*, 2006).

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

Derivado del proyecto de conservación del maíz nativo en la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), donde se logró coleccionar a partir de 2001, más de 250 poblaciones de Tamaulipas (Castro *et al.*, 2013), Pecina-Martínez *et al.* (2009) estudiaron 29 poblaciones nativas sobresalientes de esta colección; encontraron que esas poblaciones de Tamaulipas, en los Valles Altos Centrales exhibieron una alta variabilidad e interacción favorable con el ambiente, para las variables número de granos, producción de grano y compatibilidad con el germoplasma de Valles Altos para alto rendimiento, además de que algunas de estas poblaciones fueron prolíficas. En seguimiento a los materiales sobresalientes, Pecina *et al.* (2013) evaluaron en 3 ambientes contrastantes 18 mestizos formados con líneas S<sub>1</sub> derivadas de poblaciones nativas de cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas y un probador

de alto rendimiento de Valles Altos. Hubo mestizos que presentaron rendimiento y componentes del rendimiento altos con características agronómicas favorables, indicando con ello el alto potencial de uso en mejoramiento genético. En el presente estudio se incluyeron las 18 poblaciones nativas de Tamaulipas adaptadas a Valles Altos y dos compuestos de variedades sintéticas de Valles Altos, para formar el Grupo 1 con 20 materiales; el Grupo 2 estuvo integrado por cruzas simples experimentales, 11 de líneas altamente endogámicas y 13 de mestizos obtenidos en el 2011; y el Grupo 3 fue formado por un híbrido comercial del INIFAP (H-377 trilineal) y tres híbridos provenientes de la UACh (H-San José de grano blanco, H-San Marcos de grano amarillo y San Miguelito de grano azul) y dos híbridos trilineales del CIMMyT (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales y la Mixteca Alta de Oaxaca, 2013.

| Nombre de grupo                     | Grupo    | Población  | Origen genético   |
|-------------------------------------|----------|--|---|
| <b>Compuestos Balanceados (CB)</b>  | <b>1</b> | C4021, C3024, C3040, C3041, C3043, C4022, C4026, C4031, C4035, C4037, C3004, C3006, C3007, C3012, C3016 y C3022                                    | Poblaciones nativas de Tamaulipas con adaptación a VA (C <sub>2</sub> ), su origen fueron colectas del centro-sur de Tamaulipas, de las razas Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Olotillo y Vandeño. |
|                                     |          | H-437  | Generación F <sub>3</sub> del Híbrido H-437 del INIFAP.   |
|                                     |          | UAT  | Población recombinante formada con 12 poblaciones nativas sobresalientes en ambientes de Tamaulipas.  |
|                                     |          | VS Chapingo 3 y VS San Bernardino  | Poblaciones recombinantes de variedades sintéticas de la UACH de maíces de Valles Altos.  |
| <b>Híbridos Experimentales (HE)</b> | <b>2</b> | T5 x M2, T5 x M3, VA5 x T5, VA5 x T4, VA5 x M4, VA5 x T3, VA6 x M2   | Cruzas simples de maíces exóticos por locales de VA.  |
|                                     |          | L4 x L1, L5 x L6, L5 x L3 y L5 x L4  | Cruzas de líneas altamente endogámicas del CP.  |
|                                     |          | 1348 x P2, 1451 x P6, 1313 x P2, 1547 x P14, 1455 x P6, 1564 x P14, 1401 x P2, 1367 x P2, 1546 x P14, 1558 x P14, 1435 x P6, 1355 x P2, 1392 x P26 | Cruzas de líneas del CP x UACH.   |
| <b>Híbridos Comerciales (HC)</b>    | <b>3</b> | H-377  | Híbrido del INIFAP  |
|                                     |          | H-San José   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Marcos   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Miguelito  | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | (CML460//CML461//CHYE140)<br>(CML457//CML459//CHYE133)   | Híbridos trilineales del CIMMyT   |

Durante el ciclo PV 2013 se estableció, bajo condiciones de riego, un ensayo uniforme en cada uno de dos ambientes: I) Valles Altos (VA): en el municipio de Texcoco, Edo. de México. II) Mixteca Alta (MA): en San Andrés Andua, municipio de San Juan Sayultepec, Oaxaca (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Características de los ambientes donde se evaluaron los grupos de poblaciones de maíz en 2013.

| <b>Ambiente</b> | <b>Altitud<br/>(m)</b> | <b>Latitud<br/>Norte</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Precipitación<br/>(mm)</b> |
|-----------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Valles Altos    | 2250                   | 19° 29´                  | 16.5                        | 624                           |
| Mixteca Alta    | 2081                   | 17° 26´                  | 18.0                        | 416                           |

Datos de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados y Red meteorológica del INIFAP.

En ambas localidades se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en VA y cuatro repeticiones en MA. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud en VA y un surco en MA, los surcos tuvieron 0.80 m de ancho. La siembra fue manual en las dos localidades, a una densidad de 100 000 semillas ha<sup>-1</sup>; posteriormente se arraló dejando una densidad de 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Ambos experimentos se sembraron el 1 de mayo de 2013 y se regó inmediatamente después de sembrar. En VA se aplicó la dosis de fertilización 120-60-00, con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y la otra mitad de N en la segunda de dos escardas; para el caso de la MA hubo además, dos aplicaciones foliares de Bayfolan® Forte, durante la etapa vegetativa, pues se presentaron síntomas de deficiencia de Hierro (Fe). El control de maleza e insectos se hizo de acuerdo con las recomendaciones para maíz en cada ambiente (INIFAP, 2007).

Las variables estudiadas fueron: El rendimiento de grano (RG, kg ha<sup>-1</sup>) que se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental, cuyo contenido de humedad fue ajustado a 12 %, multiplicado por el índice de desgrane y transformado a rendimiento por hectárea.

Para obtener los componentes del rendimiento se tomó una muestra de cinco mazorcas representativas de cada unidad experimental y cada ambiente, mismas que se dejaron secar hasta peso constante, en las cuales se registraron las siguientes variables: **longitud de mazorca (LMz, cm)**, registro de las longitudes de las mazorcas; **diámetro de mazorca (DMz, cm)**, tomado en la parte media de las mazorcas; **diámetro de olote (DO, cm)**, tomado en la parte media del olote; **índice de desgrane (ID)**, calculado como el porcentaje del grano con respecto al peso de mazorca; **número de hileras por mazorca (NHM)**; **número de granos por hilera (NGH)**, en promedio de las hileras; **número de granos por mazorca (NGM)**, como el producto de NHM x NGH; **peso individual de grano (PIG, mg)**, como el promedio de 100 granos tomados al azar de una muestra de cinco mazorcas.

El análisis estadístico se efectuó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002), mediante un análisis de varianza por ambiente y uno combinado a través de ambientes. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_k + R_{l(k)} + G_i + P_{j(i)} + AG_{ik} + AP_{kj(i)} + \epsilon_{ijkl}$$

donde,  $Y_{ijkl}$  = respuesta de la j-ésima población de maíz correspondiente al i-ésimo grupo de poblaciones, al ser evaluada en el k-ésimo ambiente en la l-ésima repetición;  $\mu$  = media general;  $A_k$  = efecto atribuido al k-ésimo ambiente;  $R_{l(k)}$  = efecto de repetición anidada en el k-ésimo ambiente;  $G_i$  = efecto del grupo de poblaciones de maíz;  $P_{j(i)}$  = efecto de población anidada en grupo;  $AG_{ik}$  = efecto de interacción de grupo de poblaciones x ambientes;  $AP_{kj(i)}$

= efecto de ambiente por población anidada en grupo;  $\epsilon_{ijkl}$  = efecto aleatorio atribuido al error experimental.

Para la significancia entre ambientes se consideró como término de error a las repeticiones anidadas en ambientes, mientras que las otras fuentes de variación se probaron contra el error experimental. Se realizó la comparación de medias entre ambientes y entre grupos de poblaciones. Para la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos, se calculó la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado presentó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes para RG, DMz, GT, DO y PIG; destacan las variables que directamente influyen en el rendimiento como GT y PIG, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en LMz, NHM, NGH e ID (Cuadro 3). Entre grupos se observaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en RG, LMz, DMz, NHM, GT y DO; con significancia ( $P \leq 0.05$ ) sólo para PIG. Los genotipos dentro de grupos reportaron un comportamiento diferenciado para todas las variables, sobresalieron como altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) RG, LMz, DMz, NHM, GT, DO y PIG. Para el caso de la interacción ambientes x grupos se observó significancia ( $P \leq 0.01$ ) en RG, LMz y NGH; mientras que significancias ( $P \leq 0.05$ ) se observaron en DMz, GT, PIG e ID; para ambientes x tratamientos anidados en grupos, se presentaron diferencias significativas en RG, DMz y NHM. Las tendencias observadas indican que los maíces evaluados tienen comportamientos diferenciales dentro de los grupos y entre los grupos a través de los ambientes; esto permite identificar poblaciones sobresalientes para los ambientes de interés.

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en Valles Altos y Mixteca Alta, durante 2013.

| Fuente                  | gl  | RG           | LMz     | DMz     | DO      | ID      | NHM     | NGH     | GT       | PIG      |
|-------------------------|-----|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| <b>Amb</b>              | 1   | 108224554 ** | 12.9 *  | 2.3 **  | 4.8 **  | 168.7 * | 11.0 *  | 59.7 *  | 52037 ** | 46779 ** |
| <b>Rep (amb)</b>        | 5   | 4143990 *    | 1.6 ns  | 0.1 ns  | 0.1 *   | 13.7 ns | 0.6 ns  | 24.5 *  | 5094 ns  | 1157 ns  |
| <b>Grupo</b>            | 2   | 54009709 **  | 29.0 ** | 1.8 **  | 0.5 **  | 23.4 ns | 95.3 ** | 5.9 ns  | 98344 ** | 9543 *   |
| <b>Trat (grupo)</b>     | 47  | 2928712 **   | 2.5 **  | 0.3 **  | 0.1 **  | 17.8 *  | 9.2 **  | 18.3 *  | 11003 ** | 5525 **  |
| <b>CB</b>               | 19  | 3000212 **   | 2.4 *   | 0.41 ** | 0.2 **  | 20.4 ns | 13.9 ** | 33.4 *  | 13785 ** | 7497 **  |
| <b>HE</b>               | 23  | 2972054 *    | 2.2 *   | 0.4 **  | 0.1 **  | 15.0 *  | 6.9 **  | 7.4 ns  | 9502 **  | 3661 *   |
| <b>HC</b>               | 5   | 2457641 ns   | 3.8 *   | 0.3 *   | 0.2 **  | 20.6 ns | 1.8 *   | 11.1 ns | 7339 *   | 6606 *   |
| <b>Amb*Grupo</b>        | 2   | 40412757 **  | 19.7 ** | 0.2 *   | 0.07 ns | 40.7 *  | 0.4 ns  | 91.9 ** | 20587 *  | 13087 *  |
| <b>Amb*Trat (Grupo)</b> | 47  | 2269773 *    | 1.0 ns  | 0.09 *  | 0.03 ns | 15.3 ns | 1.3 *   | 6.0 ns  | 1870 ns  | 1897 ns  |
| <b>Error</b>            | 241 | 1173761.1    | 1.03    | 0.06    | 0.03    | 11.2    | 0.9     | 8.5     | 2397.8   | 1892.7   |
| <b>CV (%)</b>           |     | 29.1         | 6.9     | 5.4     | 6.7     | 3.8     | 6.4     | 9.5     | 10.8     | 13.9     |

\*\*, \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = No significativo; FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación; RG = Rendimiento de grano; LMz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote; ID = Índice de desgrane; NHM = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; GT = Granos totales; PIG = Peso individual de grano. CB = Compuestos Balanceados; HE = Híbridos Experimentales; HC = Híbridos Comerciales.

El rendimiento de grano presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre los ambientes ( $P \leq 0.01$ ), en VA fue 26 % mayor que en MA (Cuadro 4). Este comportamiento de los maíces evaluados se puede atribuir a que en MA hubo deficiencias en la asimilación de los nutrientes por las plantas, esto se debió al pH elevado en el suelo



(8.25) que hizo que hubiera una alta concentración de carbonatos libres (Lafitte, 1994), situación que provocó clorosis en las hojas, siendo más notorio en las etapas vegetativas críticas (V-3 a V-5); las deficiencias del suelo, dado el alto grado de erosión presente en el ambiente MA son factores a considerar ya que, Contreras *et al.* (2005) estimaron un efecto de reducción de 48 a 65 % en grano y de 26 a 42 % en paja, provocados por los suelos erosionados en maíces nativos de Yanhuitlán, Oaxaca, región cercana al sitio del presente estudio. Diferencias que se corroboran en los análisis del suelo de la parcela experimental que realizó su propietario Sr. Héctor Celis, en 2012; estos resultados indican deficiencias al contener niveles críticos de materia orgánica (menor a 1.3 %), bajos niveles de Hierro (5.8 mg/kg), Cobre (0.55 mg/kg) y Zinc (0.14 mg/kg).

