



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

## **PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD PROTEÍNICA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ ENTRE LÍNEAS ANDROESTÉRILES QPM**

**CONSUELO LÓPEZ LÓPEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

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

**2016**

La presente tesis titulada: Productividad y calidad proteínica de híbridos de maíz entre líneas androestériles QPM.

Realizada por la alumna: Consuelo López López bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

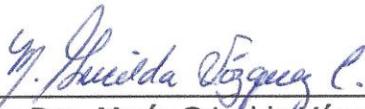
MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENETICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO   
Nombre: Dr. J. Jesús García Zavala

DIRECTOR DE TESIS   
Nombre: Dr. Alejandro Espinosa Calderón

ASESOR   
Nombre: Dra. Margarita Tadeo Robledo

ASESOR   
Nombre: Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo

ASESOR   
Nombre: Dr. Ignacio Benítez Riquelme

ASESOR   
Nombre: Dr. José Alfredo Carrillo Salazar

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por proporcionarme el soporte financiero que permitió llevar a cabo mis estudios de Maestría en Ciencias en el Colegio de Postgraduados en el periodo 2014-2016.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), por facilitar las instalaciones del Campus y Laboratorio de Semillas, las que permitieron desarrollar las evaluaciones experimentales de esta investigación.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: T201215), de la UNAM, por el financiamiento, la realización de los trabajos experimentales en conjunto con personal académico, investigadores y estudiantes.

Al Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX, INIFAP), por las instalaciones prestadas del campo del Programa de Producción de Semillas y del Laboratorio de Maíz, donde se llevaron a cabo los experimentos y análisis de calidad de los materiales de investigación.

A mi consejero Dr. J. Jesús García Zavala, por su valioso apoyo incondicional durante todo el proceso de este proyecto, por sus enseñanzas en clase. Agradezco su guía en estos dos años, asimismo, su confianza

A mi director de tesis Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por su apoyo invaluable, por brindarme ayuda en todo momento, por seguirme permitiendo trabajar con usted, por sus enseñanzas y por mi aprendizaje en campo.

A mi asesora Dra. Margarita Tadeo Robledo, por continuar este trayecto desde licenciatura, por su respaldo incondicional desde entonces, por seguir encaminando mis pasos y permitirme continuar trabajando con usted.

A mi asesora Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo, por permitirme seguir aprendiendo de usted, por sus valiosas aportaciones en cuestiones de calidad de maíz y por alentarme a seguir adelante.

A mi asesor Dr. Ignacio Benítez Riquelme, por su valioso apoyo y su asesoramiento en la conclusión de este proyecto de investigación.

A mi asesor Dr. José Alfredo Carrillo Salazar, por su valioso apoyo para finalizar la última etapa de este proyecto.

A mi Sinodal Dr. Serafín Cruz Izquierdo, por su valiosa colaboración en esta última etapa.

A la I.A María de la Luz Marrufo Díaz, por su colaboración en las determinaciones de calidad proteínica, por sus aportaciones a mi aprendizaje, su apoyo es invaluable.

A la Sra. Dalila, por siempre mostrarnos su apoyo incondicional, resolviendo nuestras dudas académicas, por tenernos paciencia en todo momento, brindarnos ánimos y regalarnos siempre una sonrisa.

A mis compañeros del equipo de Producción de Semillas y Mejoramiento Genético de maíz de la FESC-UNAM Campo 4, Israel Arteaga Escamilla, Beatriz Martínez Yáñez, Enrique Canales Islas, Alma Lili Cárdenas Marcelo, Dr. Joob Zaragoza Esparza, Benjamín Martínez Núñez y Karina Yazmine Mora García, por su ayuda en los trabajos de campo y laboratorio, su colaboración fue muy importante. Para ustedes mi reconocimiento y amistad.

Al equipo de trabajo de Producción de Semillas de CEVAMEX, por su inigualable apoyo en todas las actividades realizadas en los experimentos de maíz.

## DEDICATORIA

*A mi madre por darme su amor en cada abrazo, su confianza, paciencia, tiempo y esfuerzo. Por tu fe en mí en todo momento. Este logro es para ti.*

*A mi padre por brindarme su confianza, por enseñarme desde pequeña a ser independiente y hacer de mí una buena persona.*

*A mis hermanos, por su tiempo, sus enseñanzas y por protegerme siempre.*

*A mis sobrinos por regalarme tantos abrazos y sonrisas, mi esfuerzo para ellos.*

*A mis amigos de la Universidad, gracias por estar y seguir estando conmigo.*

*A mis amigos de la Maestría, gracias por brindarme su amistad, es un honor contar con ustedes.*

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL SUMMARY	3
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>4</b>
Objetivo	8
Hipótesis	8
<b>CAPÍTULO II. PRODUCTIVIDAD DE CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ DE CALIDAD PROTEÍNICA (QPM)</b>	<b>9</b>
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Materiales y métodos	13
Resultados y discusión	16
Conclusiones	22
Literatura citada	23
<b>CAPÍTULO III. RENDIMIENTO, CALIDAD COMERCIAL Y PROTEÍNICA DE CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ QPM PARA LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO</b>	<b>26</b>
Resumen	26
Abstract	28
Introducción	29

Materiales y métodos	33
Resultados y discusión	36
Conclusiones	43
Literatura citada	44
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL</b>	49
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES</b>	52
<b>CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL</b>	53
<b>ANEXOS</b>	57

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Capítulo II</b>		<b>Página</b>
<b>Cuadro 2.1.</b>	Genealogía de líneas androestériles QPM. Líneas élite QPM e híbridos trilineales evaluados.	14
<b>Cuadro 2.2</b>	Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado para diversas variables de cruzas simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	16
<b>Cuadro 2.3</b>	Correlación de Pearson entre diversas variables de cruzas simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	22
<b>Capítulo III</b>		
<b>Cuadro 3.1</b>	Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado de variables físicas y de calidad del grano de cruzas simples QPM y testigos comerciales de maíz, en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	37
<b>Cuadro 3.2</b>	Contenido de proteína y aminoácidos en grano de maíz entero de líneas élite QPM.	38
<b>Cuadro 3.3</b>	Calidad comercial y proteínica de cruzas simples y testigos comerciales de maíz, promedio de dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	39
<b>Cuadro 3.4</b>	Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruzas simples de maíz y testigos comerciales, en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	41

<b>Cuadro 3.5</b>	Contenido de proteína y de aminoácidos esenciales en grano de maíz entero de cruzas simples QPM y testigos comerciales evaluados en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.	43
-------------------	---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Capítulo II</b>		<b>Página</b>
<b>Figura 2.1</b>	Temperatura máxima y mínima mensual, y precipitación mensual durante el ciclo de cultivo de 20 híbridos en dos localidades de Valles Altos. 2014.	17
<b>Figura 2.2</b>	Rendimiento de grano de cruzas simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05, DMS= 1150).	19
<b>Figura 2.3</b>	Floración masculina (FM) de cruzas simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05, DMS= 2.3).	20

## ANEXOS

		Página
<b>1 A</b>	Comparación de medias para rendimiento y otras variables de cruzas simples de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. FESC-UNAM, 2014.	57
<b>2 A</b>	Comparación de medias para rendimiento y otras variables de cruzas simples de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. CEVAMEX-INIFAP, 2014.	58
<b>3 A</b>	Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruzas simples y testigos comerciales de grano de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. FESC-UNAM, 2014.	59
<b>4 A</b>	Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruzas simples y testigos comerciales de grano de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. CEVAMEX-INIFAP, 2014.	60

**PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD PROTEÍNICA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ ENTRE  
LÍNEAS ANDROESTÉRILES QPM**

**M. C. Consuelo López López.**

**Colegio de Postgraduados, 2016**

**RESUMEN GENERAL**

Los híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de buen potencial productivo y calidad proteínica constituyen una alternativa alimentaria para beneficiar la nutrición de la población mexicana que depende del consumo de tortilla como su principal fuente de alimentación. El objetivo de este trabajo fue comparar el potencial de rendimiento, la respuesta agronómica, calidad comercial y proteínica de los granos de 18 cruza simples de maíz de calidad proteínica (QPM) androestériles con el grano de híbridos normales sobresalientes. Los materiales genéticos se cultivaron y evaluaron durante el ciclo primavera verano de 2014 en terrenos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) y del (Campo Experimental del Valle de México) CEVAMEX-INIFAP, ambas localidades ubicadas en los Valles Altos de México. Los materiales se evaluaron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental fue un surco de 5 m de largo y 80 cm de ancho con 24 plantas, equivalente a 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las variables evaluadas para rendimiento y comportamiento agronómico de los materiales fueron rendimiento de grano, días a floración masculina, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, número total de hileras y granos por mazorca, así como número total de granos por mazorca. Para determinar la calidad comercial y proteínica del grano, las variables fueron peso hectolítrico (PH), peso de cien granos (PCG), índice de flotación (IF), así como: proteína, triptófano (TRP) y lisina (LIS). La mejor combinación de potencial productivo, calidad comercial y proteínica se encontró en las cruza simples experimentales LAEQ5 x CLM 354 y LAEQ4 x CLM 173 con rendimientos mayores a 8.0 t ha<sup>-1</sup>, una floración masculina intermedia (82 días) la cual permite conformar híbridos trilineales para siembras de punta de riego o buen temporal y mejor calidad en promedio de localidades. En ambas localidades los granos de las dos cruza

sobresalientes por su rendimiento, fueron de tamaño y dureza intermedia, con: PCG > 32 g, peso hectolítrico >74 kg hL<sup>-1</sup> e IF > 40 % de granos flotantes, por lo que son adecuados para la industria de masa-tortilla. Por su contenido de TRP (> 0.75 %) y LIS (> 3.35 %) son maíces QPM.

Por lo anterior estos materiales se podrían canalizar a la industria de masa-tortillas para elaborar tortillas con mayor valor nutricional para la población y aminorar así el problema de desnutrición que impera en millones de mexicanos. Por lo anterior, estos materiales se podrían canalizar a la industria de la nixtamalización para elaborar tortillas con mayor valor nutrimental

**Palabras clave:** *Zea mays*, androesterilidad, calidad proteínica, cruza simple, Valles Altos.

# **PRODUCTIVITY AND QUALITY PROTEIN IN MAIZE HYBRIDS BETWEEN INBRED LINES WITH MALE STERILE QPM**

## **GENERAL SUMMARY**

Maize hybrids (*Zea mays* L.) with good grain yield potential and quality protein constitute an alternative food to benefit the nutrition of the Mexican population that depends on the consumption of tortilla as their main source of food. The objective of this study was to compare the potential yield, agronomic response, and commercial and protein quality of the grains of 18 single crosses of quality protein maize (QPM) with male sterile in comparison to outstanding maize hybrids with normal grain. The genotypes were cultivated and evaluated during the spring summer season of 2014 at the Faculty of Superior Studios Cuautitlán (FESC-UNAM) and at The Experimental Station Valley of Mexico (CEVAMEX-INIFAP), both located in the High Valleys of Mexico. A Randomized Complete Block Design was used, with three replicates, where the experimental plot was a row 5 m long and 80 cm wide with 24 plants, equivalent to 65,000 plants ha<sup>-1</sup>. Data were taken for grain yield, days to pollen-shed, plant height, ear height, length of ear, total number of rows and grains per ear, as well as total number of grains per ear. To determine the commercial quality and protein of the grain, the variables were hectoliter weight (PH), weight of 100 grains (PCG), float index (IF), as well as: protein, tryptophan (TRP) and lysine (LYS). The best combination of potential productive, quality commercial and protein was found in the experimental single crosses LAEQ5 x CLM 354 and LAEQ4 x CLM 173 with yields higher than 8.0 t ha<sup>-1</sup>, an intermediate pollen-shed of 82 days which allows form trilinear hybrids for sowings of tip of irrigation or good rainfall conditions across the sites. In both locations the grains of the two outstanding crosses by its good performance were of size and hardness intermediate, with: PCG > 32 g, weight hectoliter > 74 kg hL<sup>-1</sup> and IF > 40% of grains floating, by what are appropriate for it industry of masa-tortilla. By its content of TRP (> 0.75%) and LIS (> 3.35%) are maize QPM. Therefore, these materials could be used by the masa-tortilla industries to make tortillas with greater nutritional value for the population and thus lessen the problem of malnutrition prevailing in millions of

Mexicans. In consequence, these materials could be used by industry of the nixtamalization for elaborate tortillas with greater value nutrition.

**keywords:** *Zea mays*, male sterility, quality protein, maize single crosses, High Valleys.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es el más importante al concentrar la mayor superficie sembrada 7.5 millones de hectáreas y la mayor producción cosechada (23.3 millones de t) con respecto a otros cultivos (FAOSTAT, 2014). Para la mayoría de los mexicanos, el maíz es el ingrediente fundamental de su dieta y una de las principales fuentes de energía (Fernández *et al.*, 2013), sobre todo en sectores sociales rurales o marginados. Su importancia social y económica es relevante, pues su producción se realiza en un número de países superior al de cualquier otro cultivo, además de ser fuente de empleo, de materia prima para la industria y de alimento para millones de personas en el mundo (FIRA, 2015).

A pesar de la importancia del maíz en México, en el país sólo se producen en promedio 22.1 millones de toneladas de grano cada año y se importan 10 millones de toneladas para cubrir la demanda aparente. Dado que el maíz es el pilar de la alimentación de los mexicanos, lo que ocurra con este cultivo repercutirá socioeconómicamente en el país, ya que su principal derivado, la tortilla, es el alimento básico y preponderante de la población.

En el año 2013, en la región de los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm), se tuvo un rendimiento promedio de 2.7 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2013), lo que se considera, por unidad de superficie, como baja. Se suma la presión de que cada vez la superficie para el cultivo es menor y la demanda del grano de maíz sigue en aumento (Virgen *et al.*, 2016).

Aunado a la baja producción de maíz por superficie, en México existen 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales más del 50 % la padecen de manera severa y crónica (indígenas y población urbana de bajos ingresos) (Sierra *et al.*, 2010). Además del incremento en la producción por unidad de superficie, se tiene como complemento para contrarrestar esta desnutrición, la inclusión de maíces de calidad proteínica, denominados QPM (por sus siglas en inglés de Quality Protein Maize), los cuales fueron derivados del aprovechamiento del gen mutante *opaque-2* (*opaco-2*), procedente de Perú, descubierto en 1963 por Mertz, Bates y Nelson, de la universidad estadounidense de Purdue (Mertz *et al.*, 1964). El gen *opaco-2* es una mutación en un *loci* del brazo corto del cromosoma siete, su herencia es mendeliana simple y regula negativamente la transcripción de la zeína (Zarkadas *et al.*, 2000), el cual en condición homocigótica recesiva (Mertz, 1994) expresa la misma cantidad total de proteínas, pero con contenidos de 60 a 100 % más de lisina y triptófano que los maíces comunes, también se duplica su digestibilidad y su valor biológico (Paredes *et al.*, 2008-2009).

