



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**VALORACIÓN AGROMORFOLÓGICA, DE
RENDIMIENTO DE GRANO Y CAROTENOIDES EN
MAÍCES AMARILLOS NATIVOS DE MÉXICO**

BENJAMÍN HERNÁNDEZ VÁZQUEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

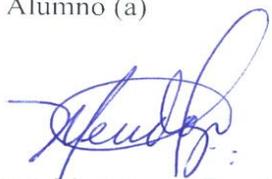
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Benjamín Hernández Vázquez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Ma. del Carmen Mendoza Castillo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Valoración agromorfológica, de rendimiento de grano y carotenoides en maíces amarillos nativos de México

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 29 de Junio de 2018



Firma del
Alumno (a)



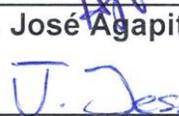
Ma. del Carmen Mendoza Castillo
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada "**Valoración agromorfológica, de rendimiento de grano y carotenoides en maíces amarillos nativos de México**", realizada por el alumno: **Benjamín Hernández Vázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

Consejera	 Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo
Asesor	 Dr. Fernando Castillo González
Asesora	 Dra. Adriana Delgado Alvarado
Asesor	 Dr. Ricardo Lobato Ortiz
Asesor	 Dr. José Agapito Pecina Martínez
Asesor	 Dr. J. Jesús García Zavala

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2018

VALORACIÓN AGROMORFOLÓGICA, DE RENDIMIENTO DE GRANO Y CAROTENOIDES EN MAÍCES AMARILLOS NATIVOS DE MÉXICO

Benjamín Hernández Vázquez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La riqueza en diversidad genética de maíces (*Zea mays* L.) nativos en México representa considerables posibilidades de uso en programas de mejoramiento, mediante la exploración, identificación y caracterización del germoplasma base, para lograr incrementar el rendimiento (Rto) y las características de interés. El objetivo de este estudio fue evaluar las características agromorfológicas y de rendimiento de grano, así como el potencial productivo de carotenoides, de 100 poblaciones de diferente origen geográfico de México. En campo se realizaron experimentos uniformes en dos localidades, durante dos ciclos agrícolas. El mayor rendimiento se tuvo en Montecillo, donde hubo poblaciones que alcanzaron 8460 kg ha⁻¹, mientras que en Tecámac 7296 kg ha⁻¹. La diversidad agronómica y de mazorca expresada en las poblaciones evaluadas, permitió detectar aquellas cuyo rendimiento y características de precocidad, planta y mazorca, son factibles de aprovechamiento para la formación de variedades comerciales. En el contenido de carotenoides totales (CT) hubo poblaciones con 26.84 µg g⁻¹ y líneas con 20.89 µg g⁻¹, que correspondieron también con las de valores mayores de luteína (4.42, 5.71 µg g⁻¹), zeaxantina (10.72, 14.28 µg g⁻¹) y carotenoides con actividad provitamina A (4.95, 4.91 µg g⁻¹, respectivamente). También fueron los genotipos que visualmente tuvieron pigmentación amarillo intenso, por lo que la selección visual por color de grano puede ser una estrategia factible de aplicar en las primeras etapas de fitomejoramiento, orientado a la búsqueda de variedades de maíz amarillo con mayor contenido de carotenoides. Sin embargo, es preciso auxiliarse aún de métodos analíticos lo cual dado su alto costo podría ser considerado en las etapas finales del proceso de fitomejoramiento por selección visual.

Palabras clave: *Zea mays* L., carotenoides, poblaciones maíz, provitamina A, maíz amarillo