**Cuadro 4.** Rendimiento de grano y sus componentes en grupos evaluados en dos ambientes, durante 2013.

| Ambiente     | Grupo           | RG            | LMz           | DMz          | DO           | ID            | NHM           | NGH           | GT             | PIG          |
|--------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| Valles Altos | CB              | 3226 c        | 14.0 c        | 4.6 b        | 2.7 b        | 86.3 a        | 13.9 b        | 30.0 a        | 420.9 b        | 284 b        |
|              | HE              | 5293 a        | 15.6 a        | 4.8 a        | 2.8 a        | 86.8 a        | 15.6 a        | 31.9 a        | 495.9 a        | 312 a        |
|              | HC              | 4132b         | 14.9 b        | 4.8 a        | 2.8 a        | 85.9 a        | 15.2 a        | 30.9 a        | 470.0 a        | 298 ab       |
|              | DHS             | 775           | 0.6           | 0.2          | 0.1          | 1.1           | 0.6           | 2             | 32.3           | 23           |
|              | <b>Promedio</b> | <b>4375 A</b> | <b>14.9 A</b> | <b>4.7 A</b> | <b>2.8 A</b> | <b>86.5 B</b> | <b>14.9 A</b> | <b>31.0 A</b> | <b>463.9A</b>  | <b>300 B</b> |
| Mixteca Alta | CB              | 2912 b        | 14.2 b        | 4.5 a        | 2.6 b        | 87.3 a        | 13.7 c        | 30.7 a        | 421.1 b        | 319 b        |
|              | HE              | 3388 b        | 14.6<br>ab    | 4.6 a        | 2.6 ab       | 88.2 a        | 15.2 a        | 29.7 a        | 451.8 a        | 321 b        |
|              | HC              | 3959 a        | 15.1 a        | 4.6 a        | 2.7 a        | 88.9 a        | 14.5 b        | 30.8 a        | 447.0 ab       | 354 a        |
|              | DHS             | 567           | 0.6           | 0.1          | 0.1          | 2.3           | 0.5           | 1.5           | 27.4           | 27           |
|              | <b>Promedio</b> | <b>3244 B</b> | <b>14.5 B</b> | <b>4.5 B</b> | <b>2.6 B</b> | <b>87.9 A</b> | <b>14.6 B</b> | <b>30.2 A</b> | <b>439.2 B</b> | <b>323 A</b> |

Diferentes letras minúsculas en columna representan diferencias entre grupos en el ambiente y letras mayúsculas diferentes en columna indican diferencias entre ambientes (Tukey, 0.05). VA = Valles Altos; MA = Mixteca Alta; RG = rendimiento de grano por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); DO = diámetro de olote (cm); ID = índice de desgrane (%); NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; GT = granos totales por mazorca; PIG = peso individual de grano (mg). El valor DSH (Diferencia mínima significativa) se calculó considerando la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

Se presentaron efectos de interacción ambiental sobre los grupos de diferente origen genético, ya que se observaron cambios significativos en su comportamiento a través de ambientes. En VA se observó claramente la separación de los grupos pues el Grupo 2 (HE) presentó en VA el rendimiento de grano más alto; En este caso, de los híbridos experimentales pertenecientes al programa de Fisiotecnia del CP, algunos de ellos son

cruzas simples entre una línea de VA y una de origen tropical (Exótico), comportamiento sobresaliente que reportaron De la Cruz *et al.* (2003) al señalar que la heterosis promedio para rendimiento de materiales adaptados x exóticos fue superior en 73 % a la encontrada en adaptados x adaptados y exóticos x exóticos. Esta situación no fue consistente en MA pues en este ambiente fue el grupo 3 (HC) el que resultó con el mayor RG; esto puede atribuirse a que los HC de la UACH, fueron originados de la raza Chalqueño, raza que ya ha mostrado variabilidad y buena respuesta en su rendimiento en MA (Aragón *et al.*, 2006; Chávez *et al.*, 2011); seguidos por el Grupo 1 (CB). El hecho de que los compuestos balanceados, en promedio a través de ambientes, fuera el de menor rendimiento, no es motivo para descartar a estas poblaciones de los programas de mejoramiento del CP o como prospectos para otros en regiones de VA; esto porque bajo las condiciones edáficas antes mencionadas de la MA, los CB fueron iguales estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) a los híbridos del grupo HE, inclusive superaron el rendimiento promedio reportado para MA, que va de 0.4 a 2.7 t ha<sup>-1</sup>(OEIDRUS, 2010) y en este caso, el grupo CB logró en promedio 2.9 t h<sup>-1</sup> (Cuadro 4).

Con respecto a las características de las mazorcas de los grupos de poblaciones con diferente origen genético, éstas tuvieron longitud de mazorca, diámetro de mazorca y diámetro de olote mayores en VA que en MA y fue en VA donde los grupos de poblaciones fueron estadísticamente diferentes en su longitud (Cuadro 4), sobresaliendo los HE con mayor la longitud de mazorca y diámetro de mazorca, aunque igualado en esta característica por los HC, la misma situación pasó con el diámetro de olote; en contraste, los CB presentaron mazorcas más cortas y olotes delgados a través de ambientes, con diámetros de mazorca menores en VA e iguales a los HE e HC en la MA; esto es debido a que son poblaciones con orígenes de la raza Tuxpeño y Olotillo, características comunes de

estas razas; en este sentido, al estar en proceso de mejoramiento para adaptación a VA se pretende que estas características se mantengan; respuesta que debe ser aprovechada ya que, por las prácticas culturales de selección de los productores de maíz prefieren maíces de olote delgado y granos grandes; pues el ID de los CB fue igual estadísticamente a los HE e HC (Pecina *et al.*, 2011).

El índice de desgrane (ID) no mostró diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos, pero sí entre ambientes; este comportamiento fue contrario a los resultados de Hernández-Esquivel (2004) y Pecina *et al.* (2013); no obstante, el ID es apreciado al considerar que un valor superior a 85 % es óptimo para un buen rendimiento, porcentaje que en todos los casos fue superado en todos los grupos de poblaciones evaluadas (86 % en CB; 87 % en HE y 88 % en HC); cabe mencionar que MA fue la localidad donde el porcentaje de grano con respecto al olote fue mayor (Cuadro 4).

El número de hileras por mazorca tuvo su mejor expresión en VA. Los granos por hilera fueron estadísticamente iguales entre ambientes y entre grupos. Con respecto al número de hileras en VA, el grupo HE fue igual ( $P \leq 0.05$ ) al grupo HC, el menor número de hileras lo tuvo el grupo CB; para el caso de MA los grupos sí se diferenciaron en NH; ya que los híbridos de HE fueron los materiales sobresalientes, seguidos por los de HC y CB, respectivamente. Al predominar en el grupo CB la raza Tuxpeño, condiciona la expresión de pocas hileras y para el caso del grupo de híbridos HE y HC el aporte de la raza Chalqueño se manifestó en una mayor cantidad de hileras presentes en la mazorca (Wellhausen *et al.*, 1951).

El peso individual del grano (PIG), componente importante del rendimiento de grano en maíz, fue una variable que junto con el índice de desgrane tuvieron la mayor

expresión en MA. En el ambiente de VA se obtuvieron los granos más pesados en HE, seguidos por los CB y para el caso de los HC estadísticamente no se diferenciaron. En MA el grupo con mayor PIG fue el de los híbridos comerciales, los de HE y los de CB fueron estadísticamente iguales. Se menciona que el PIG es una variable que es poco influenciada por el ambiente y dependiente del potencial genético de los propios materiales (Borrás y Otegui, 2001); los resultados obtenidos muestran que el PIG fue afectado por el ambiente de manera diferencial entre los grupos de poblaciones, debido al contraste entre los ambientes de prueba, resultados similares fueron obtenidos por Pecina *et al.* (2011).

En orden de importancia, los componentes del rendimiento que más influyen para definir el rendimiento final en maíz son el número de granos totales por unidad de superficie y el peso de los mismos (Andrade *et al.*, 1999; Pandey *et al.*, 2000; Borrás *et al.*, 2004). En el presente estudio las tendencias coinciden; ya que los grupos con mayor número y peso de grano lo obtuvieron los grupos HE y HC; por ende, fueron los que tuvieron los mayores valores de RG a través de ambientes; no obstante, para el caso de GT y PIG, los grupos no se diferenciaron estadísticamente, a su vez, DMz y NHM fueron determinantes para definir las diferencias en ambos grupos. Para estudios específicos del comportamiento del rendimiento a través de sus componentes se justifica tomar en consideración DMz y NHM.

Con la finalidad de identificar poblaciones sobresalientes en cada ambiente de evaluación para su posible recomendación regional, en los Cuadros 5 y 6 se presenta el comportamiento individual de las poblaciones sobresalientes, con base en su rendimiento y componentes del rendimiento, se seleccionaron los tres mejores materiales de los grupos.

El grupo CB muestra en sus dos mejores genotipos, rendimiento superior a  $4 \text{ t h}^{-1}$  por arriba del rendimiento de los híbridos comerciales de la UACH recomendados para VA como H-San José y H-San Marcos (Cuadro 5); En evaluaciones realizadas por Pecina *et al.*, (2008) las poblaciones originales de la UAT, C3016 y C4035, tuvieron rendimientos de 5.9, y  $5.4 \text{ t h}^{-1}$ ; en contraste, en el presente estudio las respuestas fueron menores; sin embargo, como poblaciones nativas en proceso de mejoramiento genético para VA, éstas muestran su potencial con alelos favorables al superar a los híbridos locales con caracteres como el rendimiento y en componentes como olote delgado y granos grandes que mediante técnicas específicas de selección y mejoramiento pueden optimizar su productividad (Pérez *et al.*, 2002; Pecina *et al.*, 2011); cabe mencionar que las pérdidas por pudrición de mazorca provocadas por *Fusarium spp.* limitaron el rendimiento de los materiales en el ciclo de cultivo.

En VA las cruzas experimentales del CP fueron superiores a los testigos comerciales en cuanto al rendimiento y componentes del rendimiento (Cuadro 5). Las cruzas 1558 x P14, 1564 x P14 y 2153 x 2155 tuvieron rendimientos de 7.8, 7.4 y  $7.3 \text{ t h}^{-1}$ ; superando al mejor HC (H-San Miguelito) por  $2.5 \text{ t h}^{-1}$ , características que denotan potencial y utilidad para los productores de los Valles Altos Centrales; ya que también presentaron precocidad, asincronía moderada y bajo porte, consideraciones arquetípicas favorables para maíz de alto rendimiento, por sus características de adaptación a altas densidades en zonas templadas como los VA (Donald, 1967; Hernández-Esquivel, 2004).

Del grupo HC, el híbrido de la UACH, H-San Miguelito, de grano azul, produjo  $5 \text{ t h}^{-1}$  y superó al híbrido del INIFAP y a los del CIMMYT (H-377, CML 460-461-CHYE 140 y CML 457-459-CHYE 133, sucesivamente). Es importante resaltar que el grano azul del

híbrido San Miguelito es una característica apreciada en los mercados regionales tradicionales que le dan valor agregado al pigmento y aumentan las ganancias a los productores (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de rendimiento y sus componentes, para los Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.

| Grupo         | Genealogía      | RG          | LMz        | DMz        | DO         | ID         | NHM        | NGH         | GT          | PIG         |
|---------------|-----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>1 (CB)</b> | CV-UAT          | 4559        | 14.6       | 4.5        | 2.6        | 87.7       | 12.8       | 33.9        | 435.2       | 294         |
|               | C3016           | 4535        | 14.4       | 4.4        | 2.7        | 86.3       | 13.3       | 31.3        | 416.1       | 253         |
|               | C4035           | 4232        | 14.7       | 4.8        | 2.7        | 87.8       | 13.7       | 32.7        | 446.9       | 307         |
| <b>2 (HE)</b> | 1558 x P14      | 7864        | 16.6       | 5.8        | 3.5        | 88.4       | 18.5       | 33.6        | 617.1       | 356         |
|               | 1564 x P14      | 7477        | 15.0       | 5.4        | 2.8        | 90.6       | 16.5       | 32.8        | 546.4       | 352         |
|               | 2153 x 2155     | 7345        | 15.6       | 5.0        | 2.9        | 88.5       | 16.0       | 31.5        | 501.9       | 337         |
| <b>3 (HC)</b> | H-San Miguelito | 5308        | 15.3       | 4.7        | 2.6        | 89.3       | 14.8       | 30.2        | 446.3       | 319         |
|               | H-San José      | 3984        | 15.2       | 5.0        | 2.9        | 85.8       | 16.1       | 33.1        | 533.5       | 309         |
|               | H-San Marcos    | 3961        | 16.2       | 4.7        | 2.9        | 84.4       | 15.1       | 32.2        | 481.5       | 269         |
|               | <b>DHS</b>      | <b>4036</b> | <b>2.7</b> | <b>0.7</b> | <b>0.5</b> | <b>5.6</b> | <b>3.1</b> | <b>10.7</b> | <b>169</b>  | <b>122</b>  |
|               | <b>CV (%)</b>   | <b>27</b>   | <b>5.3</b> | <b>4.9</b> | <b>5.7</b> | <b>1.9</b> | <b>6.2</b> | <b>10.1</b> | <b>10.6</b> | <b>11.9</b> |

RG = rendimiento de grano por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); DO = Diámetro del olote (cm); ID = índice de desgrane (%); NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; GT = Granos totales por mazorca; PIG = Peso individual de grano (mg). DHS = Diferencias mínima significativa.