En un principio y no obstante el nivel nutritivo del grano del maíz opaco, el interés por el maíz QPM se vio disminuido debido a efectos pleiotrópicos del alelo *o2* en condición homocigótica expresa caracteres agronómicos indeseables como un bajo rendimiento de grano y susceptibilidad a plagas y enfermedades, debido a su tipo de endospermo: el cual se caracteriza por tener textura, suave, harinosa, nutritiva, y de baja densidad. Todo lo anterior ha provocó una baja o casi nula aceptación por parte del productor y del consumidor. No obstante, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se continuaron los trabajos con los maíces QPM. Los investigadores Vasal y Villegas, mediante mejoramiento convencional, lograron superar los defectos del gen *opaco-2* y mantuvieron una calidad nutricional aportado por el gen: estos investigadores lograron convertir los granos con endospermo suave y harinoso en granos duros, y aumentaron el potencial de rendimiento del maíz QPM al mismo nivel de los mejores maíces normales. Además, le confirieron resistencia a enfermedades e insectos y cualidades de almacenamiento y utilización semejantes a las de los mejores maíces normales (Vasal *et al.*, 1980). El nuevo maíz *opaco-2* obtenido tiene apariencia y sabor semejantes a los maíces normales, desde entonces, a esta nueva versión se

llamó maíz de calidad proteínica (QPM). Por esta aportación Vasal y Villegas fueron acreedores al Premio Mundial de Alimentación.

No obstante, la calidad que otorga el gen *o2*, la calidad de los granos de maíz es altamente influenciada por el ambiente, Por ejemplo, las temperaturas altas y bajas durante el período de llenado de grano afectan su tamaño, la deficiencia de lluvia Vázquez *et al.* (2012a). El agua es uno los factores ambientales que tiene más influencia en el grano. Se han encontrado cambios en la proporción de endospermo harinoso y córneo en el grano, con tendencia a ser harinoso cuando existe mayor disponibilidad de agua (Zepeda *et al.*, 2009). Salazar *et al.* (2009) encontraron que el peso del grano de maíz está influenciado en 80 % por el ambiente. A una mayor lámina de riego, el peso del grano se incrementa cuando hay mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, mientras que el peso del grano disminuye con una menor lámina de riego y un incremento en el nivel de nitrógeno (Salazar *et al.*, 2015).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), llevaron a cabo diversos proyectos en torno a los maíces QPM en diferentes regiones de México; las líneas de investigación abarcaron el mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y animal, así como su calidad para diferentes procesos industriales. En los años 1999 y 2000, los resultados de esas actividades se vieron reflejados con la inscripción de más de 30 híbridos y variedades QPM ante el Catalogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) (Espinosa *et al.*, 2005).

Los primeros maíces QPM que se liberaron fueron los adaptados a regiones tropicales y subtropicales, que rinden de 7 a 13 t ha<sup>-1</sup> (Melesio *et al.*, 2008). Posteriormente se desarrollaron híbridos de maíces QPM para clima templado de altura, como los Valles Altos de México, a fin de elevar el rendimiento y mejorar la calidad de las tortillas que con ellos se elaboren, y así también favorecer la nutrición humana, en especial en los sectores más desprotegidos (Vázquez *et al.*, 2012a).

En los Valles Altos de México no se siembran de manera comercial variedades mejoradas ni híbridos de maíz QPM, por la escasa disponibilidad de ellos, o por su poca difusión, o porque no existen políticas gubernamentales para su consumo masivo. Con base en los antecedentes, y ante la creciente demanda por la población de alimentos nutritivos e inocuos, los esfuerzos actuales de diversos fitomejoradores mexicanos se concentran en lograr la obtención de híbridos que tengan alto rendimiento y grano de alta calidad proteínica, ya que estos representan una alternativa viable para contrarrestar la desnutrición y aumentar la productividad. Con ello se evitaría la importación de varios millones de toneladas de maíz poco nutritivo. En adición, la generación de híbridos que presenten características agronómicas, productividad, y calidades nutricionales sobresalientes en condiciones templadas como las de los Valles Altos de México, permitirán un mejor aprovechamiento del grano.

Por otro lado, la producción comercial de semilla de híbridos de maíz requiere de desespigamiento oportuno y adecuado de la línea hembra para obtener semilla de alta calidad y con identidad genética; esta actividad es manual e involucra de 24 a 50 jornales/ha, lo que eleva los costos de producción (Tadeo *et al.*, 2014 a; Tadeo *et al.*, 2014 b). Al respecto, el empleo de la androesterilidad puede ser una opción viable para la obtención de semilla híbrida de buena calidad genética pero más barata (Tadeo *et al.*, 2014 b). La utilización de diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica es una oportunidad para la producción comercial de híbridos, pues al emplear líneas androestériles como progenitores femeninos (Stamp *et al.*, 2000) se reducen los costos y el esfuerzo por eliminar la necesidad de desespigar.

En México, desde 1992 la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) ha desarrollado líneas, variedades e híbridos (cruzas simples y trilineales) de maíz, por lo que se cuenta con líneas progenitoras de híbridos androestériles que a partir del año 2009 se han convertido a la versión de calidad proteínica mediante mejoramiento genético convencional. A partir de tales materiales y de líneas élite se formaron híbridos experimentales con el propósito de mejorar la composición nutricional del

grano de maíz, en cuyo endospermo se acumula 75 % de almidón y 15 % de proteínas que el ser humano necesita (Manicacci *et al.*, 2009).

### **1.1 OBJETIVOS GENERALES**

Determinar el rendimiento de grano de cruzas simples de maíz androestéril QPM, con el propósito de definir la perspectiva de sus líneas progenitoras y su probable ventaja con respecto a híbridos sobresalientes de grano normal para su integración a programas de producción de semilla de híbridos simples y trilineales de maíz.

Determinar el valor nutricional del grano de cruzas simples experimentales de maíz QPM con base en la calidad proteínica de su grano y sus características comerciales en relación con el comportamiento de dos testigos comerciales de grano normal para Valles Altos de México.

### **1.2. HIPÓTESIS GENERALES**

Se estableció como hipótesis que al evaluar los materiales experimentales de cruzas simples QPM en dos localidades de Valles Altos existirán diferencias entre ellas y los testigos por su comportamiento agronómico diferencial en rendimiento, calidad comercial y proteínica

Existirán diferencias entre las cruzas simples evaluadas y los dos híbridos trilineales comerciales de endospermo normal utilizados como testigos.

## CAPÍTULO II. PRODUCTIVIDAD DE CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ DE CALIDAD PROTEÍNICA (QPM)

### 2.1. RESUMEN

La incorporación de androesterilidad en genotipos de Calidad Proteínica de Maíz (QPM) (*Zea mays* L.) facilita la producción de semilla en maíces con calidad proteínica además de otorgar de ventajas agronómicas. En el ciclo primavera verano de 2014 se establecieron experimentos en Cuautitlán Izcalli y Santa Lucía de Prías, Texcoco, ambas localidades ubicadas en el Estado de México, para determinar la productividad de cruzas simples de maíz entre seis líneas androestériles y tres líneas élite, todas ellas QPM. Se evaluaron 18 cruzas simples y los híbridos trilineales H 47 AE y TSIRI PUMA de endospermo normal como testigos, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se estimó el rendimiento de grano, días a floración masculina, altura de planta y mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y número de granos por mazorca. En ambas localidades las mejores cruzas simples de maíz de calidad proteínica (QPM) fueron LAEQ5 x CML 354, LAEQ4 x CML 173 y LAEQ3 x CML 173, con rendimientos mayores a 8.0 t ha<sup>-1</sup>, superando el rendimiento de los testigos comerciales de 43 a 57 %. Estas cruzas podrían participar en la conformación de híbridos trilineales superiores al combinarlas con una tercera línea para generar híbridos trilineales. Por su participación en las cruzas superiores, las mejores líneas androestériles QPM fueron LAEQ3, LAEQ4, y LAEQ5, mientras que las mejores líneas élite QPM fueron CML 173 y CML 354.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., androesterilidad, calidad proteínica, híbridos, rendimiento.

## PRODUCTIVITY OF SINGLE CROSSES OF QUALITY PROTEIN MAIZE (QPM)

### 2.2. ABSTRACT

The incorporation of male sterility on Quality Protein Maize (QPM) genotypes (*Zea mays* L.) facilitates the seed production and offers a grain of corn with better quality protein along with agronomic advantages. In the season Spring-Summer of 2014 experiments were planted in Cuautitlan Izcalli and Santa Lucía de Prias, Texcoco, State of Mexico, to determine the productivity of single crosses of maize between six male-sterile inbred lines and three elite inbred lines, all of them being QPM. The experiment included 18 single crosses and two maize three-way hybrids H 47 AE and TSIRI PUMA of normal quality as checks. A Randomized Complete Block Design with three replications was used. Data for grain yield, days to pollen-shed, plant height and ear height, number of rows per ear, grains per row and number of grains per ear were registered. The best single crosses with quality protein maize (QPM) were LAEQ5 x CML 354, LAEQ4 CML 173 and LAEQ3 x CML 173 in both locations, with yields greater than 8.0 t ha<sup>-1</sup>, outstanding the performance of the commercial checks in 43 to 57 %. These crosses could participate in the conformation of three-way hybrids by combining them with a third inbred line as progenitor that generates a good hybrid. For their participation in the top crosses, the best QPM male sterile inbred lines were LAEQ3, LAEQ4, and LAEQ5, while the best QPM elite lines were CML 173 and CML 354.

**Key words:** *Zea mays* , male sterility, protein quality, hybrids, grain yield.

## 2.3. INTRODUCCIÓN

En México el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el más importante, pues concentra la mayor superficie sembrada (7.5 millones de hectáreas) y es el componente básico de la dieta de la mayoría de la población. Sin embargo, en el país sólo se producen 22.1 millones de toneladas de grano de maíz cada año y se importan 10 millones de toneladas para cubrir la demanda aparente. Dado que el maíz es el pilar de la alimentación de los mexicanos, lo que ocurre con este cultivo repercute socioeconómicamente en el país, ya que su principal derivado, la tortilla, es el alimento básico y preponderante de la población.

En el año 2013, en la región de los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm) se sembraron dos millones de hectáreas de maíz (26.6 % de la superficie nacional sembrada con esta especie) con un rendimiento promedio de 2.7 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2013). Con base en la magnitud de este rendimiento promedio, se puede decir que la producción por unidad de superficie es baja y se requiere incrementarla, pues cada vez la superficie para el cultivo es menor y la demanda sigue en aumento (Virgen *et al.*, 2016). Aunado a la baja producción de maíz por superficie, en México existen 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales más del 50 % la padecen de manera severa y crónica (indígenas y población urbana de bajos ingresos) (Sierra *et al.*, 2010).

La mayoría de los cereales, entre ellos el maíz, tienen una proteína con reducida calidad proteínica, debido a la limitada disponibilidad de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. No obstante, para contrarrestar la desnutrición, existen maíces de calidad proteínica, denominados QPM por sus siglas en inglés de Quality Protein Maize. Estos maíces fueron derivados del aprovechamiento del gen mutante *opaque-2* (*opaco-2*), procedente de Perú, descubierto en 1963 por Mertz, Bates y Nelson, de la universidad estadounidense de Purdue (Mertz *et al.*, 1964), el cual en condición homocigótica recesiva (Mertz, 1994) expresa la misma cantidad total de proteínas, pero

con contenidos de hasta 100 % más de lisina y triptófano que los maíces comunes, aunque por su reducido rendimiento en campo, peso de grano y endospermo harinoso además de ser fácilmente atacados por las plagas (Mertz, 1994; Espinosa *et al.*, 2005).

Vasal *et al.*, (1980), mediante técnicas de mejoramiento convencional lograron incorporar genes modificadores al maíz *opaco-2*; estos genes producen en el endospermo opaco una textura similar a la del maíz normal y mantienen la buena calidad de su proteína, pero con una alta calidad proteínica en el grano. Así, en la década de los años ochenta se obtuvieron los Maíces de Calidad Proteínica (QPM) sin las desventajas iniciales, con textura de grano más dura que el maíz opaco y de apariencia común o normal (Vasal, 2004).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), llevó a cabo ocho trabajos de investigación con maíces QPM en diferentes regiones de México con la participación de más de 60 especialistas, cuyas líneas fueron: mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, forrajes, plagas de granos almacenados, manejo agronómico, transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y dieta de animales, y análisis de la calidad. Producto de estas actividades, en 1999 y 2000 se inscribieron ante el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación (CVC), ahora Catalogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) más de treinta híbridos y variedades (Espinosa *et al.*, 2005).

Por otro lado, la producción comercial de semilla de híbridos de maíz requiere de desespigamiento oportuno y adecuado de la línea hembra para obtener semilla de alta calidad y con identidad genética; esta actividad es manual e involucra de 24 a 50 jornales/ha, lo que eleva los costos de producción (Tadeo *et al.*, 2014a; Tadeo *et al.*, 2014b). Al respecto, el empleo de la androesterilidad puede ser una opción viable para la obtención de semilla híbrida de buena calidad genética, pero más barata (Tadeo *et al.*, 2014b). La utilización de diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica es una oportunidad para la producción comercial de híbridos, pues al

emplear líneas androestériles como progenitores femeninos (Stamp *et al.*, 2000) se reducen los costos y el esfuerzo por eliminar la necesidad de desespigar.

En México, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) se han desarrollado líneas, variedades e híbridos (cruzas simples y trilineales) de maíz. En el caso de las líneas progenitoras de híbridos se cuenta con las versiones que poseen la característica de androesterilidad, a las cuales también se les ha incorporado el gen *opaco-2* para lograr la Calidad Proteínica (QPM).

En los Valles Altos de México no se siembran, de manera comercial, por no estar disponibles o por su baja aceptación o desconocimiento, variedades mejoradas ni híbridos de maíz con alta calidad proteínica, por lo que en esta investigación se tuvo como objetivo determinar la productividad de 18 cruzas simples entre seis líneas androestériles y tres líneas élite, todas ellas QPM, con el propósito de definir la perspectiva de estas líneas y su probable ventaja para su integración a programas de mejoramiento genético de maíz por hibridación. Se estableció como hipótesis que al evaluar los materiales en dos localidades de Valles Altos existen diferencias entre las cruzas simples QPM para su comportamiento agronómico y que también hay diferencias entre ellas y los dos híbridos trilineales comerciales de calidad normal utilizados como testigos.

## **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este estudio los materiales evaluados fueron 18 híbridos simples de maíz QPM y los híbridos trilineales H53 AE y TSIRI PUMA de endospermo normal como testigos. Los híbridos simples son cruzas entre 6 líneas androestériles QPM (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 y LAEQ6) y 3 líneas élite QPM (CML 173, CML 354 y CML 352) (Cuadro 2.1). Los experimentos se establecieron en el ciclo primavera verano 2014 en dos localidades. La primera, ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (19° 41' LN, 99°11' LO, altitud de 2274 m), cuyo suelo es de textura

franco arcillosa. La otra correspondió a Santa Lucía de Prías, Coatlínchán, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 27' LN, 98° 51' LO, 2240 m de altitud), con suelo de textura franco arenosa.

**Cuadro 2.1. Genealogía de líneas androestériles QPM y de líneas élite QPM progenitoras de las cruzas simples evaluadas. Incluye testigos comerciales.**

<b>Líneas androestériles QPM</b>
1. (AE (242 AE x 242 F) x CML 524 x CML 524 x CML 524)
2. (AE (UIA 244 x 244 F) x CML 525 x CML 525 x CML 525)
3. (AE (241 AE x 241) 241 F x CML 526 x CML 526 x CML 526)
4. (AE (241 AE x 239) x 239 x CML527 x CML 527 x CML 527)
5. (AE (242 AE x 246) x CML 528 x CML 528 x CML 528)
6. (AE (242 AE x 246) x CML 526 x CML 526 x CML 526)

<b>Líneas élite QPM</b>
1. CML 173
2. CML 354
3. CML352

<b>Híbridos trilineales (testigos)</b>
1. PROSPECTO AE3
2. TSIRI PUMA

En ambas localidades los genotipos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se utilizó una densidad de población de 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>, donde la parcela experimental consistió de un surco de 5 m de largo por 80 cm de ancho con 24 matas de 2 plantas.