**AGROMORPHOLOGICAL ASSESSMENT AND GRAIN AND CAROTENOID
PERFORMANCE OF MEXICAN NATIVE YELLOW MAIZE**

**Benjamín Hernández Vázquez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2018**

ABSTRACT

The richness in genetic diversity of native maize (*Zea mays* L.) in Mexico represents considerable possibilities for their use in breeding programs, through the exploration, identification and characterization of the base germplasm to achieve increases in grain yield (Rto) and other traits of interest. The objective of this study was to evaluate agromorphological traits and grain yield characteristics, as well as the productive potential of carotenoids, of 100 populations from different geographical origins of Mexico. In the field, uniform experiments were carried out at two locations, during two agricultural cycles. The highest yield was produced in Montecillo, where there were populations that yielded 8460 kg ha⁻¹, while in Tecámac it was up to 7296 kg ha⁻¹. The agronomic and ear diversities in the evaluated populations allowed us to identify those whose grain yield and earliness, plant and ear characteristics make them feasible to use in the formation of commercial varieties. In the content of total carotenoids (CT) there were populations with 26.84 µg g⁻¹ and lines with 20.89 µg g⁻¹, which also corresponded with those of highest values of lutein (4.42, 5.71 µg g⁻¹), zeaxanthin (10.72, 14, 28 µg g⁻¹) and carotenoids with provitamin A activity (4.95, 4.91 µg g⁻¹, respectively). These populations were also the genotypes with grain that visually had an intense yellow pigmentation, so that the visual selection by grain color can be a feasible strategy to apply in the early stages of plant breeding, this being oriented to the search of varieties of yellow corn with higher content of carotenoids. However, it is still necessary to use analytical methods for selecting the best varieties, but given their high costs they could be considered at the final stages of the plant breeding process by visual selection.

Key words: *Zea mays* L., carotenoids, maize populations, provitamin A, yellow corn.

DEDICATORIA

A mis padres Luvia Natividad Vázquez Espinoza y Ramiro Hernández Gómez por sus esfuerzos y apoyo incondicional.

A mi familia, Joel, Miriam, Alex, Yadi, Toño, Mateo, Natalia por apoyarme, y compartir siempre momentos invaluableles.

A todas las personas, llámense profesor (a), compañero (a), amigo (a), quienes de alguna manera me han acompañado hasta hoy, aun en la distancia.

Al pueblo de México...

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para mis estudios de Doctorado en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, por los recursos humanos e infraestructura invertidos en mi formación académica.

A los integrantes de mi Consejo Particular: Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, Dr. Fernando Castillo González, Dra. Adriana Delgado Alvarado, Dr. Ricardo Lobato Ortiz, Dr. José A. Pecina Martínez, Dr. J. Jesús García Zavala; por el esfuerzo, la dedicación, el tiempo y el apoyo brindado, en la realización y revisión de esta investigación.

Al personal que me apoyó durante las diferentes fases del desarrollo de la investigación.

A los C. Miguel Gutiérrez Hernández y C. José Aguilar Cortés por su apoyo durante el trabajo de campo.

Al Laboratorio de Calidad de Maíz del CIMMYT a cargo de la Dra. Natalia Palacios Rodríguez y su equipo por las facilidades brindadas para la medición de muestras para determinación de carotenoides

A la familia Flores Canto por su amistad y apoyo durante en esta etapa de mi formación.

A Leo, Lucy, Nery, Patricio, Nestor, Moises, Luís, Francisco, Gerardo, Juan Jo', Benja, por su amistad y momentos compartidos durante este etapa.

CONTENIDO

	Pág.
CARTA DERECHOS AUTOR	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	7
1.1. Objetivo general	7
1.2. Objetivos específicos	7
HIPÓTESIS	8
CAPÍTULO I. VALORACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA DE MAÍZ AMARILLO	9
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
MATERIALES Y MÉTODOS	13
1.3. Material genético	14
1.4. Localidades	14
1.5. Diseño experimental	15
1.6. Variables	15
1.7. Agronómicas	15
1.8. Rendimiento y sus componentes	16
1.9. Análisis estadístico	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
CONCLUSIONES	30
LITERATURA CITADA	31

CAPÍTULO II. POTENCIAL AGRONÓMICO Y DE RENDIMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ AMARILLO	33
RESUMEN	33
ABSTRACT	34
INTRODUCCIÓN.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS	39
2.1. Material genético.....	39
2.2. Localidades.....	40
2.3. Diseño Experimental.....	42
2.4. Variables.....	43
2.5. Fenológicas.....	43
2.6. Morfológicas.....	43
2.7. Rendimiento y sus componentes.....	43
2.8. Análisis estadístico	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
CONCLUSIONES.....	55
LITERATURA CITADA	56
CAPÍTULO III. CAROTENOIDES EN MAÍZ AMARILLO PARA VALLES ALTOS DE MEXICO	58
RESUMEN	58
ABSTRACT	59
INTRODUCCIÓN.....	60
MATERIALES Y MÉTODOS	69
3.1. Material genético.....	69
3.2. Poblaciones	69
3.3. Líneas S3.....	70
3.4. Preparación de muestras.....	70
3.5. Cromatografía líquida de ultra alta resolución (UPLC).....	71
3.6. Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).....	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
CONCLUSIONES.....	87
LITERATURA CITADA	88
DISCUSIÓN GENERAL.....	92