Los maíces sometidos a mejoramiento genético pueden optimizar sus respuestas mediante selecciones en diferentes ambientes en especial los de estrés, con esto se gana adaptabilidad y así se evita la obtención de maíces con buenas características pero sólo en áreas muy localizadas (Muñoz *et al.*, 1972; Molina 1983; Gómez *et al.*, 2014). En este sentido, en los CB, poblaciones como C3016 destacó en VA y en MA; respuesta que expresó potencial en las poblaciones al responder adecuadamente en un ambiente de estrés edáfico como el que se presentó en MA; no obstante, al provenir de zonas tropicales de

Tamaulipas, muestran características favorables en su adaptación a una zona templada (Zivanovic *et al.*, 2007) (Cuadro 6).

Las poblaciones C3024 y VS San Bernardino del grupo CB sobresalieron en RG y componentes de rendimiento (CR), el primero al provenir de zonas tropicales de Tamaulipas con avance para su adaptación a VA superó en rendimiento a testigos como H-San Miguelito. Para el caso de la variedad San Bernardino que es de origen genético de VA, pudiera ser una opción como variedad sintética por su practicidad en el manejo de la semilla para los productores, al presentar RG y CR similares a C3024.

Los híbridos del grupo HE en general disminuyeron su RG en MA con respecto al ambiente VA; también es el grupo que estadísticamente fue igual a CB en RG en MA; en contraste, en VA fue el mejor grupo con separaciones significativas de los testigos comerciales y CB; sin embargo, en cruas específicas con el probador P6 los rendimientos y componentes expresaron potencial para MA, al superar la media regional y estatal (Chávez *et al.*, 2011); se debe considerar la continuidad en la evaluación y selección de estos materiales ya que son prometedores, con esquema rotativo ambiental (Cuadro 6).

Los testigos comerciales, con tendencias a reducir su RG en el ambiente MA presentaron mejoras con respecto a VA, como el caso de H-San José de la UACH y CML460 del CIMMYT. Para H-San José, como se menciona en párrafos anteriores, la raza Chalqueño influye en la manifestación de un comportamiento favorable en MA; ya que, por comunicación personal con el productor Héctor Celis, cooperante del presente trabajo, señala que en siembras durante los años 2010 y 2011, el H-San José superó las 7 t h<sup>-1</sup>. Se aprecian las ventajas en la disponibilidad de la semilla para los híbridos producidos por instituciones nacionales (Cuadro 6).



**Cuadro 6.** Maíces sobresalientes en cada grupo ordenados bajo criterios de rendimiento y componentes del rendimiento, para la Mixteca Alta Oaxaqueña, evaluados en 2013.

| Grupo         | Genealogía             | RG          | LMz        | DMz        | DO         | ID         | NHM        | NGH       | GT          | PIG        |
|---------------|------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|
| <b>1 (CB)</b> | C3016                  | 4478.4      | 14.9       | 4.4        | 2.6        | 89.4       | 13.0       | 31.7      | 410.9       | 316.8      |
|               | C3024                  | 4261.7      | 15.0       | 4.5        | 2.4        | 88.9       | 12.7       | 30.8      | 389.8       | 371.8      |
|               | VS San Bernardino      | 4001.0      | 14.5       | 5.0        | 2.7        | 91.5       | 16.4       | 29.8      | 488.1       | 339.5      |
| <b>2 (HE)</b> | 1435 x P6              | 4491.9      | 15.5       | 4.8        | 2.7        | 92.4       | 15.8       | 29.9      | 471.0       | 365.5      |
|               | 1451 x P6              | 4314.2      | 14.4       | 4.8        | 2.6        | 88.8       | 15.9       | 27.7      | 438.1       | 338.8      |
|               | 1355 x P2              | 4054.1      | 16.3       | 4.9        | 2.6        | 93.7       | 15.7       | 30.2      | 469.8       | 388.3      |
| <b>3 (HC)</b> | H-San José             | 4922.6      | 16.3       | 4.8        | 2.9        | 90.5       | 15.5       | 33.2      | 508.7       | 346.3      |
|               | CML 460- 461- CHYE 140 | 4905.1      | 15.1       | 4.6        | 2.9        | 88.9       | 14.3       | 31.4      | 449.8       | 316.5      |
|               | H-San Miguelito        | 4205.8      | 15.2       | 4.9        | 2.4        | 90.3       | 14.0       | 30.3      | 421.3       | 406.8      |
|               | <b>DHS</b>             | <b>2929</b> | <b>3.3</b> | <b>0.8</b> | <b>0.6</b> | <b>12</b>  | <b>2.8</b> | <b>8</b>  | <b>142</b>  | <b>140</b> |
| <b>CV (%)</b> | <b>31</b>              | <b>7.8</b>  | <b>5.7</b> | <b>7.4</b> | <b>4.6</b> | <b>6.6</b> | <b>9.1</b> | <b>11</b> | <b>14.9</b> |            |

RG = rendimiento de grano por hectárea ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); DO = Diámetro del olote; ID = índice de desgrane; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; GT = Granos totales; PIG = Peso individual de grano. DHS = Diferencias mínima significativa.

Los beneficios de la siembra de poblaciones sobresalientes en el presente estudio a los productores pueden ser directos, pues en el programa de mejoramiento genético y producción de semillas de la UACH, con sede en San Pablo Etla, Oaxaca, el costo de un saco de semillas del INIFAP, como el caso del H-377 es de \$ 900; por lo que se tiene un ahorro directo de 50 % con respecto a un saco de semilla de 20 kg de las empresas privadas. Datos proporcionados por el Ing. Humberto Castro García, líder del proyecto.

### 3.6 CONCLUSIONES

La mejor expresión del rendimiento de grano de todas las poblaciones evaluadas se observó en el ambiente de VA. En MA se tuvieron bajos rendimientos, pero una buena expresión de algunos componentes como el índice de desgrane y un mayor peso individual de grano.

Las poblaciones de Tamaulipas (CB) adaptadas a VA, fue el grupo con mayor interacción ambiental; no obstante ser el grupo de menor rendimiento y con bajas expectativas en expresiones morfológicas, su potencial fue aceptable para su continuidad en programas de mejoramiento genético del CP, al igualar al mejor grupo que fue HE en VA en la MA; destaca la población C3016 con buenos rendimientos a través de ambientes.

Los híbridos experimentales son una opción económica y agronómica viable para ser considerados como insumos a la producción por los productores de VA; destacan las cruzas 1558 x P14, 1564 x P14 y 2153 x 2155; no obstante, son excelentes opciones para la MA.

En el caso de los híbridos comerciales son opciones de uso inmediato por la disposición de semilla, destacan H-San José y H-San Miguelito, con rendimientos superiores a 4 t ha<sup>-1</sup> en la MA.

Las respuestas favorables de materiales tropicales introducidos a VA exponen la necesidad de seguir explorando la adaptación e incorporación de materiales exóticos a zonas altas con poca variabilidad o con presión ambiental para la proliferación de variantes adaptadas a las regiones de interés.

### 3.7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, H. F., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero, O. Valentinuz. 1999.**  
Kernel Number determination in maize. *Crop Sci.* 39:453-459.
- Andrade, H. F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della-Maggiora, M. Casanovas. 2002.**  
Kernel Number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42:117-119.
- Aragón, C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J de D. Figueroa C., V. Serrano A., F. H. Castro G. 2006.** Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca. Libro Técnico N° 6. INIFAP. México D. F. 344 p.
- Benz, B. F. 1997.** Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología Mexicana* 5(25):16-23.
- Borras, L., M. E. Otegui. 2001.** Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 49:1816-1822.
- Borrás, L., G. A. Slafer, M. E. Otegui. 2004.** Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86:131-146.
- Castillo, G. F. 1994.** Aprovechamiento de la diversidad genética de maíz en México. In: *Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Asociación Latinoamericana de Genética. SOMEFI. Monterrey, N. L. México.* pp. 78-92.

- Castro, N. S., J. A. López-Santillan, J. A. Pecina-Martínez, M. C. Mendoza-Castillo, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (4):645-653.
- Chávez, S. J. L., P. Diego-Flores, J. C. Carrillo-Rodríguez. 2011.** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai* 7 (1):107-115.
- Cirilo, A. G., F. H. Andrade. 1994.** Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34: 1039-1043.
- Contreras, H. J., V. Volke-Haller, J. Oropeza-Mota, C. Rodríguez-Franco, Tomás Martínez-Saldaña y A. Martínez-Garza. 2005.** Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlán, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 23:399-408.
- De la Cruz, L. L., J. Ron P., J. L. Rodríguez D., J. J. Sánchez G., M. M. Morales R., M. Chuela B., S. A. Hurtado P., S. Mena M. 2003.** Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:1-10.
- Donald, C. M. 1968.** The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17:385-403.
- Edmeades, G. O., T. B. Daynard. 1979.** The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. *Can. J. Plant Sci.* 59:585-601.
- Esquinas, J. T. 1982.** Los recursos fitogenéticos una inversión segura para el futuro. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (F.A.O.)- I.N.I.A. Madrid. pp. 1-44.
- Frausto, R. J. V., V. Volke-Haller., B. Figueroa-Sandoval, N. Estrella-Chulín, H. Vaquera-Huerta. 1991.** Estimación de la erosión Hídrica laminar. Caso: Paraje

- Zaayucuanino, del Distrito de Nochixtlán, Oax. Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima 2 (3):83-96.
- Gambín, L. B., L. Borrás, E. M. Otegui. 2006.** Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Research* 95:316-316.
- Gebbing, T., H. Schnyder, W. Kurhbauch. 1999.** The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady-state  $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$  labelling. *Plant Cell Environ.* 22:851–858.
- Goldsworthy, P. R. 1984.** Crop growth and development: the reproductive phase. In P. R. Goldsworthy and N.M. Fisher (ed.) *The physiology of tropical field crops.* Wiley, New York. P. 163-212.
- Gómez, M. N. O., M.A. Cantú-Almaguer, C. A. Hernández-Galeno, M. G. Vázquez Carrillo, F. Aragón-Cuevas, A. Espinoza-Calderón, F. Palemón-Alberto. 2014.** V-236 P, cultivar de maíz Pepitilla para regiones de montaña baja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1309-1313.
- Goodman, M. M., W. L. Brown. 1988.** Races of corn. In: G. F. Sprague (ed.). *Corn and Corn Improvement.* ASA. Agronomy Monograph N° 18. 3<sup>rd</sup> edition. pp 33-79.
- Hernández, C. J. M., G. Esquivel E. 2004.** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:27-31.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2007.** Paquetes Tecnológicos para Maíz de Temporal. INIFAP. 49 p.

- Kidd, C., D. Pimentel. 1992.** Integrated resource management: Agroforestry for development. San Diego, CA: Academic Press.
- Kiniry, J. R., J. T. Ritchie. 1985.** Shade-Sensitive interval of kernel number of maize. *Agro. J.* 77:711-715.
- Kiniry, J. R., C. A. Wood, D. A. Spanel, A. J. Bockholt. 1990.** Seed weight response to decreased seed number in maize. *Agron. J.* 54:98-102.
- Kiniry, J. R., C. R. Tischler, W. D. Rosenthal, T. J. Gerik. 1992.** Nonstructural carbohydrate utilization by sorghum and maize shade during grain growth. *Crop Sci.* 32:131-137.
- Lafitte, H. R. 1994.** Identificación de Problemas en la Producción de Maíz Tropical. Guía de Campo. CIMMIT. 122 p.
- León, S. J. 2007.** Acciones que contribuyen a la restauración del suelo y el mejoramiento del medio ambiente. Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca, A.C. Consultado el 2 de enero de 2015 en:
- [www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop\\_mixtecaAlta/pdfs/accione\\_r.pdf](http://www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop_mixtecaAlta/pdfs/accione_r.pdf). 10 p.
- Maddoni, G. A., M. E. Otegui, R. Bonhomme. 1998.** Grain yield components in maize II. Postsilking growth and kernel weight. *Field Crops Research* 56: 257-264.
- Miranda, C. S. 1998.** El mejoramiento genético del maíz en la época prehispánica. In: J.A. Cuevas S., P. E. Cedillo, A. Muñoz O., y P. Vera C. (eds.). *Lecturas en etnobotánica*. Publicaciones del programa nacional de etnobotánica. Serie: Didáctica de la

etnobotánica. Núm. 1. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 269-282

**Molina, G. J. D. 1990.** Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. En: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez Chihuahua, México. 344 p.