La preparación del terreno consistió en: un paso de arado, dos de rastra, nivelación y surcado. La siembra se efectuó en junio de 2014 en ambas localidades. En Santa Lucía se aplicó riego en la siembra y posteriormente se aplicaron dos riegos de auxilio. En Cuautitlán únicamente se aplicó un riego a la siembra, después el ciclo tuvo humedad

de la precipitación pluvial. La cosecha en las dos localidades se hizo en diciembre de 2014. Cabe mencionar que durante el ciclo de cultivo en Santa Lucía ocurrieron dos granizadas previo a la floración masculina. Los datos climatológicos (temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial) se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la FESC-UNAM y de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las variables estudiadas fueron: floración masculina (FM, días), cuando aparecieron el 50 % de las espigas por surco; altura de planta (AP, cm) y de mazorca (AM, cm) en 5 a 10 plantas elegidas al azar, midiéndose la distancia desde la base de la planta hasta el ápice de la espiga (AP) y desde la base de la planta hasta el nudo de la mazorca superior (AM). En la cosecha, en otras 5 a 10 plantas se tomó el peso de campo (PC, kg) como el peso total de las mazorcas. Luego en cada mazorca se contó el número de hileras (HM) y el número de granos por hilera (GH). El número de granos por mazorca (GM) fue el producto del promedio de hileras de cada mazorca por el promedio de granos por hilera. Posteriormente, se desgranaron las mazorcas y se determinó el porcentaje de humedad de grano en un determinador Stenlite (marca Burrows, modelo 700). El rendimiento de grano (REND): se obtuvo con la fórmula:  $\text{Rendimiento} = (\text{PC} \times \text{MS} \times \text{PG} \times \text{FC}) / 8600$

Donde: PC: Peso de campo de las mazorcas (kg) cosechadas de cada parcela; MS: Porcentaje de materia seca, obtenido mediante la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad obtenido del aparato Stenlite; PG: Porcentaje de grano, que es el promedio de la relación entre el peso de grano y el peso de mazorca desprovista de brácteas (de cinco mazorcas), multiplicado por 100; FC: Factor de conversión, que se obtiene al dividir 10000 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup>; 8600: Constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial del 14 %.

Se realizó un análisis de varianza combinado de las dos localidades y también se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para cada una de las variables; ambos procedimientos se hicieron mediante el paquete SAS (SAS Institute, 2002).

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis combinado de varianza (Cuadro 2.2) detectó alta significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes (A), entre genotipos (G), y en la interacción (A x G) para todas las variables. Los valores del coeficiente de variación oscilaron de 1 % (FM) a 9 % (REND), lo cual indica un control aceptable (<20 %) de la variabilidad experimental. Estos resultados sugieren que existe variación genética entre las cruza que puede ser útil en un programa de mejoramiento de maíz QPM por hibridación.

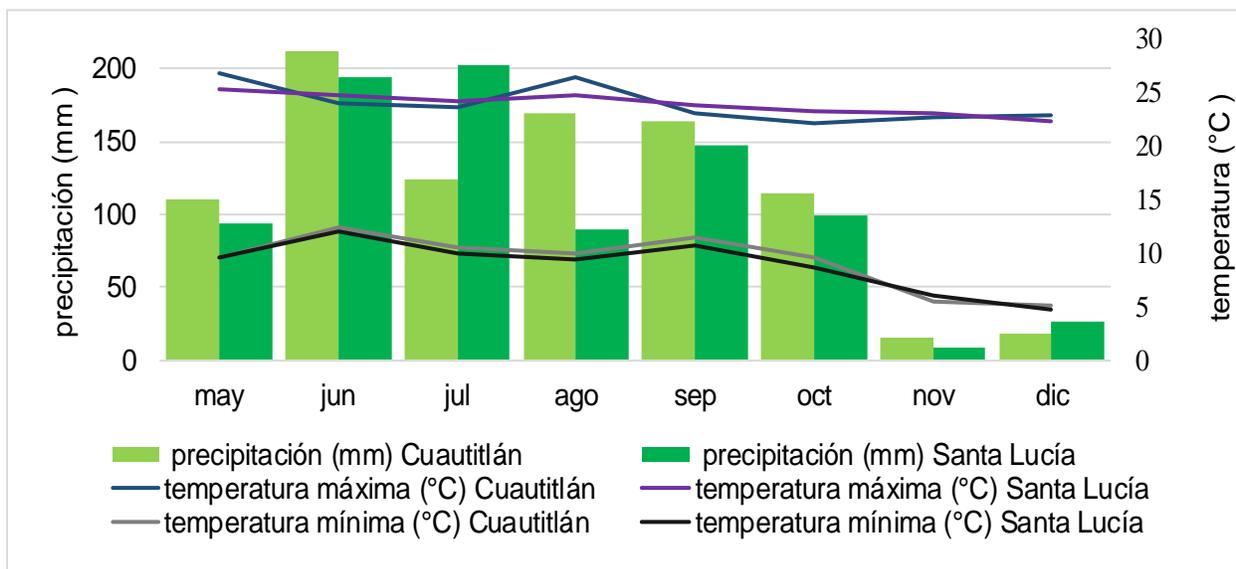
**Cuadro 2.2. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado para diversas variables de cruza simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

FV	GL	REND	FM	AP	AM	LM	HM	GH	GM
Ambiente (A)	1	135342623**	2015**	52125**	3255**	173**	36**	68**	92130**
Genotipo (G)	19	10192329**	26**	979**	278**	12.3**	5**	38.5**	13352**
A x G	19	4372056**	9.1**	592.1**	97**	5.6**	1.7**	20.1**	7543**
Error	76	211790	0.74	91.4	5.4	0.7	0.43	1.65	1488
Media		5875	83	227	100	16	15	31	476
CV (%)		9	1	4	2	5	4	4	8

Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*), al 0.05 de probabilidad (\*); FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad; REND: Rendimiento de grano; FM: Floración masculina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LM: Longitud de mazorca; HM: Hileras de la mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca; CV: Coeficiente de variación.

Con respecto al ambiente y sus efectos sobre los materiales, la lluvia registrada de la siembra a la cosecha fue de 825 mm en Cuautitlán, y de 723 mm en Santa Lucía, lluvia que estuvo distribuida irregularmente (Figura 2.1). La variación de temperatura máxima y mínima en ambos ambientes fue muy poca (0.5 a 1 °C). La temperatura máxima en Cuautitlán ocurrió en agosto, alcanzando 26.4 °C, mientras que en Santa Lucía la temperatura máxima (25 °C) se presentó en los meses de junio y agosto, coincidiendo con la siembra e inicio de la floración, respectivamente. Asimismo, en Santa Lucía se

presentó caída de granizo en la primera y segunda semanas de agosto, por lo que afectó al cultivo en días previos y durante el inicio de floración. No obstante, este contratiempo, la planta contaba con buena área foliar, permitiendo que el cultivo se recuperara, aunque con efectos adversos.



**Figura 2.1. Temperatura máxima y mínima mensual, y precipitación mensual durante el ciclo de cultivo de 20 híbridos en dos localidades de Valles Altos. 2014.**

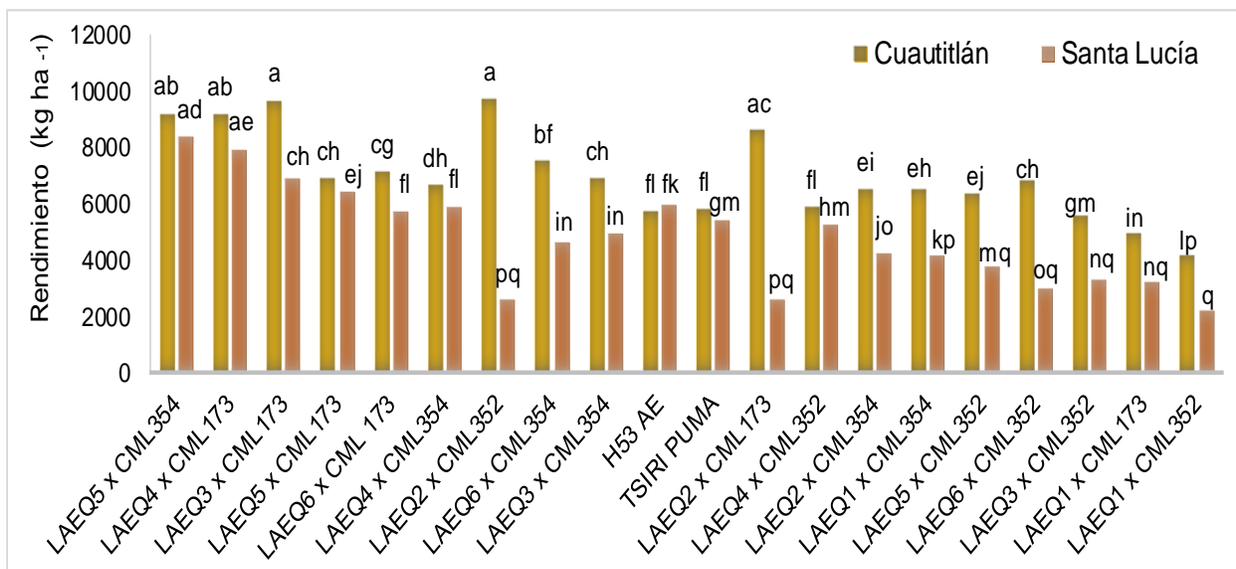
Con respecto al comportamiento de las cruzas simples en promedio de ambientes, su rendimiento en Cuautitlán tuvo una media de  $7000 \text{ kg ha}^{-1}$ , siendo superior ( $p \leq 0.05$ ) al de Santa Lucía, cuya media fue de  $4800 \text{ kg ha}^{-1}$ . El rendimiento de grano en Santa Lucía se redujo 30 % debido a la ocurrencia de dos granizadas fuertes que provocaron daño al área foliar fotosintéticamente activa. Además, hubo una diferencia de 100 mm de precipitación entre ambas localidades, siendo está a favor de Cuautitlán.

El rendimiento máximo en promedio de las dos localidades correspondió a la craza LAEQ5 x CML354 ( $8780 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mientras que el menor rendimiento lo tuvo la craza LAEQ1 x CML352, con  $3160 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2.2). En Cuautitlán las cruzas con mayor rendimiento promedio fueron LAEQ5 x CML354, LAEQ4 x CML173 y LAEQ3 x CML173, cuyo valor fue de  $9340 \text{ kg ha}^{-1}$ , siendo este un rendimiento muy similar ( $9.3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) al obtenido por Torres *et al.* (2011) en una evaluación de híbridos trilineales. Por lo anterior, a estas cruzas más rendidoras en Cuautitlán se les puede reconocer

como materiales altamente promisorios para propósitos de fitomejoramiento, al aprovecharlas como hembras en la formación de híbridos trilineales. En Santa Lucía las cruzas con mayor rendimiento promedio también fueron LAEQ5 x CML 354, LAQ4 x CML 173 y LAEQ3 x CML 173 con rendimientos próximos a 8.0 t ha<sup>-1</sup>. Cabe mencionar que los rendimientos obtenidos en Cuautitlán reflejan el valor que potencialmente pueden expresar estas cruzas en el ciclo primavera-verano, debido a que en este ambiente no existieron condiciones ambientales desfavorables que afectaran al cultivo.

El 50 % de las cruzas simples presentaron un rendimiento promedio experimental superior al de los testigos y al promedio general (5875 kg ha<sup>-1</sup>), por lo que puede decirse que estas cruzas son de buena productividad, debido a que produjeron rendimientos semejantes a los de híbridos comerciales, como el H 40, H 44, H 52, H 66, H 70 (híbridos desarrollados por INIFAP) y BUHO (desarrollado por Asgrow), los cuales tienen rendimientos que van de 5.5 a 8.9 t ha<sup>-1</sup> (Rivas *et al.*, 2011).

Por otro lado, se observó un rendimiento similar entre las cruzas que se ubicaron en los primeros grupos de significancia de cada localidad, lo que podría deberse a que en su formación dos progenitores machos fueron los mismos (líneas élite CML 173 y CML 354), participando cada uno cuatro veces en las mejores cruzas según su rendimiento. También se observó que los híbridos trilineales testigo presentaron valores inferiores a la media general, y por lo tanto la mitad de las cruzas simples fueron superiores a los mismos, lo que pone de manifiesto otra vez la importancia del material evaluado en programas de mejoramiento de maíz QPM hibridación.



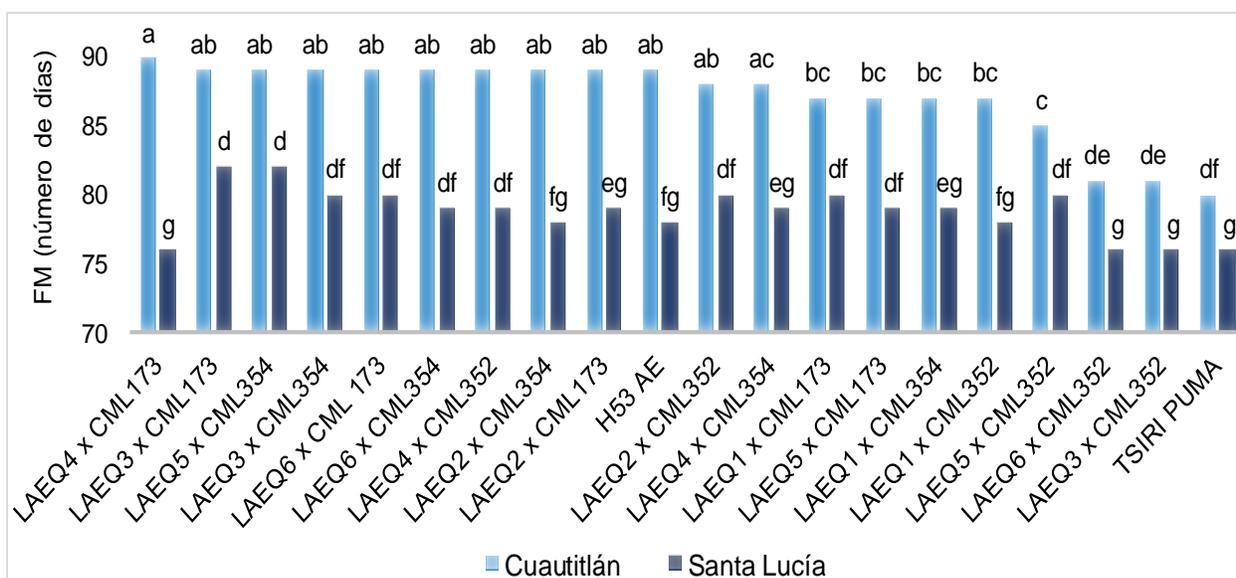
**Figura 2.2. Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) de cruza simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05, DMS= 1150).**

La floración masculina presentó diferencia estadística entre ambientes, siendo los genotipos en Cuautitlán más tardíos por ocho días (87 días) con respecto a los genotipos en Santa Lucía (79 días). En Cuautitlán, la floración masculina comenzó a los 81 días en algunas cruza, y las más tardías iniciaron una semana después; el híbrido trilineal TSIRI PUMA fue el genotipo más precoz (80 días). Las cruza que tuvieron a la línea élite CML 173 como macho fueron las más tardías, de 87 a 90 días, y se encontró que el 55 % de las cruza simples presentaron floración tardía (Figura 2.3). Lo anterior podría explicarse en el hecho de que la línea CML 173 es de origen Subtropical (Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2010) y por lo tanto tardía.