CONCLUSIONES GENERALES 101
LITERATURA CITADA DE INTRODUCCION Y DISCUSIÓN GENERAL..... 103
APÉNDICE..... 106

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables agronómicas y morfológicas de la evaluación de grupos de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	24
Cuadro 2. Valores promedio para floraciones y características morfológicas y de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en dos localidades durante los años 2014 y 2015.	25
Cuadro 3. Valores promedio de localidades para floraciones y características morfológicas y de rendimiento, en la evaluación de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	26
Cuadro 4. Promedios de grupos de poblaciones de maíz amarillo para variables agronómicas y morfológicas. Montecillo y Tecámac. Edo. Méx. 2014 y 2015	29
Cuadro 5. Poblaciones de maíz evaluadas por su potencial agronómico. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	40
Cuadro 6. Ambientes de evaluación de poblaciones de maíz amarillo, determinados por la combinación de localidad y fecha de siembra. Primavera–Verano 2014 y 2015.....	42
Cuadro 7. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado y significancia estadística para rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	46
Cuadro 8. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas en cinco ambientes de evaluación de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	48
Cuadro 9. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de una muestra de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.....	51
Cuadro 10. Rendimiento de grano y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de las diez poblaciones de maíz amarillo sobresalientes y su comportamiento en los cinco ambientes de evaluación. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.	53
Cuadro 11. Contenido de carotenoides en una muestra de poblaciones y líneas S ₃ de maíz amarillo obtenidos por UPLC.	79
Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de carotenoides totales, estimado con NIRS en poblaciones de maíz de grano amarillo.....	82

Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de carotenoides totales, estimado con NIRS en líneas S ₃ de maíz de grano amarillo.....	82
Cuadro 14. Contenido de carotenoides totales (µg g ⁻¹) en una muestra de poblaciones y una muestra de líneas S ₃ de maíz, analizadas con NIRS.	83
Cuadro 15. Rendimiento de grano y sus componentes, variables agronómicas y carotenoides totales de las 40 poblaciones sobresalientes evaluadas en Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dispersión de poblaciones de maíz de grano amarillo con base en tres componentes principales. Se muestran los grupos identificados en el análisis de conglomerados.	19
Figura 2. Dendograma de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en Montecillo y Tecámac, Estado de México.	23
Figura 3. Estructura química de los carotenoides.....	63
Figura 4. Ruta biosintética simplificada de los carotenoides.	66
Figura 5. Cuarteo de granos para obtener la muestra representativa de 50 granos por población y por línea.	71
Figura 6. Distribución de la variación (%) para el contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en 51 genotipos de maíz amarillo.....	75
Figura 7. Distribución de la variación (%) para el contenido de Luteína (a) y Zeaxantina (b) en 51 genotipos de maíz amarillo.....	75
Figura 8. Distribución de la variación (%) para el contenido de carotenoides con actividad provitamina A en 51 genotipos de maíz amarillo.....	77
Figura 9. Distribución de la variación (%) para el contenido ($\mu\text{g g}^{-1}$) de provitamina A en 51 genotipos de maíz amarillo.....	78
Figura 10. Carotenoides totales en líneas S_3 y poblaciones de maíz con diferentes tonos de pigmentación.....	81
Figura 11. Distribución de la variación en el contenido de Carotenoides Totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano) en poblaciones de maíz amarillo, estimado con NIRS.	86
Figura 12. Distribución de la variación en el contenido de Carotenoides Totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano) en líneas S_3 de maíz amarillo, estimado con NIRS.....	86