**Molina, G. J. D. 1983.** Selección masal visual estratificada. Centro de genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

**Muñoz, O. A., A. Carballo C., V. A. González H. 1972.** VII Seminario Panamericano de Semillas. Ciudad Obregón, Son. México.

**Muñoz, O. A. 1991.** Aprovechamiento de recursos genéticos y agricultura sostenible. *in:* Comisión de Estudios Ambientales C.P. y M. O. A. International. Memorias del Primer Simposio Nacional de Agricultura Sostenible. Colegio de Postgraduados. M. O. A. International. México. pp: 272-286

**OEIDRUS, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. 2010.** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2010, Oaxaca. Disponible en: [http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus\\_oax/a1.php](http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax/a1.php) (Enero 2015).

**Otegui, M. E., F. H. Andrade, E. E. Suero. 1995.** Growth, wáter use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40:87–94.

**Pandey, R. K., J. W. Maranville, A. Admou. 2000.** Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46:1-13.

**Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2008.** Diversidad genética y potencial de poblaciones

criollas de maíz del centro-sur de Tamaulipas, México. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Genética. 75 p.

**Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009.** Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.

**Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz-Cereceres. 2011.** Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.

**Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, J. A. López-Santillán, M. Mendoza-Rodríguez, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Genetic potential of S1 lines derived from native maize populations of Tamaulipas, México. *Maydica* 58: 127-134.

**Pérez, C. A., J. D. Molina G., A. Martínez G. 2002.** Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 25:435-441.

**Sánchez, G. J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000.** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54 (1): 43–59.

**Serratos, H. J. A. 2009.** El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace. México. 36 p.

**Statistical Analysis System Institute. 2002.** The SAS® System for Windows® (Ver. 9.0). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.



**Vavilov, N. I. 1951.** The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants.

Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Press Co. New York. 94 p.

**Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., P. C. Mangelsdorf. 1951.** Razas de

Maíz de México. Su Origen, Características y Distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería–Oficina de Estudios Especiales. Folleto Técnico No. 5. México, D. F. 236 p.

**Yang, J., J. Zhang. 2010.** Crop management techniques to enhance harvest index in rice.

Journal of Experimental Botany. 61 (12):3177-3189.

**Zivanovic, T., R. Dordevic, S. Drazic, M. Secanski, M. Kostic. 2007.** Effects of

recombinations on variability and heritability of traits in maize populations with exotic germplasm. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 21 (2):229-234.

#### **Sitios de consulta para datos climáticos:**

Estación meteorológica del Colegio de Postgraduados.

<http://www.cm.colpos.mx/meteoro/index.html>

Red meteorológica del INIFAP.

<http://clima.inifap.gob.mx/redcli>

## **CAPÍTULO IV. UTILIDAD DE BIOMASA EN MAÍCES CON DIFERENTE**

### **ORIGEN GENÉTICO EN EL ALTIPLANO MEXICANO**

#### **4.1 RESUMEN**

La diversidad del maíz presente en México representa un potencial poco utilizado, los complejos genéticos incluidos en el mejoramiento genético son seleccionados y evaluados con criterios de rendimiento, componentes de rendimiento y ciertas características fenológicas y morfológicas; omitiendo consideraciones en la eficiencia en el uso de la biomasa para la producción de materia seca de importancia agronómica. Durante el ciclo PV 2013 en los Valles Altos Centrales se evaluaron maíces con diferente origen genético como: poblaciones adaptadas a VA y cruzas simples comparadas con híbridos comerciales. Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre grupos para IC, RGP, RG y PO; destacan las variables que mantienen una relación directa con el RG como IC y RGP, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en RBP, PE y PH. El grupo de HE del programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados fue el que mayor acumulación de biomasa (RBP), índice de cosecha (IC) y rendimiento de grano (RGP y RG) reportó ( $P \leq 0.05$ ), la correlación en estas tres variables son comunes en maíz e implican eficiencia en la utilidad de los recursos disponibles como radiación, agua y nutrimentos, sin menoscabo de las buenas prácticas agronómicas. Los CB e HC en acumulación de biomasa (RBP), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y peso de olote (PO) fueron estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ). Existe potencial de uso de los grupos HE y CB del Colegio de Postgraduados.

**Palabras clave:** Biomasa, rendimiento biológico, utilidad de la biomasa, relaciones fuente demanda.

## 4.2 INTRODUCCIÓN

En México, centro de origen del maíz (Kato *et al.*, 2009), existen al menos 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000) algunas de éstas sirven como base en programas de mejoramiento genético; sin embargo, los avances logrados en mejoramiento genético han utilizado principalmente al rendimiento de grano como criterio de evaluación y selección (López *et al.*, 2000); bajo esta perspectiva, se han obtenido híbridos sobresalientes por su rendimiento de grano e incremento de la productividad; empero, paralelamente al incremento en el rendimiento de grano también se aumenta la producción de biomasa total (Tollenaar *et al.*, 1994), por lo que la eficiencia en la conversión de ésta en rendimiento de grano dependerá de la relación fuente-demanda, la cual implica procesos fisiológicos complejos donde la importancia se centra en la porción de biomasa total que se invierte en el llenado de grano (Mendoza *et al.*, 1985; Echarte *et al.*, 2003; Moser *et al.*, 2006). Para medir la eficiencia de una planta en la translocación de los fotoasimilados y que éstos sean materia seca que proporcione el peso en los granos, se utiliza el índice de cosecha (IC); éste se define post-antes, y se determina durante todo el periodo de llenado de grano (Soltani *et al.*, 2004).

Durante la evaluación y selección es poco considerado el índice de cosecha u otras variables indicativas de la eficiencia fisiotécnica de los genotipos, esto debido a lo impráctico que resulta la toma de datos de estas variables (Kemanian *et al.*, 2007). Así, en las regiones de alta producción de maíz como en Norte América, en la faja maicera de los E.U.A., no se relaciona al rendimiento de grano con aumentos en el índice de cosecha (Tollenaar *et al.*, 1994); en las evaluaciones del índice de cosecha para maíz en condiciones óptimas de desarrollo, los resultados son conservadores y se muestran valores de 0.5 de

relación grano-biomasa aérea total; las razones de este comportamiento aún no son claras (Tollenaar y Lee, 2006); con algunas excepciones, algunos híbridos modernos de Argentina muestran avances relevantes en el índice de cosecha (0.52) y en consecuencia, también aumentan su rendimiento de grano (Echarte y Andrade, 2003); situación contraria son los cereales menores que en su evaluación y selección están históricamente asociados al aumento del índice de cosecha (Boukerrou, 1990), caso particular es el trigo que actualmente se ha evidenciado que el incremento en el rendimiento de grano está estrechamente relacionado con el índice de cosecha (Lorenz, *et al.*, 2010). La predicción del rendimiento en cereales mediante los componentes del rendimiento por lo general conlleva a errores, por los múltiples factores a considerar; no obstante, el índice de cosecha es un factor más flexible y útil para predecir el rendimiento, en especial en los cereales menores (Kemanian *et al.*, 2007).

El rendimiento en cereales tiene una tendencia positiva en las últimas cinco décadas, esto se debe a una mayor participación de los fotoasimilados en el rendimiento económico; no obstante, los límites teóricos en los índices de cosecha en algunos casos están cercanos y en otros, ya se han alcanzado como los del trigo (Boukerrou, 1990; Tollenaar y Lee, 2006). Se sugiere que para el aumento en el rendimiento, más allá de los umbrales, se tiene que poner especial importancia en la eficiencia de las plantas para la producción de biomasa y la partición eficiente de ésta durante las relaciones fuente-demanda, de tal manera que los índices de cosecha sean aumentados (Boukerrou, 1990). El índice de cosecha tiene una relación estrecha y positiva con el rendimiento; en cereales menores como cebada se han obtenido incrementos en el IC cuando la biomasa total se ha mantenido constante (Boukerrou, 1990). Caso contrario sucede en maíz, donde los aumentos en el rendimiento

de grano se asocian al aumento de la biomasa total, mediante la selección para tolerancia al estrés por altas densidades de población (Tollennar y Lee, 2006).

La modelación del rendimiento de grano no puede abarcar las relaciones fuente-demanda; pues es un sistema complejo que depende de la radiación interceptada, de su uso de manera efectiva y de la disposición de agua y nitrógeno; sin embargo, el IC es un factor que se puede utilizar para la predicción del rendimiento (Kemanian, 2007).

El rendimiento de los cultivos ha dependido de la participación directa de los productos fotosintéticos (Donald y Hamblin, 1976; Evans, 1984; Lorenz *et al.*, 2010); ya que en experimentos realizados para evaluar las respuestas al hacinamiento de plantas se encontró que el rendimiento es más afectado por factores que tienen que ver directamente con la utilidad o partición de los carbohidratos producto de la fotosíntesis que de los factores que puedan limitar la disponibilidad de los mismos (Tollenaar *et al.*, 2006); basado en esto, el presente trabajo versa en que poblaciones de diferente origen genético del Programa de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, acumulan biomasa diferencialmente entre grupos genéticos y que en relación al avance que llevan en su mejoramiento, pueden mostrar variación en la acumulación y distribución de biomasa, mejorando la eficiencia para producir rendimiento, lo cual permitirá identificar materiales sobresalientes que puedan ser recomendados localmente o en su caso, dirigir las evaluaciones de manera más integral en el proceso de mejoramiento al cual están sujetos.

#### **4.2.1 Objetivo General**

Valorar la eficiencia fisiotécnica en poblaciones de maíz con diferente nivel de mejoramiento; tales como: compuestos balanceados; cruza simple experimental del Programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados que al compararlos con híbridos

comerciales de la Universidad Autónoma Chapingo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, permitirán identificar algunos sobresalientes por su eficiencia para producir grano, para su recomendación o en su caso, para dirigir evaluaciones más integrales en el proceso de mejoramiento.

#### **4.2.2 Objetivos Específicos**

Mediante el uso del índice de cosecha, determinar la eficiencia fisiotécnica en poblaciones de maíz para Valles Altos Centrales de diferente origen genético.

Identificar las relaciones de la biomasa total y su distribución en órganos en la definición del rendimiento de grano.

#### **4.2.3 Hipótesis**

El mejoramiento genético realizado a las poblaciones del presente estudio no necesariamente fue bajo criterios de eficiencia en el uso de la biomasa pero, al considerar que el proceso de mejoramiento con criterios de rendimiento de grano en maíz indirectamente aumenta la biomasa total y en consecuencia, la eficiencia para la partición de asimilados que influyen en el rendimiento de grano. En este sentido las respuestas de los grupos de poblaciones de maíz serán diferenciadas, por ende, se pueden detectar genotipos eficientes para su recomendación o en su caso, mejorar la evaluación y selección bajo consideraciones de eficiencia en la utilidad de la biomasa.

### 4.3 REVISIÓN DE LITERATURA

La comprensión de los procesos fisiológicos asociados a las mejoras del rendimiento y la determinación de las relaciones genotipo-fenotipo, potencialmente podría incrementar la eficiencia del mejoramiento genético, inclusive con mayor efectividad que el mejoramiento genético tradicional y el asistido con biotecnología; en este sentido, se debe considerar al rendimiento de grano en maíz como el producto de la acumulación de la biomasa total (biomasa) y el índice de cosecha (proporción de materia seca que se acumula en el grano) (Tollenaar y Lee, 2006). Para describir la distribución de la materia seca en las plantas cultivadas se requiere de los componentes: rendimiento biológico y rendimiento económico. El rendimiento biológico fue propuesto por Nichiporovich en 1960 (Donald, 1968) como una opción para representar la acumulación total de materia seca en la planta. El rendimiento económico y el rendimiento agronómico se han utilizado indistintamente para referirse al volumen o al peso de aquellos órganos de la planta de interés antropocéntrico; es decir, es la proporción de materia seca acumulada en el grano a la madurez (Pons *et al.*, 1989; Kawano, 1990; Tollenaar *et al.*, 2006; Long *et al.*, 2006, Lorenz *et al.*, 2010).