En Santa Lucía la floración masculina de los materiales ocurrió entre los 76 y 82 días. El híbrido TSIRI PUMA y las cruza LAEQ6 x CML352 y LAEQ3 x CML352 presentaron mayor precocidad (76 días), mientras que algunas cruza comenzaron a florear a partir del día 78. Al respecto, en otro estudio similar diversos materiales, entre ellos híbridos androestériles y fértiles, presentan el mismo número de días a floración masculina (78 días) (Tadeo *et al.*, 2015.), por lo que algunos de los materiales evaluados en este estudio se consideran de precocidad aceptable, para siembras de punta de riego y buen temporal. La cruza simple más tardía fue LAEQ3 x CML173, cuya antesis ocurrió

a los 82 días. En ambas localidades el 17 % de las cruzas fueron precoces, el resto se consideran como genotipos tardíos.

En este trabajo, las líneas utilizadas como progenitor macho poseen de 30 a 40 % de germoplasma templado y de 60 a 70 % de germoplasma tropical. Al respecto, Lafitte (2001) menciona que la mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperíodo y que la extensión de esta sensibilidad varía de uno a 12 días de atraso en la antesis. Lo anterior ayuda a explicar la diferencia en el número de días de antesis entre ambientes (de 4 a 11 días), aunado a la diferencia de precipitación entre ambas localidades y al daño a las plantas por el granizo en Santa Lucía de Prías.



**Figura 2.3. Floración masculina (FM) de cruzas simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05, DMS= 2.3).**

La altura de planta presentó diferencia estadística entre ambientes, siendo los genotipos más bajos en Cuautitlán (207 cm) que en Santa Lucía (249 cm). Resultados semejantes en una evaluación parecida fueron encontrados por Tadeo *et al.* (2014b), donde también los genotipos en el ambiente de Santa Lucía fueron más altos. En relación con esto, si se pretende hacer uso de estos híbridos de cruce simple dentro de un programa de hibridación, la altura de planta es una variable muy importante, debido a que la altura llega a influir en las actividades de desespigamiento y de polinización;

así, las plantas con menor altura se pueden manipular con mayor facilidad al momento del desespigue, lo cual permite realizar la actividad en menor tiempo en comparación con plantas de mayor altura (Virgen *et al.*, 2014).

La altura de planta promedio en Cuautitlán varió de 163 a 230 cm, siendo estos valores inferiores a los expresados en Santa Lucía, debido a que dentro de la parcela existieron áreas con anegación. En Santa Lucía la altura promedio varió de 200 a 280 cm. Por otro lado, el 56 % de las cruzas simples presentaron diferencias entre ambientes de 29 hasta 88 cm, lo que permitiría seleccionar aquéllas con altura de interés. Con respecto a los testigos, el híbrido H 53 AE tuvo alturas de 192 a 280 cm, y su diferencia entre ambientes fue de 88 cm, mientras que el híbrido TSIRI PUMA tuvo alturas de 198 a 239, con una diferencia entra ambientes de 41 cm.

Cabe destacar que dos cruzas que tuvieron a la línea élite CML 173 como progenitor macho, así como tres cruzas cuyo progenitor hembra fue la línea LAEQ2, fueron cruzas que expresaron menor diferencia de altura de planta entre ambientes. Por ejemplo, la craza LAEQ2 x CML 173 expresó en Cuautitlán 224 cm y en Santa Lucía 234 cm, mientras que la craza LAEQ3 x CML 173 tuvo alturas de 222 a 250 cm entre localidades. Esto podría permitir seleccionar cruzas consistentes en su valor promedio de altura de planta a través de ambientes.

El coeficiente de correlación fenotípica entre el rendimiento de grano y variables agronómicas y componentes del rendimiento permitió identificar una asociación positiva entre longitud de mazorca (LM), granos por hilera (GH) y diámetro de mazorca (DM) con rendimiento (REND) ( $p \leq 0.01$ ) (Cuadro 2.3). Las correlaciones más fuertes y significativas en las cruzas evaluadas fueron: FM-FF (0.99), FM-LM (0.76), LM-GH (0.76), LM-REND (0.74), GM-REND (0.67), DM- FM (0.67), DM-FF (0.68), DM-REND (0.73), GM-GH (0.8). Estas correlaciones encontradas son importantes, dado que estos caracteres influyen directamente en el rendimiento del maíz y son utilizados frecuentemente por investigadores y campesinos para seleccionar genotipos de su interés.

**Cuadro 2.3. Correlación de Pearson entre diversas variables de cruzas simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

	FM	FF	LM	GH	DM	GM	REND
FM		0.99**	0.76**	0.35*	0.67**	0.45**	0.63**
FF			0.61**	0.34*	0.68**	0.45**	0.63**
LM				0.76**	0.66**	0.63**	0.74**
GH					0.53**	0.8**	0.67**
DM						0.61**	0.73**
GM							0.62**

Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*), al 0.05 de probabilidad (\*); REND: Rendimiento de grano; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; LM: Longitud de mazorca; GH: Granos por hilera; DM: Diámetro de mazorca; GM: Granos por mazorca.

## 2.6. CONCLUSIONES

Las mejores cruzas simples de maíz de calidad proteínica (QPM) en promedio de localidades fueron LAEQ5 x CML 354, LAEQ4 x CML 173 y LAEQ3 x CML 173, con rendimientos mayores a 8.0 t ha<sup>-1</sup> y superando a los testigos comerciales en 43 a 57 %. Esto las posiciona para participar en la conformación de híbridos trilineales QPM superiores, al combinarlas con una tercera línea que genere un buen híbrido.

Por su participación en las mejores cruzas, las líneas experimentales androestériles QPM sobresalientes fueron LAEQ3, LAEQ4, y LAEQ5, ya que cada una participó dos veces dentro de las nueve cruzas de mayor rendimiento. Las mejores líneas élite QPM fueron CML 173 y CML 354.

El 83 % de los genotipos resultaron tardíos en esta investigación, comenzando anthesis a partir de los 82 días; sin embargo, esta floración se cataloga como intermedia dentro

de los valores para esta variable en los Valles Altos, lo que permitiría su uso en la conformación de híbridos trilineales para usarse en siembras de punta de riego o buen temporal. También se identificaron genotipos con altura de planta aceptable para producción de semilla. Por otro lado, las características que estuvieron altamente relacionadas con el rendimiento de las cruza simples de maíz QPM de este estudio fueron los días a floración y la longitud y el diámetro de mazorca.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Espinosa, C. A.; Gómez M. N.; Sierra M. M.; Caballero H. F.; Coutiño E. B.; Palafox C. A.; Rodríguez M. F.; García B. A.; Cano C.; Betanzos M. E. 2005.** Los maíces de Calidad Proteínica y la producción de semillas en México. Ciencia y desarrollo en internet. CONACYT. México. 10 p. Recuperado de: file:///D:/Sistema/Descargas/Maiz.pdf
- Lafitte, H. R. 2001.** Fisiología del maíz tropical. *In:* El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. R. Paliwal (ed). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 94-106 pp.
- Mertz, E. T., L. S. Bates, and O. F. Nelson. 1964.** "Mutant Gene that Changes Protein Composition and Increase Lysine Content of Maize Endosperm". *Science*, 145-279.
- Mertz, T. 1994.** Thirty years of opaque 2 maize. *In:* Quality Protein Maize. 1964-1994. Proceedings of the Symposium on Quality Protein Maize. B. A. Larkins and E. T. Mertz (eds). EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG, Brazil. 1-10 pp.
- Rivas, V. P.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I.; Cano, S. A. y Ayala, E. V. 2011.** Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en valles altos. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(6): 845-854.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).** Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. (en línea). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. Consultado el 16 de enero de 2015.
- SAS Institute. 2002.** Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; y Espinosa, C. A. 2010.** Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21: 21-29.
- Sierra M. M.; Palafox C. A.; Cano R. O.; Rodríguez M. F.; Espinosa C. A.; Turrent F. A.; Gómez M. N.; Córdova O. H.; Vergara Á. N.; Aveldaño S. R. 2004.** H-553C, híbrido de maíz de Calidad Proteínica para el Trópico Húmedo de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (1): 117-119.
- Stamp P., S. Chowchong, M. Menzi, U. Weingartner and O. Kaeser. 2000.** Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Science* 40: 1586-1587.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Valdivia, B. R.; y Virgen, V. J. 2014 a.** Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. *México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 883-891.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Valdivia, B. R.; y Andrés, M. P. 2014 b.** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J.J.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; y Valdivia, B. R. 2015.** Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación. *México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (8): 1857-1866.

- Torres, F. J.L.; Morales, R. E.J.; González, H. A.; Laguna, C. A.; y Córdova, O. H. 2011.** Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(6): 829-844.
- Vasal, S. K. 2004.** High Quality Protein Corn. *In: Speciality Corns*. Hallauer, A. R. (ed). Second edition. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. 84-127 pp.
- Vasal, S. K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goerts. 1980.** Genetic Modifiers and Breeding Strategies in Developing Hard Endosperm Opaque-2 materials. *In: Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*. Pollmer, W. G., and R. H. Phipps (eds). Martinus Mijhoff Publishers. Amsterdam, Holland. Pp: 37-73.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M.A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J.L.; y Gámez, V. A.J. 2016.** Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 27(1): 191-206.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M.A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J.L.; y Gámez, V. A.J. 2014.** Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2): 323-335.

## **CAPÍTULO III. RENDIMIENTO, CALIDAD COMERCIAL Y PROTEÍNICA DE CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ QPM PARA LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO**

### **3.1. RESUMEN**

El grano de maíz (*Zea mays* L.) en México es la base de la dieta de la población, pero es deficiente en aminoácidos esenciales. En este trabajo se determinaron propiedades físicas y la calidad de proteína del grano de 18 cruzas simples experimentales de maíz QPM y de dos testigos comerciales de grano normal para Valles Altos de México. Las 18 cruzas simples se formaron cruzando seis líneas androestériles QPM (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 y LAEQ6) con tres líneas élite QPM (CML 173, CML 354 y CML 352). Los materiales se evaluaron en 2014 en terrenos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) y del Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX-INIFAP) en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, la parcela experimental fue un surco de 5 m de largo y 80 cm de ancho con 24 plantas, equivalente a 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Del grano cosechado de cada material se prepararon muestras para analizar su calidad en el Laboratorio de Maíz del CEVAMEX-INIFAP. Se midió el peso hectolítrico (PH), peso de cien granos (PCG), índice de flotación (IF), proteína (% PRO), lisina (% LIS) y triptófano (% TRP) y se realizó un análisis de varianza combinado de los datos. Las cruzas LAEQ4 x CML173 y LAEQ5 x CML354 fueron de granos de tamaño intermedio (PCG > 33 g), con endospermo duro e intermedio (IF >12 y < 62 % de granos flotantes), ambas de calidad proteínica (LIS > 3.35 % y TRIP > 0.75 %) siendo esto 75 % más del contenido promedio de los maíces de endospermo normal, por lo que estas cruzas son de alta calidad proteínica.

Desde el punto de vista nutricional, 20 % de los genotipos tuvieron grano con más lisina y triptófano que los testigos, por lo que el uso de estos híbridos de alta calidad proteínica por la industria nixtamalizadora es una alternativa para beneficiar la nutrición de la población cuyo alimento principal en su dieta es el maíz, además, todos los híbridos presentaron rendimientos rentables y superiores a la media nacional 2.4 t ha<sup>-1</sup> ,

por lo que podrían aumentar los ingresos de los productores de maíz en Valles Altos de México.

**Palabras clave:** *Zea mays*, androesterilidad, calidad proteínica, híbridos, lisina, triptófano.

# GRAIN YIELD, COMMERCIAL AND PROTEIN QUALITY IN MAIZE SINGLE CROSSES WITH QPM FOR THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

## 3.2. ABSTRACT

The grain corn (*Zea mays* L.) in Mexico is the base of the diet of the population, but is deficient in essential amino acids. In this paper were determined the physical properties and quality of grain protein of 18 experimental maize single crosses QPM and two commercial hybrids with normal grain from The High Valleys of Mexico, as checks. The 18 maize single crosses were formed crossing six male sterile inbred lines QPM (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 and LAEQ6) with three elite QPM lines (CML 173, CML 354 and CML 352). The materials were evaluated in 2014 at the Faculty of Superior Studies Cuautitlán (FESC-UNAM) and at The Experimental Station Valley of Mexico (CEVAMEX-INIFAP). A Randomized Complete Block Design was used, with three replicates, where the experimental plot was a row 5 m long and 80 cm wide with 24 plants, equivalent to 65,000 plants ha<sup>-1</sup>. Samples of corn grain from each material were prepared to analyze the quality in the laboratory Maize CEVAMEX-INIFAP. Hectoliter weight (PH), weight of 100 grains (PCG), flotation index (FI), protein (% PRO), Lysine (% LIS) and tryptophan (% TRP) was measured. A combined analysis of variance was performed for the data. The crosses LAEQ4 x CML 173 and LAEQ5 x CML 354 had of grains of an intermediate size (PCG > 33 g), with endosperm hard e intermediate (IF > 12 and < 62% of grains floating, both of quality protein (LIS > 3.35% and TRIP > 0.75%) being this 75% more than the content average of the maize of endosperm normal, by what these crosses are of high quality protein. From the nutritional point of view, 20% of genotypes had grain with more lysine and tryptophan as checks, so the use of these hybrids of high quality protein by the nixtamalized industry is an alternative to benefit the nutrition of the population whose main food in your diet is corn, besides, all hybrids showed yields cost-effective, higher than the national average

of 2.4 t ha<sup>-1</sup>, by which could increase incomes of maize farmers in The High Valleys in Mexico.

**Keywords:** *Zea mays*, male sterility, protein, hybrids, quality lysine, tryptophan.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

Mejorar la calidad proteínica de los cereales es un tema de interés internacional que repercute directamente sobre la cantidad y calidad de alimentos que nutren mayoritariamente a la población humana que cada día va en aumento. Las proteínas se componen de aminoácidos 20 en su total. De éstos, la lisina y el triptófano no pueden ser sintetizados por animales monogástricos como los cerdos, pollos y seres humanos. Por consiguiente, estos dos aminoácidos tienen que ingerirse como parte de la alimentación para completar el perfil de aminoácidos requerido para la síntesis de proteínas (Vivek *et al.*, 2008).

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el alimento básico de millones de personas en todo el mundo, principalmente en México. Su grano aporta entre el 15 y 56 % del total de calorías ingeridas por los seres humanos que lo consumen. El contenido de proteína del maíz de endospermo normal, regularmente consumido por los humanos, oscila desde 8.1-11.5 % (Watson, 2003), no obstante, es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano (Vivek *et al.*, 2008). Las proteínas más abundantes en el endospermo del grano de maíz son las zeínas, especialmente las alfa-zeínas que no son digeribles por el humano y además deficientes en lisina y triptófano (Gibbon y Larkins, 2005).

El cultivo de maíz actualmente es uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales. Su importancia económica y social es relevante pues su producción se realiza en un número de países superior al de cualquier otro cultivo,

además de ser fuente de empleo, de materia prima para la industria y de alimento para un número importante de personas en el mundo (FIRA, 2015).

Por otro lado, la desnutrición humana es un problema de grandes dimensiones en todo el mundo. En México 1.5 millones de niños la padecen y es más prevalente en la región sur del país (19.2 %) así como en las zonas con población indígena (Gutiérrez *et al.*, 2012). La desnutrición infantil tiene orígenes complejos que involucran factores biológicos, socioeconómicos y culturales. Sus causas inmediatas incluyen una alimentación inadecuada en cantidad y calidad, lo que a su vez es el resultado de una limitada disponibilidad de alimentos nutritivos, de servicios de salud, de educación, así como de una infraestructura sanitaria deficiente. La situación empeora y muchas familias simplemente no pueden costear alimentos nutritivos (leche, carne, huevos) que los niños más pequeños necesitan para crecer y desarrollarse.