INTRODUCCIÓN GENERAL

En el mundo el consumo de cereales varía según la región; el trigo es el cereal preferido en Asia Central, Medio Oriente, Norte América y Europa; el arroz es el principal cereal en Asia, mientras que el maíz es preferido en el sur y este de África, América Central y México.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cereales más importantes en la alimentación humana; es el alimento básico para más de 200 millones de personas; y con una población creciente, estimada en ocho mil millones de habitantes para 2025, la problemática para el abastecimiento de alimentos, sobre todo en países en desarrollo, se acrecentará (Lutz *et al.*, 2001; USDA, 2009), por lo que el cultivo de maíz toma relevancia en el contexto de alimentación y nutrición global. Además, aunado a que el maíz es uno de los productos de consumo más comercializados (Fernández, 2007), tanto por el interés en la alimentación humana como por sus usos industriales, su amplia diversidad representa un enorme potencial como cultivo por sus múltiples usos que la planta puede tener; además es, dentro de los cereales más importantes, el único que puede consumirse como verdura y como grano seco (Perales, 2009).

El maíz es un componente importante en los diferentes productos alimenticios derivados del proceso industrial, tales como cereales procesados, aceites comestibles, pasteles, salsas, yogurt, bebidas carbonatadas, dulces, productos farmacéuticos, pinturas, lubricantes y muchos otros productos industriales de uso cotidiano (Perales, 2009). Además de los anteriores, en los países industrializados en los últimos años la

producción de combustible con base en etanol de maíz ha adquirido importancia, por lo que se ha modificado el destino de la producción de este cereal, lo que ha causado una serie de problemas, como el bajo abastecimiento para la producción de alimentos balanceados y otros subproductos (Fernández, 2007).

Por otro lado, la deficiencia en nutrientes en poblaciones de países en desarrollo es un problema grave, lo cual se acentúa para los cuatro millones de niños que en el mundo sufren deficiencia severa de vitamina A, incluyendo a los 250 mil a 500 mil que anualmente se quedan parcial o totalmente ciegos (WHO, 2017). Otra parte de la población que sufre deficiencia de vitamina A, son alrededor de 20 millones de mujeres embarazadas, y en México, se estima que cerca de 45 millones de personas sufren deficiencias nutrimentales. Así pues, para atacar la problemática de la desnutrición y la deficiencia de micronutrientes en las personas, se sugieren diversas estrategias como la diversificación de la dieta, suplementación, fortificación y biofortificación (WHO, 2017). Esta última, es un método efectivo y económico para mejorar el contenido de micronutrientes de los cultivos, tales como vitaminas y minerales a través de fitomejoramiento, prácticas agronómicas o biotecnología moderna. La biofortificación de cultivos básicos como el maíz (Stylianopoulos *et al.*, 2002) puede ser una estrategia para poder llegar a poblaciones donde la fortificación convencional puede ser difícil de implementar.

El valor nutricional del maíz es superior al de muchos otros cereales, excepto en su contenido de proteínas (Castañeda, 2011); contiene aproximadamente 72% de almidón, 10% de proteína y 4% de grasa, proporcionando una densidad energética de 365 Kcal /

100 g (Nuss *et al.*, 2010); además proporciona muchas de las vitaminas B y minerales esenciales junto con la fibra, pero carece de otros nutrientes, como la vitamina B-12 y vitamina C, y es, en general, una fuente pobre de calcio, ácido fólico y hierro. Sin embargo, es de destacar la capacidad antioxidante de los granos de maíz, que es superior a la de otros cereales como trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena sativa* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) (Adom y Lui, 2002; De la Parra *et al.*, 2007).

La función antioxidante presente en los granos de maíz es atribuida a los pigmentos contenidos en ellos (Adom y Liu, 2002; Pozo *et al.*, 2006), tales como los carotenoides que dan el color al endospermo de los granos de maíz amarillo o naranja. Dentro de estos carotenoides están el grupo de las xantofilas y el grupo de los carotenos. En el primer grupo, se encuentran la luteína, zeaxantina y β -criptoxantina, mientras que en el grupo de los carotenos están β -caroteno, α -caroteno y γ -caroteno. De estos carotenoides, los cuatro principales dentro del endospermo del maíz son la luteína, β -criptoxantina, zeaxantina y β -caroteno (Weber, 1987; Bucner *et al.*, 1996; Moros *et al.*, 2002). Estos compuestos tienen interés nutricional por su contribución al mantenimiento de la salud humana debido a las propiedades benéficas de su actividad antioxidante (Rao y Agarwal, 2000).