El índice de cosecha (peso seco de grano/peso seco de la parte aérea) fue propuesto por Beaven, mejorador inglés de cebada (Donald y Hamblin, 1976), quien lo nombró “coeficiente de migración de los cereales” y Donald (1968) fue quien acuñó el término índice de cosecha (IC) para referirse a la relación, expresada en porcentaje, entre el peso seco del grano y el peso seco total; es por esto que el IC es una medida de la eficiencia de la parte aérea de la planta para la producción de grano rentable; ya que el rendimiento económico es solamente una fracción de la materia seca total. Esto lo convierte es una forma útil para medir la eficiencia de la planta para la producción de su rendimiento (Singh

y Stoskopf, 1971; Hay, 1995; Lorenz *et al.*, 2010) y que depende del peso de los granos y del número de los mismos (Tollenaar y Lee, 2006); la importancia de los factores del rendimiento biológico e índice de cosecha es relativa al tipo de agricultura; para el caso de la agricultura tradicional, en muchos casos la biomasa total es más importante que la biomasa que representa el grano; en contraste, el índice de cosecha más alto se pretende en zonas de alta producción (Kawano, 1990); en la actualidad la biomasa total y en específico el índice de cosecha están tomando un importante auge en la bioeconomía para la producción de etanol (Lorenz *et al.*, 2010).

En muchos cultivos, las variedades modernas altamente rendidoras poseen altos índices de cosecha y algunas veces, menor rendimiento biológico que las variedades a las cuales reemplazaron, sin que este criterio haya sido el eje en la selección de los materiales (Pons *et al.*, 1989). En el caso del maíz, las líneas progenitoras de los híbridos que marcaron el inicio de los aumentos constantes en la producción de la faja maicera en E.U.A., desde los años 30's del siglo pasado, mantenían altos índices de cosecha, se reportan valores de hasta 0.55; no obstante, en estudios retrospectivos sobre la utilidad de la biomasa en las progenies, éstas no muestran avances en sus IC, a través de las décadas (Tollenaar y Lee 2006). Las conclusiones sobre los aumentos del índice de cosecha en híbridos nuevos son difíciles de concretar, pues las ganancias genéticas en rendimiento se han logrado en los híbridos modernos para aumentar la tolerancia a altas densidades de población (Duvick *et al.*, 2004); estos resultados evidencian una relación compleja entre densidades de población e índice de cosecha; por lo tanto, los híbridos modernos mejoran su índice de cosecha con respecto a sus progenitores, pero por una mayor tolerancia al hacinamiento, mas no por un aumento real de este factor (Duvick, 2005).



Los avances en la integración de variables para comprender los procesos fisiológicos que definen el rendimiento de grano en maíz, independientemente a la heterosis e interacción genotipo-ambiente, fueron progresivos; Ramírez *et al.* (1986) al evaluar cruza simples de maíz y sus progenitores bajo diferentes densidades poblacionales, encontraron que los híbridos acumularon más materia seca en cada uno de sus órganos con respecto a sus progenitores; resultados contrastantes se tuvieron cuando los materiales fueron sometidos a densidades elevadas. Esto parece indicar que no basta con que los genotipos tengan un abundante aparato fotosintético laminar, pues tanto la eficiencia como la duración del mismo, son factores que explican las complejas relaciones entre el peso seco y el área foliar (Mendoza *et al.*, 1985).

Tollenaar *et al.* (2006) al evaluar diferentes densidades de plantas reportaron que el arreglo en las plantas provocó variaciones en el rendimiento, pero fueron compensados con la adaptación de plantas al hacinamiento; no obstante, el hacinamiento afectó la acumulación de materia seca pero no el índice de cosecha. Entonces, las plantas pueden compensar el rendimiento cuando se ven limitadas en los factores que influyen en la captura de los recursos energéticos, pero no sucede lo mismo cuando las reducciones tienen que ver con la utilización (partición) de los asimilados disponibles.

Edmeades *et al.* (2014) mediante selección recurrente en ambientes de estrés por sequía, señala que en poblaciones tropicales derivadas de la raza tuxpeño, el índice de cosecha mostró ganancias significativas, situación contraria en la acumulación de biomasa total que permaneció constante y en algunos casos mostró ligeras disminuciones; también reportaron correlaciones positivas entre el rendimiento de grano y el índice de cosecha.

#### **4.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

En el presente estudio se incluyeron 18 poblaciones provenientes de Tamaulipas (Castro *et al.*, 2013) en su versión de compuestos balanceados con dos ciclos de recombinación mediante polinización controlada y dos compuestos de variedades sintéticas de Valles Altos, para formar el Grupo 1 (CB) con 20 poblaciones; el Grupo 2 (HE) estuvo integrado por cruzas simples de líneas endogámicas; y el Grupo 3 (HC) fue formado por un híbrido comercial del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (H-377 trilineal) y tres híbridos provenientes de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (H-San José de grano blanco, H-San Marcos de grano amarillo y H-San Miguelito de grano azul) y dos híbridos trilineales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Poblaciones de maíz evaluados en los Valles Altos Centrales, 2013.

| Nombre de grupo                     | Grupo    | Población  | Origen genético   |
|-------------------------------------|----------|--|---|
| <b>Compuestos Balanceados (CB)</b>  | <b>1</b> | C4021, C3024, C3040, C3041, C3043, C4022, C4026, C4031, C4035, C4037, C3004, C3006, C3007, C3012, C3016 y C3022                                    | Poblaciones nativas de Tamaulipas con adaptación a VA (C <sub>2</sub> ), su origen fueron colectas del centro-sur de Tamaulipas, de las razas Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Olotillo y Vandeño. |
|                                     |          | H-437  | Generación F <sub>3</sub> del Híbrido H-437 del INIFAP.   |
|                                     |          | UAT  | Población recombinante formada con 12 poblaciones nativas sobresalientes en ambientes de Tamaulipas.  |
|                                     |          | VS Chapingo 3 y VS San Bernardino  | Poblaciones recombinantes de variedades sintéticas de la UACH de maíces de Valles Altos.  |
| <b>Híbridos Experimentales (HE)</b> | <b>2</b> | T5 x M2, T5 x M3, VA5 x T5, VA5 x T4, VA5 x M4, VA5 x T3, VA6 x M2   | Cruzas simples de maíces exóticos por locales de VA.  |
|                                     |          | L4 x L1, L5 x L6, L5 x L3 y L5 x L4  | Cruzas de líneas altamente endogámicas del CP.  |
|                                     |          | 1348 x P2, 1451 x P6, 1313 x P2, 1547 x P14, 1455 x P6, 1564 x P14, 1401 x P2, 1367 x P2, 1546 x P14, 1558 x P14, 1435 x P6, 1355 x P2, 1392 x P26 | Cruzas de líneas del CP x UACH.   |
| <b>Híbridos Comerciales (HC)</b>    | <b>3</b> | H-377  | Híbrido del INIFAP  |
|                                     |          | H-San José   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Marcos   | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | H-San Miguelito  | Híbrido de la UACH  |
|                                     |          | (CML460//CML461//CHYE140)<br>(CML457//CML459//CHYE133)   | Híbridos trilineales del CIMMYT   |

Durante el ciclo PV 2013 se estableció en los Valles Altos (VA), bajo condiciones de riego, un ensayo: en el municipio de Texcoco, Edo. de México (19° 29' N y 98° 53' O, con una altitud de 2250 m). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud, los surcos tuvieron 0.80 m de ancho. La siembra fue manual, a una densidad de 100 000 semillas ha<sup>-1</sup>; posteriormente se arraló a una densidad de 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El experimento se sembró el 1 de mayo de 2013 y se aplicó el riego inmediatamente después de sembrar. Se utilizó la dosis de fertilización 120-60-00, con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y la otra mitad de N en la primera de dos escardas; el control de maleza y plagas se hizo considerando las recomendaciones técnicas para VA (INIFAP, 2007).

Para la evaluación de la eficiencia en la utilidad de la biomasa en maíz se requiere de los componentes rendimiento biológico y rendimiento agronómico (Lorenz *et al.*, 2010). Para la obtención de los datos de estas variables se realizaron muestreos en tres plantas por tratamiento. Las muestras de biomasa se tomaron cuando el cultivo estaba en madurez fisiológica, posteriormente se llevaron a peso constante mediante el secado en estufas a 80 °C durante 72 h. Para el pesado, las plantas fueron fraccionadas en órganos tanto para las evaluaciones de eficiencia como para la distribución de biomasa en órganos, para el caso de eficiencia se consideraron las siguientes variables: **rendimiento biológico de la planta** (RBP, g planta<sup>-1</sup>) tomado como el peso total de la planta, incluyendo el grano; **rendimiento de grano por planta** (RGP, g planta<sup>-1</sup>). Una vez obtenidos los componentes de eficiencia en la utilidad de la biomasa, mediante la ecuación (RBP/RGP) se obtuvo el **índice de cosecha** (IC, %) que muestra la capacidad de la planta para la translocación de la biomasa hacia el grano (Tollenaar y Lee, 2006). Los estudios de la distribución de biomasa en

órganos se realizó mediante las siguientes variables: **peso de olote** (PO, g) registro del peso de los olotes en las mazorcas; **peso de espiga** (PE, g) valoración de los pesos en espigas; **peso de hoja** (PH, g) registro de los pesos de las láminas foliares de las plantas; **peso de brácteas** (PB, g) en las plantas se registró el peso de sus brácteas; **peso de tallo** (PT, g) peso de los tallos en plantas evaluadas y **peso de vaina** (PV, g) registro de los pesos de las vainas foliares en las plantas de cada tratamiento. Para las correlaciones se consideró el rendimiento de grano (RG, kg ha<sup>-1</sup>) que se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental, cuyo contenido de humedad fue ajustado a 12 %, multiplicado por el índice de desgrane y transformado a rendimiento por hectárea.

Se realizó un análisis estadístico usando el paquete SAS (SAS Institute, 2002), considerando un análisis de varianza por grupo y a través de grupos genéticos.

Se aplicó la comparación de medias entre grupos y dentro de grupos con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con la finalidad de identificar el mejor grupo en cuanto a eficiencia en la utilidad de biomasa y los mejores genotipos en cada grupo, también se calculó la media armónica del número de observaciones a través de grupos. Se determinaron los valores de relaciones entre el IC con el RBP, RGP mediante regresiones (PROC REG), para valorar la participación de la biomasa total y la biomasa en grano en la definición del IC. Se aplicó un análisis de correlación con PROC CORR entre el IC, RBP, RGP y RG, para así determinar el nivel de relación de variables como IC, RBP, RGP con el RG final.

## 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre grupos para RGP, IC, RG y PO; destacaron las variables que mantienen una relación directa como IC y RGP, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en RBP, PE y PH (Cuadro 2). Los genotipos dentro de grupos mostraron un comportamiento diferenciado ( $P \leq 0.05$ ) solo para las variables IC, RG y PO. Las tendencias observadas indican que los maíces evaluados tienen respuestas diferenciales entre grupos; por consiguiente, se procedió al análisis de los mismos.

**Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza para los componentes de distribución de materia seca, rendimiento biológico e índice de cosecha y materia seca acumulada en órganos de maíz evaluados, durante el 2013.**

| FV                  | gl | RBP     | RGP       | IC       | PT     | PH     | PV    | PO     | PE     | PB      | RG           |
|---------------------|----|---------|-----------|----------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|--------------|
| <b>Grupos</b>       | 2  | 18318 * | 20807 **  | 0.1 **   | 650 ns | 547 *  | 28 ns | 271 ** | 15.9 * | 82.6 ns | 81885003 **  |
| <b>Trat (grupo)</b> | 47 | 3072 ns | 1148 *    | 0.007 *  | 328 ns | 128 ns | 41 ns | 47 *   | 1.7 ns | 74.8 ns | 3030294 *    |
| <b>CB</b>           | 19 | 2452 ns | 3889467 * | 0.008 ns | 384 ns | 112 ns | 45 ns | 55 ns  | 2 ns   | 85.2 ns | 2231089.6 *  |
| <b>HE</b>           | 23 | 3247 ns | 1291 ns   | 0.007 *  | 227 ns | 122 ns | 45 ns | 43 *   | 1.6 ns | 63.5 ns | 3889467.5 *  |
| <b>HC</b>           | 5  | 4620 ns | 991 ns    | 0.006 ns | 581 ns | 212 ns | 7 ns  | 27 ns  | 1.5 ns | 87.6 ns | 2115072.8 ns |
| <b>Error</b>        | 96 | 3000    | 767       | 0.004    | 309    | 134    | 34    | 25     | 1.7    | 90.2    | 1340768      |
| <b>CV</b>           |    | 19.3    | 28.7      | 20.4     | 23.8   | 30.5   | 21.9  | 29.4   | 33.8   | 34.9    | 26.2         |

\*\*, \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo; FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CB = Compuestos Balanceados; HE = Híbridos Experimentales; HC = Híbridos Comerciales; CV = Coeficiente de variación; RBP = Rendimiento biológico en planta; RGP = Rendimiento de grano en planta; IC = Índice de cosecha; PT = Peso del tallo; PH = Peso de láminas foliares; PV = Peso de vainas foliares PO = Peso de olote; PE = Peso de espiga; PB = Peso de brácteas; RG = Rendimiento de grano.