Al respecto de los alimentos nutritivos, Pixley y Bjarnason (2002) mencionan que el maíz de calidad proteínica o QPM (por sus siglas en inglés para quality protein maize) puede ayudar a disminuir la desnutrición humana porque contiene el gen mutante *opaco-2*, el cual concentra mayores cantidades de lisina y triptófano en el endospermo del grano y un valor biológico de su proteína más alto que el del maíz normal. El maíz que se consume cotidianamente contiene en promedio 1.6 % de lisina y 0.47 % de triptófano, mientras que el maíz de calidad proteínica contiene 3.1 % de lisina y 1.05 % de triptófano (Mazón *et al.*, 2012).

El descubrimiento de alelos mutantes en maíz surgió a mediados de 1960 por investigadores de la Universidad de Purdue, lo que representó un gran avance para lograr la mejora de la calidad nutricional de su grano. El primer gen descubierto fue el *opaco-2* (*o2*) (Mertz *et al.*, 1964), seguido por el *harinoso-2* (*fl2*) (Nelson *et al.*, 1965), los cuales provocan cambios benéficos en el perfil de aminoácidos y consecuentemente en la composición de proteínas del endospermo del maíz, lo que resulta en un doble contenido de lisina y triptófano en comparación con el maíz normal. El mutante homocigótico recesivo *o2* provoca una reducción en la producción de la fracción de alfa-zeína de la proteína del endospermo y un aumento correspondiente en

la proporción de proteínas no-zeínas (albúminas, globulinas y glutelinas; las fracciones I, IV y V) que en forma natural contienen niveles mayores de lisina y triptófano (Gibbon y Larkins, 2005).

A pesar de lo nutritivo del grano del maíz opaco, el interés inicial por el maíz de calidad proteínica se vio disminuido debido a efectos pleiotrópicos del alelo *o2* en condición homocigótica, ya que expresa caracteres agronómicos indeseables como un bajo rendimiento de grano y susceptibilidad a plagas y enfermedades por la suavidad de su endospermo. En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) los investigadores Vasal y Villegas, mediante mejoramiento convencional, superaron los defectos del gen *opaco-2* y mantuvieron una calidad nutricional superior. Estos investigadores lograron convertir los granos con endospermo suave y harinoso en granos duros, y aumentaron el potencial de rendimiento del maíz, llamado ahora como QPM al mismo nivel de los mejores maíces normales; además, le confirieron resistencia a enfermedades e insectos y cualidades de almacenamiento y utilización semejantes a las de los mejores maíces normales (Vasal *et al.*, 1980). El nuevo maíz *opaco-2* obtenido tiene apariencia y sabor semejantes a los maíces normales

Además de los efectos genéticos indeseables del gen *o2*, la calidad de los granos de maíz también se ve afectada por diversos factores del ambiente. Las temperaturas altas y bajas durante el período de llenado de grano afectan su tamaño, la deficiencia de lluvia, como se demuestra con los materiales evaluados por Vázquez *et al.* (2012a) y del agua en general es uno los factores ambientales que tiene más influencia en el grano. Se han encontrado cambios en la proporción de endospermo harinoso y córneo en el grano, con tendencia a ser harinoso cuando existe mayor disponibilidad de agua (Zepeda *et al.*, 2009). Salazar *et al.* (2009) encontraron que el peso del grano de maíz está influenciado en 80 % por el ambiente. A una mayor lámina de riego, el peso del grano se incrementa cuando hay mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, mientras que el peso del grano disminuye con una menor lámina de riego y un incremento en el nivel de nitrógeno (Salazar *et al.*, 2015).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), llevaron a cabo diversos proyectos en torno a los maíces QPM en diferentes regiones de México; las líneas de investigación abarcaron el mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y animal, así como su calidad para diferentes procesos industriales. En los años 1999 y 2000, los resultados de esas actividades se vieron reflejados con la inscripción de más de 30 híbridos y variedades QPM ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) (Espinosa *et al.*, 2005).

Los primeros maíces con alta calidad proteínica que se liberaron fueron los adaptados a regiones tropicales y subtropicales, que rinden de 7 a 13 t ha<sup>-1</sup> (Melesio *et al.*, 2008). Posteriormente se desarrollaron híbridos de maíces QPM para clima templado, como los Valles Altos de México, a fin de elevar el rendimiento y mejorar la calidad de las tortillas que con ellos se elaboren, y así también la nutrición humana, en especial en los sectores más desprotegidos (Vázquez *et al.*, 2012a).

Con base en los antecedentes y ante la creciente demanda por la población de alimentos nutritivos e inocuos, los esfuerzos actuales de diversos fitomejoradores se concentran en lograr la obtención de variedades que tengan alto rendimiento y grano de alta calidad proteínica, ya que estas representan una alternativa viable para contrarrestar la desnutrición y aumentar la productividad. Con ello se evitaría la importación de varios millones de toneladas de maíz poco nutritivo. En adición, la generación de híbridos que presenten características agronómicas, productividad, y calidades nutricionales sobresalientes en condiciones templadas como las de los Valles Altos de México permitirán un mejor aprovechamiento del grano.

En México, desde 1992 la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) ha desarrollado líneas, variedades e híbridos (cruzas simples y trilineales) de maíz, por lo que se cuenta con líneas progenitoras de híbridos androestériles que a partir del año 2009 se han convertido a la versión de calidad proteínica mediante mejoramiento genético convencional. A partir de tales materiales y de líneas élite de otros programas

se formaron híbridos experimentales con el objetivo de determinar el efecto de localidad en la calidad comercial y proteínica de grano de 18 cruzas simples de maíz QPM y de dos testigos comerciales de grano normal para Valles Altos de México. El propósito fue encontrar híbridos fáciles de producir y baratos que presenten características favorables tanto en rendimiento como en calidad del grano para propiciar su aceptación por los productores, los consumidores, y la industria de nixtamalización.

Se plantea que al evaluar los materiales en dos localidades de Valles Altos para calidad comercial y proteínica del grano existen diferencias entre las cruzas simples androestériles QPM y los dos híbridos trilineales comerciales de calidad normal utilizados como testigos.

### **3.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Los materiales genéticos de este trabajo fueron 18 cruzas simples experimentales de maíz QPM y dos testigos comerciales de grano normal para Valles Altos de México. Las 18 cruzas simples se formaron cruzando seis líneas androestériles QPM (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 y LAEQ6) con tres líneas élite QPM proporcionadas por el CIMMYT (CML173, CML354 y CML 352). Los testigos fueron los híbridos trilineales H-53 AE generado por INIFAP y TSIRI PUMA desarrollado por FESC-UNAM. La evaluación de los 20 materiales se hizo en el ciclo agrícola primavera-verano de 2014 en terrenos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) y del Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX-INIFAP). La FESC-UNAM está ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (19° 41' LN, 99°11' LO, a 2274 m de altitud), cuyo suelo es de textura franco arcillosa. El CEVAMEX-INIFAP se ubica en Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 27' LN, 98° 51' LO, a 2240 m de altitud), con suelo de textura franco arenosa.

Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental fue un surco de 5 m de largo y 80 cm de ancho con 24 plantas, equivalente a 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra se efectuó en junio de 2014 en ambas localidades de manera manual usando pala. En Santa Lucía se aplicó un riego de siembra y posteriormente se aplicaron dos riegos de auxilio. En Cuautitlán únicamente se aplicó un riego al sembrar y después las plantas tuvieron humedad de la precipitación pluvial.

Solo en Santa Lucía ocurrieron dos granizadas previo al inicio de la floración masculina que causaron daños a las plantas.

Los datos climatológicos (temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial) se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la FESC-UNAM y de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 2.1, Capítulo II).

La cosecha de los materiales en ambas localidades se realizó manualmente en diciembre de 2014. De cada unidad experimental se tomaron al azar 5 mazorcas y se desgranaron a mano.

#### **3.4.1. Calidad comercial del grano**

Del grano cosechado de cada material se prepararon muestras para analizar su calidad en el Laboratorio de Maíz del CEVAMEX-INIFAP. Para determinar la calidad comercial del grano de los genotipos se analizaron las variables: índice de flotación (IF) como medida indirecta de la dureza del grano, este fue evaluado siguiendo la metodología descrita en la norma mexicana (NMX-FF-034-2002-SCFI-Parte-1, 2002). Cien granos sanos, sin fisuras, ni quebrados se depositaron en una solución de nitrato de sodio preparada a una densidad de 1.25 g mL<sup>-1</sup> registrándose el número de granos que flotan (IF); cuando este índice está entre 0 a 12 % de granos flotantes son considerados granos muy duros (MD), de 13 a 37 % granos duros (D), de 38 a 62 % para granos intermedios (I), y mayor a 62 % para maíces suaves (S) (NMX-FF-034-2002-SCFI-Parte-1, 2002). El peso hectolítrico (PH) o densidad aparente se evaluó siguiendo el método 84 - 10 de la American Association of Cereal Chemistry (AACC, 2000), se informa en kg hL<sup>-1</sup>; y el peso en gramos de 100 granos (PCG), que se considera una

medida indirecta del tamaño del grano (Billeb y Bressani, 2001) y pesado en una balanza analítica Santorius® BL610.

### **3.4.2. Calidad proteínica**

Previo a la determinación el contenido de proteína, lisina y triptófano se molieron 100 granos completos sin separar endospermo ni germen, de cada genotipo, del grano completo, para obtener una harina con un tamaño de partícula de 0.5 mm o menor. La harina se desengrasó con bencina de petróleo según el método 7.044 de la AOAC (1980) y se puso a peso constante.

El contenido de proteína se determinó por el método Technicon, utilizando un factor de conversión a proteína de 6.25 (método 46-13 de la AACC, 2000).

### **3.4.3. Análisis de triptófano**

El triptófano se cuantificó siguiendo el método colorimétrico descrito por Nurit *et al.* (2009). Cuyo fundamento es la reacción del triptófano con el ácido glioxílico en presencia de ácido sulfúrico y cloruro férrico, con lo que se produce un compuesto colorido, cuya densidad óptica se mide a 560 nm. Los resultados se expresaron en g de triptófano/100 g de proteína.

### **3.4.4. Análisis de lisina**

La lisina se determinó por el método de Tsai *et al.* (1975) modificado por Villegas *et al.* (1984) para muestras de maíz. Consiste en la protección del grupo  $\alpha$ -amino de la cadena de lisina por reacción con el cobre y la posterior reacción con el 2-cloro-3,5-dinitopiridina con el grupo  $\gamma$ -amino de la cadena de lisina protegida, que forma un compuesto coloreado que se lee a 390 nm. El contenido de lisina se calculó con base a una curva estándar. Se informa en g de lisina/100 g de proteína.

### **3.4.5. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza combinado de los datos de las dos localidades y también se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para cada una de

las variables; ambos procedimientos se hicieron mediante el paquete SAS (SAS Institute, 2002). Las variables que están en porcentaje no se transformaron, se tomaron como variables normales.

### **3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis de varianza combinado de los datos de calidad de comercial y proteínicas indica que hubo alta significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes (A), entre genotipos (G), y en la interacción (A x G) para todas las variables (Cuadro 3.1). Los valores del coeficiente de variación resultaron con valores de 1 % para peso hectolítrico (PH) a 5 % para índice de flotación (IF), lo cual indica que se tuvo un control aceptable (<20 %) de la variabilidad experimental, por lo que se puede señalar que la conducción de los experimentos y los resultados obtenidos son confiables numérica y estadísticamente.

La significancia entre localidades puede atribuirse a que las condiciones climáticas y agroecológicas variaron de un sitio a otro; principalmente la precipitación, la cual se presentó de manera irregular a lo largo del ciclo del cultivo (junio-diciembre). En especial se presentaron dos granizadas en Santa Lucía que causaron cierto grado de daño a las plantas y también ocurrieron diferencias en precipitaciones y temperaturas entre las localidades (Figura 2.1, Capítulo II).

Tales condiciones meteorológicas afectaron la expresión de los genotipos para las variables evaluadas de una localidad a otra. Las diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para las variables medidas evidencia que los materiales experimentales tuvieron diferente expresión genotípica y fenotípica. Esto se atribuye a que cruza simples y trilineales de líneas de diferentes orígenes y potenciales genéticos se analizaron en conjunto. Por otro lado, la alta significancia de la interacción genotipo x ambiente muestra que los materiales interaccionaron con los ambientes debido a su respuesta diferencial a los efectos ambientales, esto como resultado de su diferente constitución y expresión genética. Los efectos adversos del clima por daños de granizadas poco antes de la floración y las diferencias en precipitación entre

localidades fueron los que principalmente causaron la diferencia entre localidades y al mismo tiempo una respuesta diferencial de los genotipos acrecentando la interacción genético ambiental.

**Cuadro 3.1. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado de variables físicas y de calidad del grano de cruzas simples QPM y testigos comerciales de maíz, en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

F V	GL	REND	PH	PCG (g)	IF	% PRO	% TRP	% LIS
<b>Ambiente</b>	1	135342623**	185**	140.8**	108**	17.5**	1.12**	0.15**
<b>Rep/Amb</b>	4	10192329**	2.14	1.6	0.82	0.010	0.005	0.0009
<b>Genotipo</b>	19	4372056**	24.1**	28.3**	1181**	1.51**	57.27**	0.025**
<b>Amb x Gen</b>	19	211790**	20.1**	12.9**	458**	0.92**	0.17**	0.024**
<b>Error</b>	76	5875	72.1	0.69	2.32	0.075	0.83	0.0005
<b>Media</b>		9	73	32	32	10.1	2.8	0.64
<b>CV</b>			1	3	5	3	4	4

Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*), al 0.05 de probabilidad (\*); FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad; REND: Rendimiento de grano PH: Peso hectolítrico; PCG: Peso de cien granos; IF: Índice de flotación; % PRO: Porcentaje de proteína; % TRP: Porcentaje de triptófano; % LIS: Porcentaje de lisina; CV: Coeficiente de variación.

Las líneas élite QPM usadas como progenitores macho mantenían su alta calidad proteínica (Cuadro 3.2). Según Rosales *et al.* (2011) informaron que un maíz de calidad proteínica debe registrar valores de triptófano en grano entero, mayores a 0.75 % y de lisina debe ser mayor a 3.35 % en proteína. Por tanto, las líneas élite QPM empleadas como macho en las cruzas simples fueron las adecuadas debido a que mostraron valores dentro de los rangos establecidos para cada variable, lo anterior contrasta con los valores registrados por los testigos de endospermo normal (TSIRI PUMA y H 53 AE), los cuales mostraron valores de proteína de 9-10 %, valores de triptófano de 0.66 - 0.69 % y de lisina de 2.8 para ambos genotipos. Los genotipos élite superan en 42 % el porcentaje de triptófano de los maíces testigo de calidad normal, así como también los superan un 64 % en el contenido de lisina (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.2. Contenido de proteína y aminoácidos en grano de maíz entero de líneas élite QPM.**

Línea	% PRO	% TRP	% LIS
CML 173	9.5	0.95	5.1
CML 352	10.6	0.85	4.0
CML 354	9.3	1.08	4.8

% PRO: Porcentaje de proteína; % TRP: Porcentaje de triptófano; % LIS: Porcentaje de lisina.