Los carotenoides como antioxidantes eliminan e inhiben factores pro-inflamatorios y pro-trombóticos, por lo que pueden proporcionar beneficios potenciales en la prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas (Fassett y Coombes, 2012). Así como la zeaxantina y la luteína son pigmentos carotenoides que ayudan en la prevención de la degeneración macular relacionada con la edad (Carpentier *et al.*, 2009),

los α -, β - y γ -carotenos, y la β -criptoxantina son carotenoides que tienen actividad de provitamina A y son precursores en la síntesis de retinoides, retinol (vitamina A), retinal (principal pigmento visual) y ácido retinoico (Blomhoff *et al.*, 1992; Fraser y Bramley 2004; Krinsky y Johnson, 2005; USDA, 2009); de estos, el β -caroteno tiene la mayor actividad de vitamina A, mientras que β -criptoxantina y α -caroteno tienen aproximadamente la mitad de la actividad de la vitamina A respecto a β -caroteno.

La vitamina A es de suma relevancia, al encontrarse que la deficiencia de ésta es causa de ceguera infantil y está asociada a una reducción a la función inmune y mayor riesgo de mortalidad por enfermedades gastrointestinales y sarampión (Maida *et al.*, 2008), y esto se agrava cuando en poblaciones específicas de países en desarrollo, la dieta de carotenoides no proporciona la vitamina A diaria requerida (Olson, 1994).

En México, centro de origen del maíz, los grupos étnicos, durante el proceso de domesticación, dieron lugar a una amplia variabilidad de características de planta, mazorca y grano (Johanessen *et al.*, 1970). Esta gran diversidad de maíz generada por nuestras etnias ha dado lugar a la clasificación de 59 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández X., 1985; Sánchez *et al.*, 2000), cuya importancia económica, social y cultural se basa en la preferencia local, lo que ha permitido su conservación y su biodiversidad.

Aunque se cuenta con una amplia variabilidad genética en la diversidad del maíz mexicano (Sánchez *et al.*, 2000), su utilización en programas de mejoramiento genético en nuestro país se ha limitado a una pequeña proporción de las más de 50 razas, y dentro de ellas, a unas cuantas poblaciones en cada región agrícola (Molina, 1990).

En México, cada año se siembran más de 7.5 millones de hectáreas con maíz, con una producción que supera los 22 millones de toneladas anuales (SIAP, 2017), de las cuales gran parte de la producción es de maíz blanco para alimentación humana. Aunque México es productor de maíz, la demanda supera los 32 millones de toneladas para satisfacer la demanda nacional (Damián *et al.*, 2013), por lo que anualmente se recurre a la importación de más de 10 millones de toneladas de maíz amarillo para uso industrial y para la alimentación animal (Espinosa *et al.*, 2011; Espinosa *et al.*, 2013; Velázquez, 2015), lo que representa la erogación de más de 2300 millones de dólares (AFP, 2017).

La producción de maíz en México por lo general se enfoca a dos tipos de maíz: el de grano blanco y el de amarillo; sin embargo, por tradición las personas prefieren el maíz blanco, y el amarillo está en desventaja debido a que los productores se resisten a la siembra de maíz amarillo por tener un precio más bajo, además de que es asociado a la alimentación animal (Castañeda, 2011). No obstante, la aceptación del maíz amarillo para el consumo humano, podría significar el consumo de micronutrientes, tales como los carotenoides precursores de vitamina A presentes en mayores concentraciones en maíz amarillo y naranja. A pesar de la resistencia de los productores a la siembra de maíz amarillo, la producción en México alcanzó 3.5 millones de toneladas en 2016, con un crecimiento anual de 7% durante la última década (SIAP, 2017). Los Estados que concentran la mayor producción (94 %) de maíz amarillo son Jalisco (35 %), Michoacán (25 %), Sinaloa (21 %) y Guanajuato (13 %), sin embargo, el volumen de producción es insuficiente para satisfacer la demanda de más de 15 millones de toneladas de este tipo de maíz, por lo que es necesario incentivar la producción de maíz amarillo (SIAP, 2017)

a nivel nacional; con ello se tendría en el país maíz de mejor calidad y se evitaría la erogación de grandes cantidades de recursos financieros.