El grupo HE del programa de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados fue el que tuvo mayor acumulación de biomasa (RBP), índice de cosecha (IC) y rendimiento de grano en planta (RGP) ( $P \leq 0.05$ ), por ende, fue el grupo de mayor rendimiento final (RG), la correlación en estas tres variables son comunes en maíz, implican eficiencia en la utilidad de los recursos disponibles como radiación solar, agua y nutrimentos, sin menoscabo de las buenas prácticas agronómicas (Cuadros 3 y 4). La relación IC-RG muestra un comportamiento cuadrático en maíz, para el caso del RB presenta más variabilidad al crecer en diferentes densidades de población y ambientes (Singh y Stoskopf, 1971; Edmeades *et al.*, 2014). Este comportamiento se exhibió en el presente trabajo pues a mayor disposición de asimilados y más eficiencia en la partición de éstos en el grupo HE resultó en una mayor acumulación de materia seca en el grano; no obstante, para lograr un arquetipo en maíz mejorado (Donald, 1968; López *et al.*, 2000) para zonas templadas, existe el potencial con respecto al IC; pues, se tienen registros de IC entre 0.5 a 0.55 % (Russell, 1991); en este sentido, durante el proceso de mejoramiento de los HE se tuvo el objetivo principal obtener mayor rendimiento, mejorando los componentes del rendimiento de grano y las consideraciones morfo-fenológicas, aunque paralelamente las plantas tienen cambios no muy favorables como el caso de los olotes que se vuelven muy pesados (López *et al.*, 2000).

**Cuadro 3. Componentes de distribución de materia seca y biomasa acumulada en órganos en grupos de maíz evaluados en Valles Altos Centrales, durante el 2013.**

| <b>Grupo</b> | <b>RBP</b> | <b>RGP</b> | <b>IC</b> | <b>PT</b> | <b>PH</b> | <b>PV</b> | <b>PO</b> | <b>PE</b> | <b>PB</b> | <b>RG</b> |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CB           | 271.2 ab   | 79.5 b     | 0.29 b    | 76.5 a    | 40.9 a    | 27.3 a    | 15.2 b    | 4.5 a     | 27.4 a    | 3266 c    |
| HE           | 299.6 a    | 113.8 a    | 0.37 a    | 73.2 a    | 35.2 a    | 26.6 a    | 19.2 a    | 3.5 b     | 27.7 a    | 5293 a    |
| HC           | 261.1 b    | 84.2 b     | 0.32 b    | 67.0 a    | 39.2 a    | 26.0 a    | 16.6 ab   | 3.5 b     | 24.4 a    | 4132 b    |
| DHS          | 31.2       | 15.7       | 5.3       | 10        | 6.6       | 3.3       | 2.9       | 0.7       | 5.4       | 775       |

Diferentes letras minúsculas representan diferencias entre grupos (Tukey, 0.05). RBP = Rendimiento biológico en planta (g); RGP = Rendimiento de grano en planta (g); IC = Índice de cosecha (%); PT = Peso de tallo (g); PH = Peso de láminas foliares (g); PV = Peso de vainas foliares (g); PO = Peso de olote (g); PE = Peso de espiga (g); PB = Peso de brácteas (g); RG = Rendimiento de grano por hectárea (kg ha<sup>-1</sup>). El valor DSH se calculó considerando a la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

En la acumulación de biomasa en planta (RBP) e índice de cosecha (IC) los CB e HC fueron estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ). Se observan diferencias en la biomasa de las espigas donde los CB al ser germoplasma de zonas tropicales con cierto proceso de adaptación a los VA, mostraron características típicas de espigas exuberantes (Pecina *et al.*, 2011). En el caso del rendimiento, ambos grupos fueron inferiores a CE. Es evidente el potencial del grupo CB en proceso de mejoramiento para VA, al igualar estadísticamente a los testigos.

En las variables peso de láminas foliares (PH), peso de brácteas (PB), peso de tallo (PT) y peso de vainas foliares (PV) no se encontraron diferencias entre los grupos; no obstante, en previas investigaciones, se reconoce que la acumulación de azúcares no



estructurales del tallo del maíz podrían provocar diferencias en los tipos de maíz en lo correspondiente al peso de la biomasa acumulada en este órgano, pero en el presente estudio no se detectó este comportamiento entre los grupos genéticos (Cuadro 3).

#### 4.5.1 Relaciones entre índice de cosecha y biomasa total en la definición del rendimiento de grano en grupos de maíces evaluados en Valles Altos Centrales.

Las relaciones del rendimiento de grano por planta y el índice de cosecha fueron positivas en los tres grupos de poblaciones de maíz, para el caso de CB e HE las relaciones mostraron alta significancia ( $P \leq 0.01$ ) (Figura 1). El comportamiento general de las poblaciones fue que el aumento del rendimiento de grano en las plantas muestreadas aumentó conforme era más alto el IC; esto coincide con (Hay y Gilbert, 2001; Edmeades *et al.*, 2014).

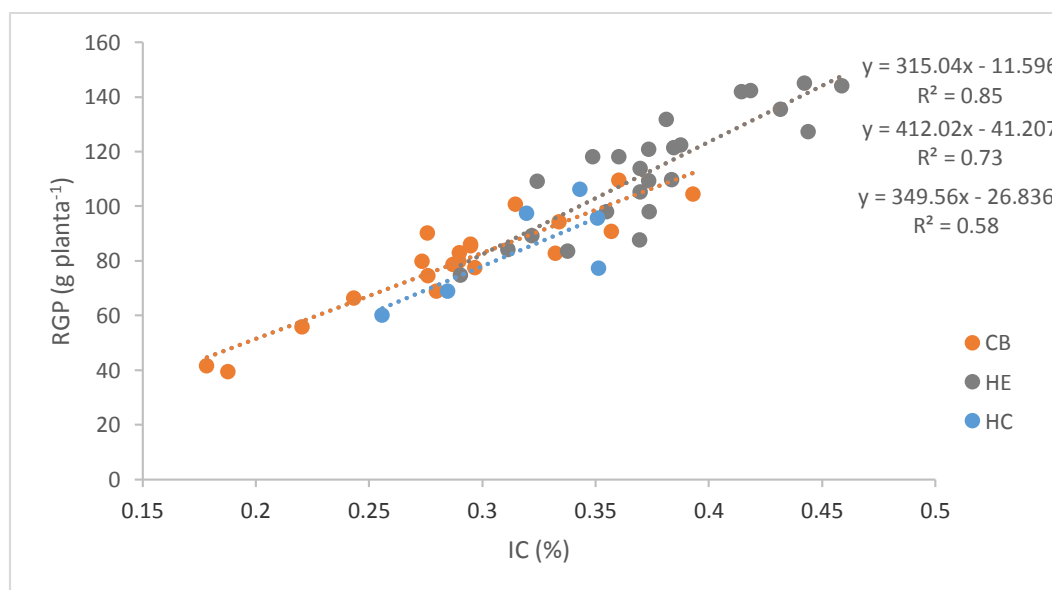


Figura 1. Relación del rendimiento de grano por planta y el índice de cosecha en tres grupos de poblaciones de maíz de diferente origen genético.

El desempeño de HC con nula significancia se atribuye a la interacción ambiental que provocó la disminución en sus rendimientos por planta en los materiales CML460//CML461//CHYE140; CML457//CML459//CHYE133 y H-377, provenientes del CIMMYT y del INIFAP, consecutivamente. Las ganancias obtenidas en el IC mediante selección recurrente para tolerancia a estrés por sequía en maíces tropicales se reportan de 0.42 (Edmeades *et al.*, 2014), para el caso de maíces de zonas templadas, los IC máximos reportados son de 0.55 (Russell, 1991); en este sentido, los IC de las poblaciones evaluadas en el presente estudio fueron menores (Cuadro 3). Es evidente que en el proceso de mejoramiento genético se debe considerar la alta heredabilidad del IC en variedades de maíz (Hay y Gilbert, 2001) para aprovechar el potencial de mejoramiento para las poblaciones de maíces locales y en la adaptación para los Valles Altos Centrales.

Las relaciones del RGP y el RBP fueron positivas, con significancias altas en el grupo HE ( $P \leq 0.01$ ) y significativas en los grupos CB e HC ( $P \leq 0.05$ ). Las tendencias de las relaciones en las Figuras 1 y 2, entre RGP, IC y RBP denotan que el grupo de cruza simples reporta altos RGP mediante elevados IC y RBP; mostrando una tendencia acorde a los avances genéticos de los grupos (Hay y Gilbert, 2001) y tendencias positivas de rendimiento de grano, con ganancias en biomasa en híbridos prolíficos de maíz (Echarte y Andrade, 2003). En este sentido, los HE fueron los más rendidores; sin embargo, también tuvieron aumentos considerables en RBP, pero no alcanzaron IC ideales para las zonas templadas (Russell, 1991) lo que indica la menor eficiencia fisiotécnica que poseen; por lo tanto, los grupos de poblaciones de maíz evaluados reportan tendencias en ganancias de rendimiento paralelamente al aumento de la biomasa en plantas (Ortiz, 1984).

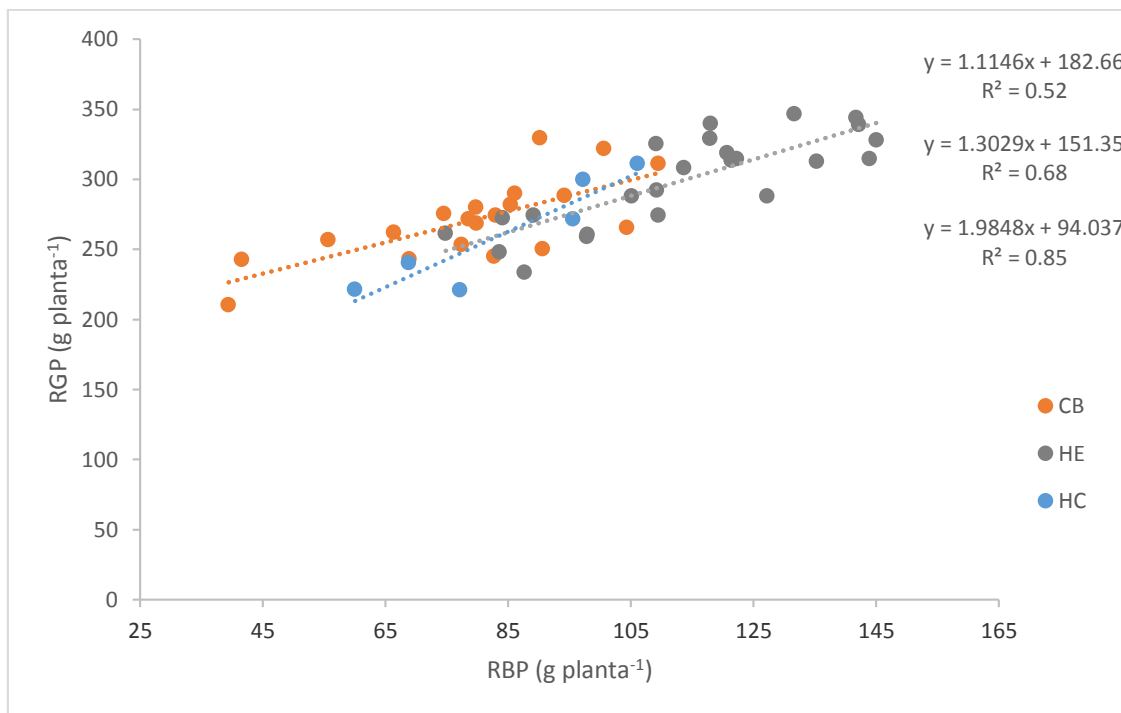


Figura 2. Relación del rendimiento de grano por planta y el rendimiento biológico por planta en grupos de poblaciones en maíz.