En el Cuadro 3.3 se presentan los análisis de medias, el rendimiento promedio obtenido en Cuautitlán (REND 7.0 t ha<sup>-1</sup>) fue superior al de Santa Lucía en un 68 %, esto debido a que la precipitación en Cuautitlán fue mayor, aunado a la caída de granizo que causó daños a las plantas en Santa Lucía en dos ocasiones, lo cual hace constatar que el agua es un factor muy importante en el rendimiento de grano de este cultivo. Según Yang *et al.* (2000), el tamaño del grano no influye en el peso hectolítrico. Estos mismos autores encontraron que en diferentes ambientes con alta precipitación, el peso hectolítrico es bajo, y en los de baja precipitación el PH es relativamente alto, y tal comportamiento se observó en este experimento. Como el peso de cien granos es una medida indirecta para estimar el tamaño de grano, ambas localidades presentan granos menores a 38 g, lo cual indica que son granos pequeños. De acuerdo con Fox y Manley (2009), la dureza del grano es una característica hereditaria que es afectada por los componentes químicos del grano (principalmente almidón y proteína), los cuales son frecuentemente influenciados por las condiciones ambientales. Los materiales con mayor PH fueron los de granos más duros, tal como también lo fueron en los materiales de maíz evaluados por Vázquez *et al.* (2012 b).

El contenido de proteína entre ambientes varió 8 %., siendo los valores obtenidos en este experimento superiores a los encontrados por Melesio *et al.* (2008) en un trabajo similar. Los factores ambientales que más afectan el contenido de proteína en maíz son la temperatura y la disponibilidad de agua y nitrógeno en el suelo (Salazar *et al.*, 2015). Tomando en cuenta que la temperatura en Cuautitlán es similar a la de Santa Lucía y que en ambos ambientes no hubo diferencias de fertilización, entonces la diferencia en

el contenido de proteína entre ambientes fue debida a la diferente cantidad de agua disponible durante el ciclo del cultivo (Cuadro 3.3).

**Cuadro 3.3. Calidad comercial y proteínica de cruzas simples QPM y testigos comerciales de maíz, promedio de dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

<b>Ambiente</b>	<b>REN</b>	<b>PH</b>	<b>PCG</b>	<b>IF</b>	<b>DUREZA</b>	<b>PRO</b>	<b>LIS</b>	<b>TRP</b>
<b>Cuautitlán</b>	7.0 a	72 b	33 a	31 b	D	9.7 b	2.7 b	0.61 b
<b>Santa Lucía</b>	4.7	74 a	31 b	33 a	D	10.5 a	2.9 a	0.68 a
<b>DMS</b>	219	0.35	0.3	0.55		0.1	0.04	0.009

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). REND: Rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); PH: Peso hectolítrico; PCG: Peso de cien granos; IF: Índice de flotación; PRO: Porcentaje de proteína; TRP: Porcentaje de triptófano; LIS: Porcentaje de lisina.

Las cruzas LAEQ4 x CML 173 y LAEQ3 x CML 173 tuvieron rendimientos de grano superiores a 8 t ha<sup>-1</sup>, similares al promedio de rendimiento del maíz obtenido bajo condiciones de riego (FIRA, 2015). No obstante, todos los híbridos evaluados tuvieron rendimientos rentables y superiores a la media nacional 2.4 t ha<sup>-1</sup> (FIRA, 2015), por lo que pueden ser una alternativa para aumentar los ingresos de los productores de maíz en Valles Altos de México (Cuadro 3.4).

En las propiedades físicas del grano (Cuadro 3.4), se identificaron siete cruzas simples y el híbrido trilineal TSIRI PUMA cuyo peso hectolítrico fue superior al 74.0 kg hL<sup>-1</sup>, establecido por la norma NMX-FF034-034-1, (2002) como valor mínimo para fines de comercialización de maíz blanco para consumo humano y destinados al proceso de nixtamalización. Cabe señalar que tres de estas cruzas sobresalientes tuvieron como progenitor macho a la línea élite QPM CML173. Es importante mencionar que las 18 cruzas simples fueron superiores al híbrido trilineal H 53 AE, el cual tuvo un peso inferior (68 kg hL<sup>-1</sup>) al óptimo (Cuadro 3.4).

Para la variable peso de cien granos (PCG), cinco cruzas simples tuvieron un valor superior al PCG ideal (PCG ≤ 33 g), de acuerdo con la clasificación de Salinas *et al.* (2010). La cruz simple LAEQ4 x CML 352 tuvo el mayor PCG a través de ambientes y

por tanto fue la de mayor tamaño de grano, ya que según Billeb y Bressani (2001) el PCG es un indicador del tamaño de grano, y entre mayor sea el PCG mayor será el tamaño de grano. En contraste, la cruza LAEQ3 x CML 352 tuvo el menor peso, con 29.3 g. Resultaron pues 13 cruza simples que tuvieron granos de tamaño pequeño por tener un PCG menor a 33 g (Cuadro 3.4).

En relación con la dureza del grano, solo una cruza simple (LAEQ1 x CML 354) resultó ser muy duro (IF < 12 %), mientras que 56 % de las cruza y el híbrido trilineal TSIRI PUMA resultaron de endospermo duro (IF 13 - 24 %). El 33 % de las cruza restantes y el híbrido H53 AE registraron endospermo intermedio (IF 39-56 %). Estos resultados concuerdan con los de Vázquez *et al.* (2013), quienes para los híbridos H-143C, H-149C y Promesa, evaluados a una densidad de 67 000 plantas por hectárea, similar a la de este trabajo, encontraron valores de IF (dureza) semejantes a los de las cruza simples evaluadas aquí (35-48 % IF; maíces con texturas dura a intermedia). En relación con el IF, Carrera y Cervantes (2006) mencionan que a mayores densidades de plantas se limita la formación de células y de gránulos de almidón, y por tanto se reducen la capacidad de crecimiento del endospermo y el tamaño de grano, aumentando su suavidad; es por ello que las cruza simples aquí evaluadas mostraron endospermos de texturas duras e intermedia, ambas demandadas para el proceso de nixtamalización, lo que agrega una cualidad más a los materiales de este trabajo (Cuadro 3.4). El progenitor macho CML 354 estuvo relacionado con una mayor la dureza del grano. Con excepción de la cruza: LAEQ5 x CML 354 que fue de endospermo intermedio (IF 46 %) el resto de las cruza que la incluyen, fueron de endospermo duro y muy duro (Cuadro 3.4). Su combinación con la línea LAEQ1 x CML 354, desarrollo endospermo muy duro, no obstante, su rendimiento fue el menor (Cuadro 3.4).

**Cuadro 3.4. Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruzas simples de maíz QPM y testigos comerciales, en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

<b>Efecto</b>	<b>REND</b>	<b>PH</b>	<b>PCG</b>	<b>IF</b>	<b>DUR</b>
FESC-UNAM	7009 a	72 b	33 a	33 a	D
CEVAMEX-INIFAP	4741 b	74 a	31 b	31 b	D
LAEQ5 x CML354	8780 a	74.5 ad	35.8 ab	56 a	I
LAEQ4 x CML173	8356 ab	75.5 ac	32.2 cd	43 d	I
LAEQ3 x CML 352	7585 ac	72.5 dh	29.5 j	40 de	I
LAEQ5 x CML 173	7309 ad	76 a	30.7 fj	17 jk	D
LAEQ6 x CML 173	6948 be	73.5 cf	34.5 bc	51 b	I
LAEQ4 x CML352	6831 cf	72.5 di	36.3 a	29 h	D
LAEQ3 x CML173	6425cg	73.2 dg	29.3 j	39 e	I
LAEQ6 x CML 352	6239 dg	73.5 cf	31 fj	47 c	I
LAEQ2 x CML354	5388 gh	74.3 ad	29.8 hj	17 ik	D
TSIRI PUMA	5811 eh	75.8 ab	33.2 cd	24 h	D
LAEQ4 x CML354	5726 eh	74.5 ad	31.7 dg	31 g	D
LAEQ2 x CML173	5617 fi	70.5 i	29.8 hj	34 f	D
H53 AE	5453 gi	67.8 j	31.2 ei	47 c	I
LAEQ6 x CML 354	4941 hj	73 dh	32.8 ce	15 kl	D
LAEQ5 x CML 352	4940 hj	71 hi	34.5 bc	22 h	D
LAEQ2 x CML352	4866 hj	71.7 fi	29.7 hj	52 b	I
LAEQ1 x CML352	4835 hj	71.2 gi	30.2 gj	18 ik	D
LAEQ3 x CML354	4402 ik	74.5 ad	34 c	21 hi	D
LAEQ1 x CML173	4059 k	72.5 dh	29.5 j	40 de	I
LAEQ1 x CML354	3171 k	73.8 be	30.5 fj	12 l	MD
<b>DMS</b>	1278	2	2	3	

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). REND: Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); PH: Peso hectolítrico; PCG: Peso de cien granos (g); IF: Índice de flotación.

En el Cuadro 3.5 se observa que los contenidos de proteína de las cruzas simples LAEQ4 x CML 352, LAEQ3 x CML 354 y LAEQ1 x CML 354 fueron superiores en 13.5 % a los contenidos de los testigos, cuyos porcentajes de proteína fueron 9 y 10 %. Respecto al porcentaje de triptófano (% TRP), la craza simple LAEQ5 x CML 354 superó en 20 y 15 % el contenido de cada uno de los testigos; las cruzas simples LAEQ1 x CML354 y LAEQ2 x CML354 superaron a los testigos en 10 y 15 %,

respectivamente, mientras que las cruzas LAEQ2 x CML 352, LAEQ4 x CML 354 y LAEQ4 x CML 173 tuvieron de 9 a 14 % más triptófano que los testigos. Los valores de TRP que tuvieron estas cruzas se encuentran dentro del rango aceptable para ser considerados genotipos de alta calidad proteínica ( $>0.65$ ), lo que les agrega una cualidad más sobre el maíz normal.

En cuanto al contenido de lisina (% LIS), solo cinco cruzas resultaron superiores en este aminoácido en 25.29 % respecto a los testigos. Los valores encontrados en este trabajo (Cuadro 3.5) concuerdan con los reportados por Vázquez *et al.* (2013) en un trabajo similar.

En relación con el maíz de calidad proteínica, el criterio utilizado para catalogar a las cruzas simples por su calidad proteínica es relativo (Gutiérrez *et al.*, 2014). Se dice que la interacción de los alelos involucrados en la calidad proteínica está en función de la acción génica que se genere entre ellos, de cómo ocurra la transcripción de la característica y de la diversidad genética de las líneas progenitoras (Schön *et al.*, 2010). La expresión de la calidad proteínica es por tanto compleja, y esto puede explicar el por qué no todas las cruzas evaluadas hayan sido sobresalientes. Es importante señalar que los niveles de lisina y triptófano deben ser monitoreados mientras se están generando genotipos nuevos, debido a que se puede o no obtener un material con el genotipo *o2o2* con niveles de lisina y triptófano iguales a los del maíz normal (Cuadro 3.5). La correlación entre estos dos aminoácidos fue de 0.69, lo que significa que, al aumentar el triptófano, también lo hace la lisina. Este valor de la correlación fue menor al informado por Mertz *et al.* (1964).

**Cuadro 3.5. Contenido de proteína y de aminoácidos esenciales en grano de maíz entero de cruzas simples QPM y testigos comerciales evaluados en dos ambientes. Ciclo primavera verano 2014.**

<b>Genotipo</b>	<b>% PRO</b>	<b>% TRP</b>	<b>% LIS</b>
LAEQ4 x CML352	11.2 a	0.63 eg	2.5 g
LAEQ3 x CML354	11 ab	0.67 ce	3.5 b
LAEQ1 x CML354	10.9 ac	0.76 ab	3.6 ab
LAEQ2 x CML352	10.5 bd	0.75 ac	3.5 b
LAEQ4 x CML354	10.4 be	0.75 bd	2.6 dg
LAEQ2 x CML173	10.4 ce	0.59 gi	2.7 cf
LAEQ6 x CML352	10.2 df	0.57 hi	2.6 eg
LAEQ6 x CML354	10.1 dg	0.60 fh	2.6 dg
LAEQ3 x CML352	10 dh	0.67 ce	2.5 g
TSIRI PUMA	10 dh	0.66 de	2.8 cd
LAEQ5 x CML354	10 dh	0.79 a	3.5 b
LAEQ6 x CML 173	10 dh	0.57 hi	2.5 fg
LAEQ5 x CML352	9.9 eh	0.60 fi	2.8 ce
LAEQ1 x CML352	9.9 dh	0.56 hi	2.5 fg
LAEQ3 x CML173	9.9 eh	0.64 ef	2.6 eg
LAEQ1 x CML173	9.9 dh	0.60 fh	2.9 cd
LAEQ2 x CML354	9.8 fh	0.76 ac	2.8 ce
LAEQ5 x CML173	9.6 gi	0.55 i	2.6 eg
LAEQ4 x CML173	9.5 hi	0.75 ef	3.5 ab
H53 AE	9 i	0.69 ab	2.8 a
Rosales <i>et al.</i> (2011)		0.75	3.35
Vázquez <i>et al.</i> (2012)		0.76	3.38

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). % PRO: Porcentaje de proteína; % TRP: Porcentaje de triptófano; % LIS: Porcentaje de lisina.

### 3.6. CONCLUSIONES

Las mejores cruzas fueron: LAEQ4 x CML 173 y LAEQ5 x CML 354, proporcionaron los mayores rendimientos ( $REND > 8 \text{ t ha}^{-1}$ ), con buena calidad comercial y nutricional. Sus granos fueron de tamaño intermedio ( $PCG > 33 \text{ g}$ ), endospermo de textura intermedia (IF entre 38-62 % de flotantes) y un peso hectolítrico superior al establecido como mínimo para el maíz destinado al proceso de nixtamalización ( $> 74 \text{ kg hL}^{-1}$ ). Sus contenidos de lisina y triptófano registraron valores superiores a lo establecido para ser

considerarlos maíces QPM. Sus incrementos de lisina y triptófano, respecto al mejor testigo (TSIRI PUMA) fueron de 20 y 17 %. Se identificó a las cruzas simples LAEQ4 x CML 173 y LAEQ5 x CML 354 como las mejores de calidad proteínica en promedio de localidades, estas tuvieron texturas de grano intermedia y dura, respectivamente, y pesos de cien granos mayores a 32 g, superando a los testigos de 5 a 8 %.

De las cruzas evaluadas, diez, no tuvieron un valor adecuado para el porcentaje de triptófano y de lisina, solo el grano de las cruzas LAEQ1 x CML 354 y LAEQ2 x CML 352 tuvo valores de triptófano y lisina de 0.76-0.75 % y 3.6-3.5 % respectivamente. En total, 12 de los genotipos resultaron de grano duro en esta investigación, lo que permitiría su uso en la industria de la nixtamalización.

Desde el punto de vista nutricional, sólo 4 de los genotipos tuvieron más lisina y triptófano (12 % más triptófano y 25 % más del porcentaje de lisina) en su endospermo que los testigos de calidad normal.

El uso de las cruzas sobresalientes en alta calidad proteínica por la industria nixtamalizadora es una alternativa para beneficiar la nutrición de la población cuyo alimento principal en su dieta es el maíz.

### 3.7. LITERATURA CITADA

**American Association of Cereal Chemistry (AACC). 2000.** Approved methods of the AACC, 16<sup>th</sup>. The Association: St. Paul, MN., USA.1200 p.

**Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980.** Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13<sup>rd</sup> ed. USA.