La riqueza que posee México en diversidad genética de maíces nativos representa inmensas posibilidades para su aprovechamiento en programas de mejoramiento genético del maíz, mediante la exploración y caracterización del germoplasma disponible, para incrementar el rendimiento y las características de interés; con ello se podrían afrontar las necesidades actuales de la seguridad alimentaria del país. En relación con lo anterior, en este trabajo una de las estrategias que se siguió fue la exploración y aprovechamiento de los maíces nativos de color amarillo para identificar poblaciones que presenten los mejores atributos nutricionales. Con ello se pretende iniciar un programa de mejoramiento para la formación y adaptación de familias de maíces y líneas a fin de fijar los mejores caracteres que proveen mayores recursos nutricionales en el grano de maíz. También es tarea importante que los materiales mejorados biofortificados conserven sus propiedades el mayor tiempo posible durante el manejo en campo, cosecha y postcosecha, y que lleguen con la mejor calidad hasta el consumidor final.

OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Evaluar las características agronómicas, morfológicas, rendimiento de grano y el potencial productivo de carotenoides, de poblaciones de maíz amarillo de diferente origen geográfico de México.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la capacidad productiva, características agronómicas y morfológicas de poblaciones de maíz amarillo.
- Evaluar e identificar el potencial genético de germoplasma de maíz amarillo de poblaciones procedentes de ambientes ecológicos contrastantes de México.
- Determinar los tipos de carotenoides presentes en poblaciones nativas de maíz amarillo e identificar aquellas con potencial para su aprovechamiento como fuente de germoplasma para programas de mejoramiento con fines nutracéuticos.

HIPÓTESIS

- La diversidad genética de maíces nativos amarillos en México es una fuente amplia de aprovechamiento para generar maíces con mejores características agronómicas, fenológicas, productivas y de calidad nutracéutica.
- Existen maíces amarillos con altos rendimientos y contenido de carotenoides que pueden ser competitivos a las variedades comerciales.
- Es posible identificar poblaciones de maíz amarillo nativas de México dentro de la diversidad en el contenido de carotenoides con actividad provitamina A y antioxidante.
- La selección visual y su relación con el contenido de carotenoides en maíces amarillos es un método confiable dentro del programa de mejoramiento de maíces con contenido de carotenos con actividad provitamina A y antioxidante.

CAPÍTULO I. VALORACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA DE MAÍZ AMARILLO

RESUMEN

El potencial genético de los maíces (*Zea mays* L.) nativos y su adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de cada región en particular, pueden ser aprovechadas en los programas de mejoramiento, y atender las demandas para alimentar la producción animal y minimizar la importación de maíz amarillo. El objetivo de este trabajo fue valorar poblaciones de maíz amarillo de diferente origen geográfico de México y evaluar su comportamiento agromorfológico para identificar grupos y/o poblaciones adaptadas, con expresión favorable para ambientes de Valles Altos de México. Se evaluaron 100 poblaciones de maíz de grano amarillo en 2014 y 2015, en el Estado de México, y se registraron sus caracteres morfológicos y agronómicos. Los análisis de componentes principales y de conglomerados definieron ocho grupos, los cuales mostraron diferencias significativas para las variables fenológicas entre años, localidades, grupos y las interacciones, que evidenciaron la diversidad y variabilidad del comportamiento del germoplasma evaluado. Los resultados permitieron observar una gama amplia de opciones para aprovechar características como la precocidad, planta de porte bajo a medio, tamaño de mazorca y rendimiento de grano. Por su buen comportamiento, los materiales nativos presentaron características agronómicas y de adaptación al ambiente, de Valles Altos, por lo que se pueden aprovechar en los programas de mejoramiento genético para áreas óptimas, de temporal y de condiciones restrictivas.

Palabras clave: *Zea mays*, maíz amarillo, diversidad genética, potencial agronómico, características morfológicas.