El rendimiento de grano por hectárea (RG) se correlacionó positivamente con RGP, RBP, IC, PO ( $P \leq 0.01$ ) y con PB ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 4). Las relaciones estrechas de RGP, RBP e IC coinciden con algunos resultados previos (Tollenaar y Lee, 2006). La relación estrecha del peso del olote en el RGP y RG por unidad de superficie es una característica que se observó en los híbridos HE y HC que tuvieron los olotes más gruesos. El RGP se relacionó con RG, RBP, IC y PO ( $P \leq 0.01$ ) en el mismo sentido que el RG, pero con niveles altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) en el PB. Tendencias positivas del RBP ( $P \leq 0.01$ ) se tuvieron con RGP, IC, PO, PH, PB, PT, PV y con PE ( $P \leq 0.05$ ); este resultado reafirma la participación de las variables consideradas en la definición de la biomasa total acumulada y que ésta influye en el rendimiento de grano.

**Cuadro 4. Correlaciones de los componentes de la utilidad de biomasa en grupos de poblaciones de maíz, evaluados en Valles Altos Centrales en 2013.**

|            | <b>RGP</b>        | <b>RBP</b>        | <b>IC</b>         | <b>PO</b>         |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>RG</b>  | <b>0.62981 **</b> | 0.50684 **        | 0.51941 **        | 0.45816 **        |
| <b>RGP</b> |                   | <b>0.77996 **</b> | <b>0.85596 **</b> | <b>0.72331 **</b> |
| <b>RBP</b> |                   |                   | 0.36574 **        | <b>0.73842 **</b> |
| <b>IC</b>  |                   |                   |                   | 0.49566 **        |

\*\* , \* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo. RGP = Rendimiento de grano por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ); RBP = Rendimiento biológico por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ); IC = índice de cosecha (%); RG = Rendimiento de grano por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

La eficiencia de los maíces para utilizar la biomasa producida en el rendimiento de grano es de suma importancia para la optimización del programa de mejoramiento genético (Tollenaar y Lee, 2006), en este sentido, en el Cuadro 5 se reportan los mejores genotipos en cuanto a IC.

En general los grupos de maíces evaluados presentaron ganancias en su RGP conforme aumentó la acumulación de biomasa total e incrementos en su utilidad para formar grano (IC); no obstante, los avances en sus IC aún pueden ser mejorados (Russell, 1991); cabe señalar que en el grupo CB destaca por su alto RG, RGP e IC aceptable, la población UAT Comp II. En los HE son sobresalientes las cruzas L5 x L3 y L4 x L1; para el caso de HC, el híbrido de grano azul San Miguelito mostró buen RGP pero limitado IC, aunque su respuesta fue favorable en el RG.

**Cuadro 5. Maíces sobresalientes en cada grupo genético, ordenados bajo criterios de índice de cosecha y sus componentes, para los Valles Altos Centrales, evaluados en 2013.**

| <b>Grupo</b>  | <b>Genealogía</b>           | <b>IC</b> | <b>RGP</b> | <b>RBP</b> | <b>RG</b> | <b>PO</b> | <b>PE</b> | <b>PH</b> | <b>PB</b> | <b>PT</b> | <b>PV</b> |
|---------------|-----------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>1 (CB)</b> | <b>VS Chapingo</b>          | 0.39      | 104.4      | 265.6      | 2974.3    | 17.5      | 4.3       | 33.4      | 21.6      | 59.5      | 24.8      |
|               | <b>UAT Comp II</b>          | 0.36      | 109.5      | 311.5      | 4559.3    | 20.7      | 5.1       | 47.4      | 27.2      | 76.2      | 25.4      |
|               | <b>C4022</b>                | 0.36      | 90.6       | 250.3      | 3122.3    | 15.0      | 4.2       | 28.1      | 26.5      | 63.2      | 22.6      |
| <b>2 (HE)</b> | <b>L4 x L1</b>              | 0.46      | 144.0      | 314.6      | 6962.9    | 23.8      | 3.5       | 28.8      | 26.7      | 63.0      | 24.9      |
|               | <b>L5 x L3</b>              | 0.44      | 127.3      | 288.1      | 7345.0    | 19.4      | 3.1       | 33.8      | 24.8      | 57.0      | 22.7      |
|               | <b>L5 x L4</b>              | 0.44      | 145.1      | 328.3      | 4987.4    | 20.9      | 3.3       | 35.3      | 34.1      | 63.0      | 26.6      |
| <b>3 (HC)</b> | <b>CML-457-459-CHYE-133</b> | 0.35      | 77.2       | 221.3      | 2597.6    | 15.9      | 3.2       | 25.9      | 19.7      | 54.1      | 25.3      |
|               | <b>H- San Marcos</b>        | 0.35      | 95.6       | 271.9      | 3961.4    | 17.7      | 3.5       | 44.5      | 24.7      | 61.3      | 24.7      |
|               | <b>H- San Miguelito</b>     | 0.34      | 106.1      | 311.4      | 5307.8    | 15.0      | 3.8       | 43.2      | 24.3      | 92.8      | 26.1      |

IC = Índice de cosecha (%); RGP = Rendimiento de grano por hectárea (g planta<sup>-1</sup>), RBP = Rendimiento biológico por planta (g planta<sup>-1</sup>), RG = Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), PO = Peso del Olote (g), PE = Peso de la espiga (g), PH = Peso de láminas foliares (g), PB = Peso de brácteas (g), PT = Peso de tallo (g), PV = Peso de vaina (g).

#### 4.6 CONCLUSIONES

El índice de cosecha, la biomasa total y el rendimiento de grano por planta presentaron correlaciones positivas y con alta significancia en la definición del rendimiento de grano.

Los testigos (HC) no presentaron superioridad a los CB e HE; inclusive, fueron iguales estadísticamente con los CB, de origen genético menos avanzado en RGP; esto permite evidenciar el potencial que poseen las poblaciones incluidas en el grupo de CB.

Los valores de IC en los genotipos fueron inferiores a los reportados para zonas templadas; no obstante destacan en el grupo CB: UAT Comp II; en HE: L5 x L3 y L4 x L1; y en HC, H-San Miguelito.

El grupo HE fue el que acumuló más biomasa y también fue el grupo con mayor utilidad de los fotoasimilados y el de mayor rendimiento, superando a los testigos; sin embargo, paralelamente al ser seleccionados y evaluados bajo criterios de rendimiento y componentes de rendimiento de grano, presentan algunas deficiencias como olotes muy pesados que deben ser atendidas a corto plazo por el programa de mejoramiento en cuanto a su eficiencia fisiotécnica.

#### 4.7 BIBLIOGRAFÍA

**Boukerrou, L., D. Rasmusson. 1990.** Breeding for high biomass yield in spring barley.

Crop. Sci. 30:31-35.

**Castro, N. S., J. A. López-Santillan, J. A. Pecina-Martínez, M. C. Mendoza-Castillo,**

**C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4 (4):645-653.

**Donald, C. M. 1968.** The breeding of crop ideotypes. Euphytica 17:385-403.

- Donald, C. M., J. Hamblin. 1976.** The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28:361-405.
- Duvick, D. N., J. S. C. Smith and M. Cooper. 2004.** Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant Breed. Rev.* 24:109–151.
- Duvick, D. N. 2005.** The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Adv. Agron.* 86:83–145.
- Echarte, L., F. H. Andrade. 2003.** Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Research* 82:1-12.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños, S. C. Chapman, H. R. Lafitte, M. Bänziger. 2014.** Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gain in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Evans, J. R. 1984.** Physiological aspects of varietal improvement. p. 121-146. *In:* J. P. Gustafson (Ed.) *Gene manipulation in plant improvement.* Proc. 16th Stadel Genetic Symp., Columbia, MO. 19-21 March. Plenum Press, New York.
- Hay, R. K. M. 1995.** Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.* 126:197–216.
- Hay, R. K. M. and R. A. Gilbert. 2001.** Variation in the harvest index of tropical maize: evaluation of recent evidence from Mexico and Malawi. *Ann. Appl. Biol.* 138:103-109.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2007.** Paquetes Tecnológicos para Maíz de Temporal. INIFAP. 49 p.

- Kato, Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. 2009.** Origen y diversificación del maíz. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 116.
- Kawano, K. 1990.** Harvest index and evolution of major food crop cultivars in the tropics. *Euphytica* 46:195-202.
- Kemanian, R. A., C. O. Stöckle, D. R. Huggins, L. M. Viega. 2007.** Simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crops Research* 103:208-216.
- Long, S. P., X. G. Zhu, S. I. Naidu, D. R. Ort. 2006.** Can improvement in photosynthesis increase crop yields?. *Plant, Cell and Environment* 29:315-330.
- López, S. J. A., J. Ortíz C., M. C. Mendoza C. 2000.** Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:141-151.
- Lorenz, A. J., T. J. Gustafson, J. G. Coors, N. de Leon. 2010.** Breeding maize for a bioeconomy: a literatura survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Sci.* 50:1-12.
- Mendoza, O. L. E., V. A. González H., J. Ortiz C. 1985.** Factores de conversión y tamaños de muestra en la estimación del área foliar en maíz. *Agrociencia* 58:141-151.
- Moser, B. S., B. Feil, S. Jampatong, P. Stamp. 2006.** Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural Water Management* 81:41-58.



- Ortíz, C. J., L. E. Mendoza O., V. A. González H. 1984.** Cambios en las características morfológicas y fisiotecnicas de maíz por efecto de la selección *in situ* y rotativa basada en el rendimiento de grano. *Agrociencia* 58:153-163.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz-Cereceres. 2011.** Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.
- Pons, H. J. L., Q. Carballo A., V. González H., A. H. Angeles H.. 1989.** Modificaciones al índice de cosecha en maíz y su correlación con otros caracteres. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Genética. Texcoco. Estado de México. 48 p.
- Ramírez, D. J. L., L. E. Mendoza O., J. Ortiz C., V. González H., A. H. Angeles. H. 1986.** Análisis de crecimiento de un híbrido simple de maíz y sus progenitores. *Agrociencia* 64:202-214.
- Russell, W. A. 1991.** Genetic improvement of maize yields. *Advances in Agronomy* 46:245-298.
- Sánchez, G. J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000.** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54 (1):43–59.
- Singh, I. D., N. C. Stoskopf. 1971.** Harvest index in cereals. *Agronomy Journal* 63:224-227.
- Soltani, A., S. Galeshi, M. R. Attarbashi, A. H. Taheri. 2004.** Comparison of two methods for estimating parameters of harvest index increase during seed growth. *Field Crops Research* 89:369-378.

**Statistical Analysis System Institute. 2002.** The SAS® System for Windows® (Ver. 9.0).

SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

**Tollenaar, M., D. E. McCullough, L. M. Dwyer. 1994.** Physiological basis of genetic improvement of corn. In: Genetic improvement of fields crops. G. A. Slafer (ed). Marcel Dekker, Inc. N.Y. pp: 183-236.

**Tollenaar, M., W. Deen, L. Echarte, W. Liu. 2006.** Effect of crowding stress on dry matter accumulation and harvest index in maize. *Agro. J.* 98:930-937.

**Tollenaar, M., E. A. Lee. 2006.** Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica* 51:399–408.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL

Turrent (1994) menciona que los Valles Altos de la Mesa Central de México comprenden regiones con altitudes de 2 200 hasta 2 600 m; en el sentido estricto, la Mixteca Alta posee algunos nichos con esta condicionante; no obstante, para hacer una clasificación integral de esta región se tienen que considerar factores como temperatura, precipitación y tipo de suelo (González *et al.*, 2008); consideraciones que permiten inferir que la MA es ecológicamente contrastante a los Valles Altos Centrales al reportar diferencias especialmente edáficas y de precipitación.

El número de granos y el peso de los mismos son los componentes más importantes para definir el rendimiento en maíz, el primer factor de éstos es el más determinante (Tanaka-Yamaguchi, 1997; Otegui, 1995; Pandey *et al.*, 2000; Gambín *et al.*, 2006; Pecina *et al.*, 2013), características que definieron el rendimiento de los grupos HE y HC, los cuales, manejados a través de ambientes, tuvieron RG estadísticamente igual; no obstante, en VA el grupo HE del CP fue ampliamente superior a los testigos (HC), aptitud de estos complejos genéticos que pudieran ser considerados como opciones a corto plazo, para los productores de la región de VA; pues, con respecto a MA este grupo fue más afectado en su expresión. En contraste, los grupos HC y CB fueron los grupos genéticos con buenas respuestas en el ambiente MA; para el caso de los híbridos comerciales, H-San José puede ser una opción como insumo a la producción para los agricultores de algunos nichos de la MA, por su bajo costo y buenos rendimientos.