**Billeb, S. A-C.; Bressani, R. 2001.** Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 51 (1):86-94.

**Carrera, V. J-A.; Cervantes, S.T. 2006.** Respuesta a densidad de población de cruzas de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. Revista Fitotecnia Mexicana. 29:331-338.

- Espinosa, C. A.; Gómez M. N.; Sierra M. M.; Caballero H. F.; Coutiño E. B.; Palafox C. A.; Rodríguez M. F.; García B. A.; Cano C.; Betanzos M. E. 2005.** Los maíces de Calidad Proteínica y la producción de semillas en México. Ciencia y desarrollo en internet. CONACYT. México. 10 p. Recuperado de: file:///D:/Sistema/Descargas/Maiz.pdf
- FIRA. 2015.** Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2015.pdf). Consultado el 15 de abril de 2016
- Fox, G.; Manley, M. 2009.** Hardness methods for testing maize kernel. J. Agric. Food Chem. 57 (13): 5647-5657.
- Gibbon, B. C.; Larkins, B. A. 2005.** Molecular genetic approaches to developing Quality Protein maize. Trend Genet. 21 (4): 227-233.
- Gutiérrez, H. G-F.; Arellano, V. J-L.; Vázquez, R. J-M.; García, R. E.; Vázquez, L. P. y Flores, G. E. 2014.** Formación de híbridos de maíz con calidad proteica: lisina, triptófano e índice de calidad. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia. 31: 171-189.
- Gutiérrez, C.; Guajardo, V.; y Álvarez Del Río, F. 2012.** Costo de la obesidad: Las fallas del mercado y las políticas públicas de prevención y control de la obesidad en México. Capítulo 11. En: Rivera Dommarco, J.A., *et al.*, Obesidad en México: recomendaciones para una política de Estado, México, D.F: UNAM.
- Mazón, G. M-A.; Escobedo, G- J-S.; Herrera, C. E.; Macías, L. A.; Hernández, P. J.; Vázquez, C. G.; y Wesche, E. P- A. 2012.** Maíz de alto contenido proteico (Zea mays l.) en hogares rurales marginados del estado de Puebla. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 20 (39): 131-154.
- Melesio, C. J-L.; Preciado, O. R-E.; Terrón, I. A-D.; Vázquez, C. M-G.; Herrera, M. P.; Amaya, G. C-A.; y Serna, S. S-O. 2008.** Potencial productivo, propiedades

- físicas y valor nutrimental de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Agricultura Técnica en México*. 34 (2): 225-233.
- Mertz, E. T., L. S. Bates, and O. F. Nelson. 1964.** “Mutant Gene that Changes Protein Composition and Increase Lysine Content of Maize Endosperm”. *Science*, 145-279.
- Nelson, O. E.; Mertz, E. T.; Bates, L. S. 1965.** Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. *Science* 150: 1469–1470.
- Norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización (NMX-FF-034-2002-SCFI-Parte-1). 2002.** Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D.F. 18 p.
- Nurit, E.; Tiessen, A.; Pixley, K.; Palacios-Rojas, N. 2009.** Reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. *J. Agric. Food Chem.*, 57 (16): 7233–7238.
- Pixley, K.V.; Bjarnason, M.S. 2002.** Stability of grain yield, endosperm modification, and protein quality of hybrid and open-pollinated quality protein maize (QPM) cultivars. *Crop Science*. 42 (6): 1882-1890.
- Rosales, A.; Galicia, L.; Oviedo, E.; Islas; and Palacios, R. N. 2011.** Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) for Protein, Tryptophan, and Lysine Evaluation in Quality Protein Maize (QPM) Breeding Programs. *Journal agricultural and food Chemistry*. 59, 10781–10786
- Salazar, M. J.; Rivera, F. C-H.; Arévalo, G. S.; Guevara, E. A.; Malda, B. G.; y Rascón, C. Q. 2015.** Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente del cultivo de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38 (1): 67-73.

- Salazar, M. J.; Guevara, E. A.; Malda, B. G.; Rivera, F. C-H.; y Salinas, M. Y. 2009.** Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal. *Tecnología Chihuahua*. 3:74-83.
- Salinas, M. Y.; Gómez, N. O.; Cervantes, M. J-E.; Sierra, M. M.; Palafox, M. A.; Betanzos, C. E.; y Coutiño, B. E. 2010.** Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1:509-523.
- SAS Institute. 2002.** Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- Schön, C.C.; Dhillon, B.S.; Utz, H.F.; Melchinger, A.E. 2010.** High congruency of QTL positions for heterosis and grain yield in three crosses of maize. *Theoretical and Applied Genetics*. 120 (2):321-332.
- Tsai, C. Y.; Dalby, A.; Jones, R.A. 1975.** Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chemistry*. 52: 356-360.
- Vasal, S. K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goerts. 1980.** Genetic Modifiers and Breeding Strategies in Developing Hard Endosperm Opaque-2 materials. *In: Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*. Pollmer, W. G., and R. H. Phipps (eds). Martinus Mijhoff Publishers. Amsterdam, Holland. Pp: 37-73.
- Vázquez, C. M-G.; Mejía, A. H.; Salinas, M. Y.; y Santiago, R. D. 2013.** Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36 (3): 225 – 232.
- Vázquez, C. M-G.; Santiago, R. D.; Salinas, M. Y.; Rojas, M. I.; Arellano, V. J-L.; Velázquez, C. G-A.; y Espinosa, C. A. 2012 a.** Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (3): 229-237.

- Vázquez, C. M-G.; Mejía, A. H.; Tut, C. C.; y Gómez, M. N. 2012 b.** Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (1): 23-31.
- Villegas, E.; Ortega, E.; y Bauer, E. 1984.** Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteína de los cereales. México, D.F.: CIMMYT.
- Vivek, B.S., Krivanek A.F.; Palacios-Rojas, N.; S. Twumasi-Afriyie, S.; Diallo, A. 2008.** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.
- Watson, S. A. 2003.** Description, development, structure, and composition of the corn kernel. In: White, P. J., and L. A. Johnson (eds). *Corn: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 892 p.
- Yang, P.; Shunk, R. J.; Haken, A. E.; Niu, Y. X.; Zou, S. H.; Buriak, P.; Eckhoff, S. R.; and Tumbleson, E. 2000.** Yield, protein content, and viscosity of starch from wet-milled corn hybrids as influenced by environmentally induced changes in test weight. *Cereal Chem.* 77: 44-47.
- Zepeda, B. R.; Carballo, C. A.; y Hernández, A. C.; 2009.** Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos del maíz. *Agrociencia*. 43:695-706.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL

Los programas de mejoramiento genético en maíz en Valles Altos se han enfocado principalmente al desarrollo de genotipos con alto rendimiento, no obstante, estos maíces son deficientes en calidad proteínica, los cuales contienen los proporcionan aminoácidos esenciales, (lisina y triptófano, en cantidades reducidas, lo que se reduce su valor nutricional). Es prioritario producir y evaluar materiales con alta calidad proteínica para tratar de disminuir los problemas de desnutrición que presentan los sectores de la población más vulnerables.

De los materiales evaluados en el presente trabajo, el rendimiento máximo en promedio de las dos localidades correspondió a la crusa LAEQ5 x CML354 (8780 kg ha<sup>-1</sup>), mientras que el menor rendimiento lo tuvo la crusa LAEQ1 x CML352, con 3160 kg ha<sup>-1</sup>. Tanto en Cuautitlán como en Santa Lucía las cruas con mayor rendimiento promedio fueron LAEQ5 x CML354, LAEQ4 x CML173 y LAEQ3 x CML173, cuyo valor fue de 9340 kg ha<sup>-1</sup> y 8 mil kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por lo anterior, a estas cruas más rendidoras se les puede reconocer como materiales altamente promisorios para propósitos de fitomejoramiento, al aprovecharlas como hembras en la formación de híbridos trilineales. Cabe mencionar que los rendimientos obtenidos en Cuautitlán reflejan el valor que potencialmente pueden expresar estas cruas en el ciclo primavera verano, debido a que en este ambiente no se presentaron condiciones ambientales desfavorables que afectaran al cultivo.

Con respecto a la floración masculina (FM), Las cruas que tuvieron a la línea élite CML173 como macho fueron las más tardías, de 87 a 90 días, y se encontró que el 55 % de las cruas simples tuvieron floración tardía. Lo anterior podría explicarse en el hecho de que la línea CML173 es de origen Subtropical (Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2010) y por lo tanto tardía. Las líneas élite QPM utilizadas como progenitor macho poseen de 30 a 40% de germoplasma templado y de 60 a 70% de germoplasma tropical. Al respecto, Lafitte (2001) menciona que la mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperíodo y que la extensión de esta sensibilidad varía de uno a 12

días de atraso en la antesis. Lo anterior ayuda a explicar la diferencia en el número de días a la antesis entre ambientes (de 4 a 11 días), aunado a la diferencia de precipitación entre ambas localidades y al daño causado a las plantas por el granizo en Santa Lucía de Prías.

Para altura de planta, dos cruzas que tuvieron a la línea élite CML173 como progenitor macho, así como tres cruzas cuyo progenitor hembra fue la línea LAEQ2, fueron cruzas que expresaron buen porte y menor diferencia de altura de planta entre ambientes, lo cual podría permitir seleccionar cruzas consistentes en su valor promedio de altura de planta a través de ambientes.

En lo que respecta a las determinaciones de calidad comercial y proteínica de los genotipos, la significancia encontrada entre localidades ( $p \leq 0.01$ ) puede atribuirse a que las condiciones climáticas y agroecológicas variaron de un sitio a otro; principalmente la precipitación, la cual se presentó de manera irregular a lo largo del ciclo del cultivo (junio-diciembre). La significancia estadística ( $p < 0.01$ ) de la interacción genotipo x ambiente muestra que los materiales interaccionaron con los ambientes debido a su respuesta diferencial a los efectos ambientales, esto como resultado de su diferente constitución y expresión genética. Los efectos adversos del clima por daños de granizadas poco antes de la floración y las diferencias en precipitación entre localidades, contribuyeron de manera importante en la interacción genético ambiental.

Para la variable peso de cien granos (PCG), la crusa simple LAEQ4 x CML 352 tuvo el mayor PCG a través de ambientes y por tanto fue la de mayor tamaño de grano, ya que según Billeb y Bressani (2001) el PCG es un indicador del tamaño de grano, y entre mayor sea el PCG mayor será el tamaño de grano. En contraste, la crusa LAEQ3 x CML 352 tuvo el menor peso, con 29.3 g.

Bajo una densidad de 65 000 plantas por hectárea (densidad similar a la utilizada por Vázquez *et al.*, 2013), el 56 % de las cruzas y el híbrido trilineal TSIRI PUMA resultaron de textura dura (15 - 24 % IF). Carrera y Cervantes (2006) mencionan que a mayores

densidades de plantas se limita la formación de células y de gránulos de almidón, y por tanto se reducen la capacidad de crecimiento del endospermo y el tamaño de grano, aumentando su suavidad; es por ello que las cruzas simples aquí evaluadas mostraron texturas duras e intermedias, y si estas cruzas fueran destinadas para su uso por la industria de la nixtamalización, ambas texturas (dura e intermedia) son adecuadas para el proceso de nixtamalización, lo que agrega una cualidad más a los materiales de este trabajo.

En relación con el maíz de calidad proteínica, solo tres cruzas simples fueron superiores en 13.5 % a los contenidos de los testigos, cuyos porcentajes de proteína fueron 9 y 10 %. Respecto al porcentaje de triptófano (% TRP), cinco cruzas simples superaron a los testigos comerciales de un 9 a 20 %. Los valores de TRP que tuvieron estas cruzas se encuentran dentro del rango aceptable para ser considerados genotipos de alta calidad proteínica ( $>0.65$ ), lo que les agrega una cualidad más sobre el maíz normal.

En cuanto al contenido de lisina (% LIS), solo cinco cruzas resultaron superiores en este aminoácido en 25.29 % con respecto a los testigos.

La expresión de la calidad proteínica es compleja, y esto puede explicar el por qué no todas las cruzas evaluadas hayan sido sobresalientes. Es importante señalar que los niveles de los aminoácidos limitantes deben ser monitoreados mientras se están generando genotipos nuevos, debido a que se puede o no obtener un material con el genotipo o2o2 con niveles de lisina y triptófano iguales a los del maíz normal.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

La mejor combinación de potencial productivo, calidad comercial y proteínica se encontró en las cruzas simples experimentales LAEQ5 x CLM 354 y LAEQ4 x CLM 173, con rendimientos mayores a 8.0 t ha<sup>-1</sup>, buen porte de planta y una floración masculina intermedia que permitiría su uso en la conformación de híbridos trilineales para usarse en siembras de punta de riego o buen temporal. Con lo que respecta a las variables de calidad comercial, dichas cruzas, se identificaron como las mejores en el promedio de localidades.

Aunque ninguna de las cruzas evaluadas superó el 50 % para aminoácidos esenciales en comparación a los testigos comerciales, para así asegurar que el valor de dichos aminoácidos se duplicó, estas dos cruzas mencionadas por su productividad, sí presentaron valores aceptables de triptófano y lisina (0.75 -0.79 % de TRP, 3.5 % de LIS).

Por lo anterior, estos dos genotipos se recomiendan para que sean incorporados en los programas de mejoramiento genético de maíz, con la finalidad de mejorar el rendimiento y calidad del grano y, en consecuencia, sus derivados; estos materiales se podrían canalizar a la industria de nixtamalización para elaborar tortillas con mayor valor nutrimental para favorecer la nutrición de la población mexicana.

## **CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL**

- Billeb, S. A-C.; Bressani, R. 2001.** Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Arch. Latinoam. Nutr.51:86-94.
- Carrera, V. J-A.; Cervantes, S.T. 2006.** Respuesta a densidad de población de cruza de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. Revista Fitotecnia Mexicana. 29:331-338.
- Espinosa, C. A.; Gómez M. N.; Sierra M. M.; Caballero H. F.; Coutiño E. B.; Palafox C. A.; Rodríguez M. F.; García B. A.; Cano C.; Betanzos M. E. 2005.** Los maíces de Calidad Proteínica y la producción de semillas en México. Ciencia y desarrollo en internet. CONACYT. México. 10 p. Recuperado de: file:///D:/Sistema/Descargas/Maiz.pdf
- FAOSTAT. 2014.** Agricultural production. <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. Consultado el 20 de abril de 2016.
- Fernández, S. R.; Morales, C. L-A.; y Gálvez, M. A. 2013.** Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. Revista Fitotecnia Mexicana. 36 Supl. 3-A:275-283.
- FIRA. 2015.** Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2015.pdf). Consultado el 15 de abril de 2016
- Lafitte, H. R. 2001.** Fisiología del maíz tropical. *In*: El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. R. Paliwal (ed). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 94-106 pp.

- Manicacci, D.; Kulandaivelu, C.L.; Fourmann, M.; Arar, C.; Barrault, S.; Rousselet, A.; Feminias, N.; Consoli, L.; Francès, L.; Méchin, V.; Murigneux, A.; Prioul, J.L.; Charcosset, A.; and Darneval, C. 2009.** Epistatic interactions between Opaque2 transcriptional activator and its target gene CyPPDK1 control kernel trait variation in maize. *Plant Physiol.* 150 (1): 506 - 520.
- Mertz, E. T., L. S. Bates, and O. F. Nelson. 1964.** "Mutant Gene that Changes Protein Composition and Increase Lysine Content of Maize Endosperm". *Science*, 145-279.
- Mertz, T. 1994.** Thirty years of opaque 2 maize. *In: Quality Protein Maize. 1964-1994. Proceedings of the Symposium on Quality Protein Maize.* B. A. Larkins and E. T. Mertz (eds). EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG, Brazil. 1-10 pp.
- Paredes López O., L.F. Guevara, P.L.A. Bello. 2008-2009.** La nixtamalización. *Rev. Ciencias UNAM* 92/93:60-70.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).** Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. (en línea). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. Consultado el 16 de enero de 2015.
- Salazar, M. J.; Rivera, F. C-H.; Arévalo, G. S.; Guevara, E. A.; Malda, B. G.; y Rascón, C. Q. 2015.** Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente del cultivo de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 38 (1): 67-73.
- Salazar, M. J.; Guevara, E. A.; Malda, B. G.; Rivera, F. C-H.; y Salinas, M. Y. 2009.** Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal. *Tecnología Chihuahua.* 3:74-83.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; y Espinosa, C. A. 2010.** Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21: 21-29.