ABSTRACT

The genetic potential of native maize (*Zea mays* L.) and its adaptability to the agroclimatic conditions of each region in particular can be exploited in breeding programs to meet the demands for animal feeding and minimize the import of yellow corn. The objective of this work was to evaluate populations of yellow corn of different geographical origin of Mexico and to evaluate their agromorphological behavior to identify groups and/or adapted populations with favorable expression for environments in the High Valleys of Mexico. One hundred populations of yellow grain maize were evaluated in 2014 and 2015, in the State of Mexico, and their morphological and agronomic traits were recorded. The main components and conglomerates analyzes defined eight groups, which showed significant differences for the phenological variables among years, localities, groups and interactions, which evidenced the diversity and variability in performance of the evaluated germplasm. Results allowed us to observe a wide range of options to take advantage of their characteristics, such as earliness, low to medium size plant, ear size and grain yield. Due to their good behavior, the native materials showed agronomic and adaptation characteristics to the environmental conditions of Mexican High Valleys, so they can be used in breeding programs to generate materials for optimal areas, rainfed and for restrictive conditions.

Key words: *Zea mays*, yellow corn, genetic diversity, agronomic potential, morphological characteristics

INTRODUCCIÓN

Por su participación en la producción de proteína animal, en el consumo humano y en el uso industrial, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más predominante en los mercados internacionales (Hernández, 2014). El grano de maíz es el alimento básico para más de 200 millones de personas y se estima que este número crezca, a medida que la población mundial alcance los ocho mil millones de habitantes en 2025 (USDA, 2009).

En México, cada año se siembran de siete a ocho millones de hectáreas de maíz, en 2.3 millones de unidades de producción, y la producción cosechada supera los 22 millones de toneladas anuales; sin embargo, se requieren 32.1 millones de toneladas para satisfacer la demanda nacional (Damián *et al.*, 2013). Del total requerido, diez millones de toneladas de grano amarillo se necesitan para la industria (Espinosa *et al.*, 2011), y son las que usualmente se tienen que importar, pues México sigue siendo deficitario, lo que provoca que el país sea de los principales importadores, principalmente de Estados Unidos (Velázquez, 2015). Bajo este escenario, en México existe la intención de incrementar dicha producción y satisfacer la demanda anual para fines pecuarios e industriales, principalmente en la elaboración de almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol, aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa y proteínas (Espinosa *et al.*, 2011; 2013).

Para incentivar la producción de maíz amarillo, en 2013 se anunció el programa para la reconversión de maíz blanco a maíz amarillo, basado en la lógica de que México es

excedentario en producción de maíz blanco, pero deficitario en la producción de maíz amarillo. La estrategia de este programa estimula la producción a gran escala de maíz amarillo en México proyectada hacia 2020, que incluye la programación de superficie agrícola, tecnologías de alta productividad para reducir costos e incrementar rendimientos, agricultura por contrato, financiamiento, acciones de logística y desarrollo de proveedores. En este sentido, la semilla mejorada, junto con los fertilizantes y plaguicidas, son insumos importantes para aumentar la productividad de maíz (García *et al.*, 2014); sin embargo, la falta de semilla mejorada, aunado a la necesidad de un mejor manejo del riesgo agrícola, mayores garantías en la producción de alimentos en cantidad suficiente, los usos especiales y características únicas que las hacen insustituibles en la elaboración de gran variedad de platillos tradicionales, y las diferentes propiedades bioquímicas y nutrimentales que se han encontrado en las variedades nativas, determinan la preferencia por el uso de esta semilla (Fernández *et al.*, 2013).

Es urgente que se destine apoyo a la producción de maíz amarillo con asistencia técnica y paquetes tecnológicos donde se incluya la generación de semillas mejoradas, más aún cuando en México el consumo anual promedio de semilla durante el periodo 2008/2010 fue de 160 mil toneladas: 95 % correspondió a maíz blanco y solo 5 % a maíz amarillo. Sesenta y ocho mil toneladas fueron de semilla mejorada y las restantes 92 mil toneladas fueron de semillas nativas. Las cifras anteriores indican que más de la mitad de la superficie sembrada con maíz no utiliza semilla mejorada y que se tiene una amplia brecha para elevar el potencial productivo del grano. Durante ese mismo periodo, la importación anual de semilla de maíz amarillo fue de nueve mil seiscientas toneladas, que abastecieron las necesidades de mercado, lo que significó una producción nacional

de semilla mejorada de maíz amarillo inexistente o marginal, con la consecuente dependencia del mercado externo y los altos costos de la semilla (García *et al.*, 2014).