La introducción de maíces tropicales a las zonas templadas o el movimiento de la semilla a diferentes regiones es una opción viable en la actualidad para aumentar la diversidad y consecuentemente, aumentar las aptitudes agronómicas de los genotipos

(Goodman, 2004; Vasic *et al.*, 2006); actividad aprovechada fuertemente por las empresas privadas (Goodman, 2004). En este sentido, son relevantes los genotipos del grupo CB, al ser colectas del centro y sur de Tamaulipas, de la razas Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Olotillo y Vandeño (Castro *et al.*, 2013) razas que ya se utilizan como base en los programas de mejoramiento genético en México y otras partes del mundo. En su selección y adaptación a VA (Pecina *et al.*, 2011) se encontraron características agronómicas favorables. En el presente estudio las poblaciones del grupo CB tuvieron buena respuesta en la MA donde las condiciones ambientales son adversas a la producción de maíz, en especial por los factores edáficos críticos; lo que indica que la constitución genética de estos materiales pueden aportar alelos favorables para su adaptación; lo cual justifica el seguir siendo considerados en los programas de mejoramiento genético en la MA con la participación de diversas instancias, a la par de su seguimiento en el CP.

El mejoramiento genético por hibridación es el método que ha soportado en gran medida el aumento del rendimiento en los cultivos (López *et al.*, 2000). Esto, al margen de la inclusión de variables que indiquen la utilidad de la biomasa por la planta, como medio de amplios análisis y así identificar genotipos aptos. La diversidad aún inexplorada es el potencial por excelencia, no obstante se pueden ampliar estos horizontes. Pons (1989) menciona que al centrar el mejoramiento en criterios de rendimiento y no ser integral en cuanto a evaluaciones de la fisiología de los genotipos; paralelamente al mejorar la condición de rendimiento de grano se han observado mejoras en la utilidad de los fotoasimilados. Pons mismo propone hacer el IC una herramienta útil y práctica para su inclusión en los programas de mejoramiento genético, este tema aún no es superado, pues se continúa con la búsqueda de métodos prácticos en su determinación (Kemanian, 2007).

En este rubro, las mejores respuestas en utilidad de la biomasa fueron en el grupo de cruas HE; no obstante, ya se han obtenido índices de cosecha de 0.5 y 0.55 para híbridos en zonas templadas (Russell, 1991); esto indica que existe potencial genético en algunos materiales que se incluyen en el presente estudio, como en los HE al ser evaluadas bajo estos criterios, para superar umbrales en VA. En contraparte, los HC al ser seleccionados con criterios de RG no presentaron un avance paralelo, como lo indica Pons (1989) con respecto a sus valores de IC y su utilidad de materia seca inclusive, fue estadísticamente igual que la del grupo CB.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES

Las poblaciones incluidas en el grupo de compuestos balanceados, al considerar que provienen de un avance genético menor, tanto en Valles Altos como en la Mixteca Alta, no alcanzaron su mejor expresión; no obstante, su potencial es evidente por sus características favorables de mazorcas largas, granos grandes y olores relativamente delgados, lo que justifica su incorporación y seguimiento en el proceso de mejoramiento.

Las cruces experimentales (HE) representaron el grupo con mejor potencial en VA como para que algunas de ellas puedan ser consideradas en un programa de transferencia de tecnología a productores de los Valles Altos Centrales; sin embargo, la evaluación de características morfológicas y fenológicas en los híbridos experimentales indica que se tiene que mejorar la sincronía floral y la resistencia al acame; sin omitir evaluaciones integrales con índices de eficiencia fisiotécnica, en especial lo referente a las hojas como atrapadoras de radiación.

Los híbridos comerciales de Valles Altos son una opción económica y agronómica viable para ser considerados como insumos a la producción por los agricultores de la Mixteca Alta de Oaxaca, por su bajo costo y buenos rendimientos expresados en este ambiente.

La eficacia de los programas de mejoramiento genético para aumentar el rendimiento de grano en plantas de maíz requiere de la integración de variables de eficiencia fisiotécnica que no sólo incluyan el IC, sino también a índices de áreas foliares, permanencia de las hojas como atrapadoras de la radiación y el uso eficiente de la radiación

misma; con estas consideraciones se puede estar hablando del futuro del mejoramiento en plantas que están siendo requeridas como insumos en la industria de los biocombustibles.

## VII. BIBLIOGRAFÍA DE DISCUSIÓN E INTRODUCCIÓN GENERAL

**Aragón, C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J. de D. Figueroa C., V. Serrano A., F. H.**

**Castro G. 2006.** Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. Libro Técnico 6. INIFAP. México D. F. 344 p.

**Castillo, G. F. 1994.** Aprovechamiento de la diversidad genética de maíz en México. In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Asociación Latinoamericana de Genética. SOMEFI. Monterrey, N. L. México. pp. 78-92.

**Castro, N. S., J. A. López-Santillan, J. A. Pecina-Martínez, M. C. Mendoza-Castillo, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4 (4):645-653.

**Chávez, S. J. L., P. Diego F., J. C. Carrillo R. 2011.** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. Ra Ximhai 7:107-115.

**CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2011.** Proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Disponible en:

<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>. (Enero 2015).

**Contreras, L. 2007.** Rescate de la región Mixteca, considerada desastre ecológico por la falta de agua. Consultado el 10 de enero de 2015 en:

[sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2007/04/asun\\_2341876\\_20070426\\_1179777763.pdf](http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2007/04/asun_2341876_20070426_1179777763.pdf). 10 p.

**Damania, A. 2008.** History, achievements, and current status of genetic resources conservation. Agro. J. 100:9-21.



- FAOSTAT. 2015.** Producción crops. Data Base. Consultado el 7 de enero de 2015.  
Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (Enero 2015).
- Frausto, R. J. V., V. Volke-Haller., B. Figueroa-Sandoval, N. Estrella-Chulín, H. Vaquera-Huerta. 1991.** Estimación de la erosión Hídrica laminar. Caso: Paraje Zaayucuanino, del Distrito de Nochixtlán, Oax. Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima 2 (3):83-96.
- Gambín, L. B., L. Borrás, E. M. Otegui. 2006.** Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Research* 95:316-316.
- García, M. A., P. Tenorio L., J. Reyes S. 1994.** El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana* 27:53-73
- González, H., L. M. Vázquez G., J. Sahagún C., J. E. Rodríguez P. 2008.** Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca, Atlacomulco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(01):67-76.
- González, A., D. de J. Pérez, J. Sahagún C., O. Franco, E. J. Morales, M. Rubi, F. Gutiérrez, A. Balbuena. 2010.** Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle de Toluca Atlacomulco, México. *Agronomía Costarricense* 34 (2):129-143.
- Goodman, M. M. 1985.** Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. *Iowa State Journal Research* 59:497-527.
- Goodman, M. M., W. L. Brown. 1988.** Races of corn. In: G. F. Sprague (ed.). *Corn and Corn Improvement*. ASA. Agronomy Monograph N° 18. 3<sup>rd</sup> edition. pp 33-79.

- Goodman, M. M. 2004.** Developing temperate using tropical maize germplasm: Rationale, results, conclusions. *Maydica* 49:209-219.
- Guerrero, A. R., H. Jiménez E., R. Santiago H. 2010.** La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta oaxaqueña desde el pleistoceno tardío hasta el holoceno. *Ciencia y Mar*. XIV (40):61-68.
- Kato, Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. 2009.** Origen y diversificación del maíz. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Kemanian, R. A., C. O. Stöckle, D. R. Huggins, L. M. Viega. 2007.** Simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crops Research* 103:208-216.
- Kidd, C., D. Pimentel. 1992.** Integrated resource management. Academic Press. New York.
- León, S. J. 2007.** Acciones que contribuyen a la restauración del suelo y el mejoramiento del medio ambiente. Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca, A.C. Consultado el 2 de enero de 2015 en: [www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop\\_mixtecaAlta/pdfs/accione\\_r.pdf](http://www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop_mixtecaAlta/pdfs/accione_r.pdf). 10 p.
- López, S. J. A., J. Ortíz C., M. C. Mendoza C. 2000.** Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:141-151.
- Martínez, J. 2006.** Manejo del agua y restauración productiva en la región indígena Mixteca de Puebla y Oaxaca. Resultados de los estudios y recomendaciones para los

tomadores de decisiones de las comunidades y organizaciones de la sociedad civil.

Consultado el 8° de enero de 2015 en:

[www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop\\_mixtecaAlta/pdfs/martinez06\\_r.pdf](http://www.biology.duke.edu/aridnet/wkshop_mixtecaAlta/pdfs/martinez06_r.pdf). 10 p.

**Muñoz, O. A. 1991.** Aprovechamiento de recursos genéticos y agricultura sostenible. in: Comisión de Estudios Ambientales C.P. y M. O. A. International. Memorias del Primer Simposio Nacional de Agricultura Sostenible. Colegio de Postgraduados. M. O. A. International. México. pp: 272-286.

**Nadal, A., T. A. Wise. 2005.** Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA. In: Globalización y Medio Ambiente: Lecciones desde las Américas. H Blanco, L Togeiro A, K P Gallagher (eds). Santiago, Chile. RIDES - GDAE. pp: 49-92.

**Ortega, P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., J. M. Hernández C. 1991.** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., M. Livera M. (eds.). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.

**Otegui, M. E., F. H. Andrade, E. E Suero. 1995.** Growth, wáter use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40:87–94.

**Pandey, R. K., J. W. Maranville, A. Admou. 2000.** Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46:1-13.

- Paredes, L. O., F. Guevara-Lara, L. A. Bello-Pérez. 2009.** La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92:60-70.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz-Cereceres. 2011.** Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, J. A. López-Santillán, M. Mendoza-Rodríguez, C. A. Reyes-Méndez. 2013.** Genetic potential of S1 lines derived from native maize populations of Tamaulipas, México. *Maydica* 58:127-134.
- Polanco, J. A., T. Flores M. 2008.** Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz. 1ra. Ed. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. 244 p.
- Pons, H. J. L., A. Carballo Q., V. González H., H. Angeles A. 1989.** Modificaciones al índice de cosecha en maíz y su correlación con otros caracteres. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Texcoco. Estado de México 48 p.
- Reyes, C. P. 1990.** El Maíz y su Cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Russell, W. A. 1991.** Genetic improvement of maize yields. *Adv. Agron.* 46:245–298.
- Salinas, M. Y., N. O. Gómez-Montiel, J. E. Cervantes-Martínez, M. Sierra-Macías, A. Palafox-Caballero, E. Betanzos-Mendoza, B. Coutiño-Estrada. 2010.** Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 1:509-523.

- Sánchez, G. J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000.** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54 (1):43–59.
- Santillan, L. A. L., C. A. Reyes-Méndez, S. Castro-Nava, F. Briones-Encina. 2004.** Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:23-26.
- Serna, S. S. O., C. A. Amaya-Guerra. 2008.** El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y la alimentación. *In: Nixtamalización del Maíz a la Tortilla. Aspectos Nutrimientales y Toxicológicos.* M E Rodríguez-García, S O Serna-Saldívar, F Sánchez-Sinencio (eds). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. pp:105-151.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014.** Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en:  
  
[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=207](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=207) (Enero 2015).
- SINAREFI, Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. 2015.** Políticas Públicas Red Maíz/Custodios y Razas/Fichas Técnicas. Disponible en: [http://www.sinarefi.org.mx/basicos\\_maiz.html](http://www.sinarefi.org.mx/basicos_maiz.html) (Enero 2015).
- Sleper, D. A., J. M. Poehlman. 2006.** *Breeding Field Crops.* Fifth Edition. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, E. U. 424 p.
- Tanaka, A., J. Yamaguchi. 1997.** Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Traducido al español por J. Kohashi S. Rama de Botánica, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124 p.

- Turrent, F. A. 1994.** Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH. Publicación Especial No. 12. Chapingo, México. 55 p.
- Valencia, M. S., M. V. Velasco-García, M. Gómez- Cárdenas, M. Ruiz-Muñoz, M. A. Capó-Arteaga. 2006.** Ensayo de procedencias de *Pinus gregii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca alta de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29 (1):27-32.
- Vasic, N. J., M. R. Ivanovic, I. J. Brkic, G. F. Bekavac, Z. I. Zdunic, A. S. Jambrovic. 2006.** Evaluation of maize hybrids containing different proportion of NC298 tropical germplasm line in their male parents. Maydica 51:79-88.
- Vavilov, N. I. 1951.** The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Press Co. New York. 94 p.
- Warburton, M. L., J. C. Reif, M. Frisch, M. Bohn, C. Bedoya, X. C. Xia, J. Crossa, J. Franco, D. Hoisington, K. Pixley, S. Taba, E. Melchinger. 2008.** Genetic diversity in CIMMYT nontemperate maize germplasm: Landraces, open pollinated varieties, and inbred lines. Crop Science. 48:617-624.