- Sierra M. M.; Palafox C. A.; Cano R. O.; Rodríguez M. F.; Espinosa C. A.; Turrent F. A.; Gómez M. N.; Córdova O. H.; Vergara Á. N.; Aveldaño S. R. 2004.** H-553C, híbrido de maíz de Calidad Proteínica para el Trópico Húmedo de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (1): 117-119.
- Stamp P., S. Chowchong, M. Menzi, U. Weingartner and O. Kaeser. 2000.** Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Science* 40: 1586-1587.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Valdivia, B. R.; y Virgen, V. J. 2014 a.** Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 883-891.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Valdivia, B. R.; y Andrés, M. P. 2014 b.** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52.
- Vasal, S. K. 2004.** High Quality Protein Corn. *In: Speciality Corns*. Hallauer, A. R. (ed). Second edition. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. 84-127 pp.
- Vasal, S. K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goerts. 1980.** Genetic Modifiers and Breeding Strategies in Developing Hard Endosperm Opaque-2 materials. *In: Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*. Pollmer, W. G., and R. H. Phipps (eds). Martinus Nijhoff Publishers. Amsterdam, Holland. Pp: 37-73.
- Vázquez, C. M-G.; Mejía, A. H.; Salinas, M. Y.; y Santiago, R. D. 2013.** Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36 (3): 225 – 232.
- Vázquez, C. M-G.; Santiago, R. D.; Salinas, M. Y.; Rojas, M. I.; Arellano, V. J-L.; Velázquez, C. G-A.; y Espinosa, C. A. 2012 a.** Interacción genotipo-ambiente

del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (3): 229-237.

**Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M.A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J.L.; y Gámez, V. A.J. 2016.** Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 27(1): 191-206.

**Zarkadas, C.G.; Hamilton, R.I.; Yu, Z.R.; Choi, V.K.; Khanizadeh, S.; Rose, N.G-W.; Pattison, P.L. 2000.** Assessment of the protein quality of 15 new northern adapted cultivars of quality protein maize using amino acid analysis. *J. Agric. Food Chem.* 48:5351-5361.

**Zepeda, B. R.; Carballo, C. A.; y Hernández, A. C.; 2009.** Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos del maíz. *Agrociencia*. 43:695-706.

## ANEXOS

### 1A. Comparación de medias para rendimiento y otras variables de cruzas simples de maíz QPM y testigos, evaluadas en el ciclo primavera verano. FESC-UNAM, 2014.

<b>Genotipo</b>	<b>REND</b>	<b>FM</b>	<b>ALT P</b>	<b>ALT M</b>	<b>LM</b>	<b>H/M</b>	<b>G/H</b>	<b>G/M</b>
LAEQ5 x CML 354	9392 a	88 a	217 a	105 ad	18 ab	16 be	32 ae	502 ae
LAEQ4 x CML 173	8815 ab	89 a	197 cd	96 cg	17 ac	14 e	32 ae	485 be
LAEQ2 x CML 173	8802 ab	89 a	219 ab	88 fh	18 ab	18 a	35 ac	629 a
LAEQ3 x CML 173	8764 ab	89 a	227 a	101 ae	19 a	17 ab	36 a	625 ab
LAEQ3 x CML 352	7976 ac	89 a	20 ad	110 a	17 ac	16 be	33 ae	490 ae
LAEQ5 x CML 173	7657 ad	86 a	215 ac	84 h	18 ab	16 be	36 ab	571 ad
LAEQ6 x CML 352	7547 ae	87 a	208 bd	101 ae	17 ac	15 de	32 ae	470 ce
LAEQ4 x CML 352	7539 ae	90 a	216 ac	109 ab	17 ac	15 de	31 be	465 ce
LAEQ6 x CML 173	7341 be	88 a	213 ad	98 ad	19 a	15 de	31 be	482 be
LAEQ5 x CML 352	7279 be	89 a	220 ab	104 ad	18 ab	17 ac	34 ad	584 ac
LAEQ6 x CML 354	6888 c-f	83 a	217 ac	104 ad	15 c	15 de	29 e	411 e
LAEQ1 x CML 352	6533 c-f	86 a	212 ad	101 ae	16 bc	17 ab	30 de	520 ae
H53 AE	6345 c-f	87 a	217 ab	107 ac	15 c	17 ab	29 e	500 ae
LAEQ4 x CML 354	6326 c-f	86 a	215 ac	95 dh	17 ac	16 be	34 ad	526 ae
LAEQ2 x CML 354	6111 d-f	85 a	221 ab	96 cg	16 bc	14 e	31 ce	440 de
TSIRI PUMA	6105 df	80 a	216 ac	109 ab	16 bc	16 be	32 ae	507 ae
LAEQ2 x CML 352	5790 eg	87 a	217 ab	91 eh	14 c	16 ad	30 de	444 ce
LAEQ3 x CML 354	5749 eg	83 a	220 ab	98 b-f	16 bc	15 cd	32 ae	461 ce
LAEQ1 x CML 173	5067 fg	86 a	202 bd	85 gh	16 bc	17 ab	32 ae	529 ae
LAEQ1 x CML354	4161 g	85 a	196 d	807 f-h	15 c	15 de	30 de	444 ce
<b>DHS</b>	<b>3291</b>	<b>8</b>	<b>19</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>106</b>

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). REND: Rendimiento de grano; FM: Floración masculina; ALT P: Altura de planta; ALT M: Altura de mazorca; LM: Longitud de mazorca; H/M: Número total de hileras por mazorca; H/M: Número total de hileras por mazorca; G/H: Número total de granos por hilera; G/M: Número total de granos por mazorca.

**2A. Comparación de medias para rendimiento y otras variables de cruza simples de maíz QPM y testigos, evaluadas en el ciclo primavera verano. CEVAMEX-INIFAP, 2014.**

<b>Genotipo</b>	<b>REND</b>	<b>FM</b>	<b>ALT PL</b>	<b>ALT M</b>	<b>LM</b>	<b>H/M</b>	<b>G/H</b>	<b>G/M</b>
LAEQ4 x CML 173	7896 a	82 ab	251 ac	107 ae	17 ac	18 a	33 ac	578 ab
LAEQ5 x CML 354	7890 a	80 ad	272 a	110 ad	17 ab	16 a	37 a	587 a
LAEQ5 x CML 173	6959 ab	79 ad	259 ab	94 ef	17 ac	15 a	34 ab	504 ac
LAEQ3 x CML173	6936 ab	83 a	260 ab	110 ad	18 a	14 a	34 ab	481 ad
LAEQ6 x CML 173	5786 ad	81 ac	244 ad	100 cf	17 ac	14 a	32 ad	442 ad
LAEQ4 x CML 352	5301 af	77 cd	237 be	106 be	14 be	14 a	30 be	411 bd
TSIRI PUMA	5517 be	76 d	238 be	108bd	15 ae	15 a	31 bd	480 ad
LAEQ4 x CML 354	5127 be	78 ad	261 ab	111 ac	14 be	15 a	32 ad	491 ad
LAEQ6 x CML 352	4930 cf	79 ad	235 be	120a	16 ad	14 a	32bd	454 ad
LAEQ3 x CML 352	4874 cf	79 ad	243 ad	108 ab	14 ae	15 a	30 be	445 ad
H53 AE	4561 dg	79 ad	256 ac	117 ab	14 ae	16 a	30 ad	512 ac
LAEQ2 x CML 352	3941 ei	80 ad	245 ad	97 df	13 ce	17 a	29 cf	489 ad
LAEQ5 x CML 352	3770 ei	78 bd	260 ab	114 ab	14 be	14 a	29 cf	420 bd
LAEQ1 x CML 352	3136 fi	79 ad	259 ab	104 be	16 ab	16 a	29 cf	459 ad
LAEQ3 x CML 354	3054 fi	77 cd	223 de	98 cf	12 e	15 a	26 eg	394 cd
LAEQ1 x CML 173	3051 fi	77 cd	209 e	90 f	14 ae	16 a	30 be	480 ad
LAEQ6 x CML 354	2995 gi	77 d	237 be	111 ab	13 ce	14 a	28 dg	411 bd
LAEQ2 x CML 354	2888 hi	78 bd	226 ce	99 ab	12 e	15 a	25 fg	368 cd
LAEQ2 x CML173	2432 i	78 ad	247 ad	106 be	12 e	17 a	32 bd	527 ac
LAEQ1 x CML 354	2180 i	79 ad	207 e	104 bd	12 e	14 a	23 g	334 d
<b>DMS</b>	1885	5	32	14	3	4	3	164

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). REND: Rendimiento de grano; FM: Floración masculina; ALT P: Altura de planta; ALT M: Altura de mazorca; LM: Longitud de mazorca; H/M: Número total de hileras por mazorca; H/M: Número total de hileras por mazorca; G/M: Número total de granos por hilera; G/M: Número total de granos por mazorca.

**3A. Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruza simples QPM y testigos comerciales de grano de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. FESC-UNAM, 2014.**

<b>Genotipo</b>	<b>PH</b>	<b>PCG</b>	<b>IF</b>	<b>DUREZA</b>	<b>PRO</b>	<b>TRP</b>	<b>LIS</b>
LAEQ6 x CML 354	74 a	32 fh	55 c	I	9.6 bd	0.67 bd	2.7 e i
LAEQ4 x CML352	74 a	35 bd	22 g	D	9.8 ad	0.57 fh	2.6 fj
LAEQ1 x CML352	73 a	31 hj	10 j	MD	10.6 ab	0.49 hi	2.5 fj
LAEQ2 x CML352	73 a	30 ij	19 gi	D	9.2 de	0.65 bf	3.1 bd
LAEQ5 x CML 354	73 a	32 gi	19 gh	D	9.4 cd	0.78 a	3.2 ab
LAEQ3 x CML354	73 a	31 ij	40 e	I	9.9 ad	0.54 gh	2.8 cg
LAEQ3 x CML352	73 a	35 bd	15 hj	D	10.7 a	0.7 ac	2.4 ik
LAEQ4 x CML354	73 a	39 a	13 ji	D	10.4 ac	0.72 ab	2.3 jk
LAEQ5 x CML 173	73 a	31 hj	18 gi	D	9.5 cd	0.44 i	2.5 fj
LAEQ6 x CML 352	73 a	36 b	10 j	D	9.2 de	0.62 cg	2.8 cg
LAEQ2 x CML354	72 a	33 eg	64 b	S	9.1 de	0.71 ac	2.7 ei
LAEQ1 x CML173	72	30 ij	17 hi	D	9.9 ad	0.6 eg	2.9 cg
LAEQ3 x CML173	71 ab	31 hj	46 d	I	9.9 ad	0.65 bf	2.1 k
LAEQ2 x CML173	71 ab	33 df	33 f	D	10 ad	0.44 i	2.4 hk
TSIRI PUMA	71 ab	33 df	23 g	D	10.1 ad	0.57 eh	2.7 dh
LAEQ1 x CML354	70 ab	30 j	11 j	MD	9.9 ad	0.66 be	3 be
LAEQ5 x CML 352	70 ab	34 ce	21 gh	D	9.9 ad	0.55 gh	2.5 gk
LAEQ6 x CML 173	70 ab	35 cd	51 cd	I	9.8 ad	0.44 i	2.6 fj
LAEQ4 x CML173	70 ab	36 bc	73 a	I	9.5 cd	0.65bf	3.1 ac
H 53 AE	67 b	32 gi	55 c	I	8.3 e	0.71 ac	3.4 a
<b>DMS</b>	<b>4.1</b>	<b>1.6</b>	<b>5.5</b>		<b>0.98</b>	<b>0.09</b>	<b>0.36</b>

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). PH: Peso hectolítrico; PCG: Peso de cien granos; IF: Índice de flotación; PRO: Porcentaje de proteína; TRP: Porcentaje de triptófano; LIS: Porcentaje de lisina.

**4A. Comparación de medias para calidad comercial y proteínica de cruza simples QPM y testigos comerciales de grano de maíz, evaluadas en el ciclo primavera verano. CEVAMEX-INIFAP, 2014.**

<b>Genotipo</b>	<b>PH</b>	<b>PCG</b>	<b>IF</b>	<b>DUREZA</b>	<b>PRO</b>	<b>TRP</b>	<b>LIS</b>
TSIRI PUMA	81 a	33 ad	26 f	D	10 fh	0.75 ad	2.9 bc
LAEQ3 x CML173	80 ab	33 ac	39 d	D	9.9 gh	0.64 i	2.9 b
LAEQ5 x CML 173	79 b	30 dg	16 h	D	9.7 gh	0.65 fi	2.6 cd
LAEQ4 x CML173	79 b	36 a	39 d	I	9.6 h	0.63 i	3.5 a
LAEQ6 x CML 173	77 c	34 ab	51 b	I	10 eh	0.7 df	2.5 d
LAEQ3 x CML352	76 cd	33 ac	27 f	D	11 bc	0.64 gi	2.5 d
LAEQ2 x CML352	75 de	29 eh	16 h	D	10 dg	0.78 ab	3.4 a
LAEQ4 x CML352	75 de	29 fh	39 d	I	11 cd	0.69 eg	2.4 d
LAEQ1 x CML352	74 ef	30 eg	14 h	D	11 c	0.62 i	2.5 d
LAEQ3 x CML354	73 fg	28 fh	39 d	I	10 gh	0.8 a	3.6 a
LAEQ6 x CML 352	73 fg	30 eg	20 g	D	11 c	0.52 j	2.3 d
LAEQ6 x CML 354	73 gh	30 eg	38 de	I	11 ce	0.53 j	2.5 d
LAEQ5 x CML 354	72 gh	27 gh	61 a	I	10 eh	0.73 be	3 b
LAEQ1 x CML173	72 hi	32 ce	21 g	D	10 gh	0.61 i	2.9 b
LAEQ1 x CML354	72 hi	30 cg	26 f	D	9.9 gh	0.79 a	3.5 a
LAEQ4 x CML354	72 hi	33 ac	45 c	I	12 aa	0.69 eh	2.8 bc
LAEQ5 x CML 352	72 hi	35 ab	24 fg	D	10 gh	0.64 gi	3 b
LAEQ2 x CML354	71 ij	26 h	40 d	I	12 ab	0.71 ce	2.8 bc
LAEQ2 x CML173	70 j	26 h	35 e	D	11 cf	0.73 be	3.1 b
H 53 AE	68 k	31 cf	39 d	I	9.9 gh	0.76 ac	3.5 a
<b>DMS</b>	<b>1.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.8</b>		<b>0.7</b>	<b>0.05</b>	<b>0.28</b>

Medias con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). PH: Peso hectolítrico; PCG: Peso de cien granos; IF: Índice de flotación; PRO: Porcentaje de proteína; TRP: Porcentaje de triptófano; LIS: Porcentaje de lisina.