México tiene una riqueza grande de diversidad genética de maíz nativo, y su potencial de rendimiento y su adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de cada región en particular son características que pueden ser aprovechadas en los programas de mejoramiento, con el fin de atender las demandas de la producción animal local, regional y nacional, y con ello minimizar la importación de maíz amarillo. Es entonces necesario la exploración y aprovechamiento de las poblaciones nativas de maíz amarillo como fuente de germoplasma para la obtención de híbridos y variedades de polinización libre de alto potencial de rendimiento y valor nutracéutico. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue valorar poblaciones de maíz amarillo de diferente origen geográfico de México y evaluar su comportamiento agromorfológico para identificar grupos y/o poblaciones adaptadas, con expresión favorable para ambientes de los Valles Altos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de 2010, el Programa de Mejoramiento Genético de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el Estado de México, inició con la adaptación, cruzamiento y estabilización de poblaciones de maíz de grano amarillo, originarias de varias regiones agroecológicas de México.

1.3. Material genético

El material genético evaluado consistió de: 14 poblaciones de planta pigmentada, 14 poblaciones con origen común (elotes occidentales x vandeño negro), 11 poblaciones del programa de mejoramiento genético del Dr. Moisés Mendoza Rodríguez[†] de la Universidad Autónoma Chapingo [5 poblaciones con origen común (Vs-209 x ama dulce) y 6 con origen común en uno de sus progenitores (MMR-2 H)], 3 poblaciones con origen común en alguno de sus progenitores Tucel 60 (erecta), 3 poblaciones con Uruguay 177A oro, y 2 poblaciones con origen común en el progenitor (ama x pulga palomero), 19 poblaciones nativas (3 de Tlaxcala, 8 de Puebla, 4 del Estado de México, 1 de Oaxaca, 1 de la Meseta Comiteca de Chiapas y 2 de Ocampo, Tamaulipas), 20 poblaciones con origen común, donde uno de sus progenitores fue alguna colecta de Puebla, 14 compuestos sobresalientes por tamaño de mazorca, número de hileras y color de grano, y el híbrido comercial H-San Marcos.

1.4. Localidades

Se establecieron cinco ensayos uniformes en dos localidades: Montecillo (19° 29' N y 98° 53' O, 2250 msnm, temperatura y precipitación pluvial media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente, y clima Cb (wo) (w) (i') g y Tecámac (19° 35' N y 98° 55' O, 2298 msnm, temperatura media anual de 14.9 °C y 586 mm de precipitación media anual, y clima Bs₁kw(w)(i') g)) (García, 1988); ambas localidades en el Estado de México, durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2014 y 2015.

1.5. Diseño experimental

El trabajo se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de un surco de 5 m de largo y 0.80 m entre surcos. Para el ciclo 2014 las fechas de siembra fueron 8 de mayo en Montecillo y 2 de junio en Tecámac. Para 2015, la siembra se hizo el 15 de mayo en Montecillo, y en Tecámac el 21 de mayo y 12 de junio en primera y segunda fecha de siembra, respectivamente. La siembra se hizo depositando dos semillas por golpe cada 0.25 m y después de la segunda escarda se aclaró para dejar 21 plantas por parcela experimental y mantener una densidad de población de 50000 plantas ha⁻¹.

1.6. Variables

1.7. Agronómicas

Para valorar las 100 poblaciones y el híbrido H-San Marcos, se registraron datos de las variables: vigor (VGR, como la apariencia de las plántulas en escala 1 a 5, donde 1 fue muy vigorosa y 5 con poco vigor); días a floración masculina (Dfm) y femenina (Dff) considerando el periodo de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la unidad experimental liberaron polen y expusieron estigmas, respectivamente; asincronía floral (AF) como la diferencia entre Dfm y Dff. También, en cinco plantas por unidad experimental se registró la altura de planta (Ap) y de mazorca (Amz) en cm, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; posición de la mazorca (Posmz) como la relación entre

Ap/Amz; cuateo (Cua) como porcentaje de plantas con dos mazorcas; plantas jorras (Jor) como el porcentaje de plantas sin mazorca con respecto al número total de plantas.

1.8. Rendimiento y sus componentes

Para obtener los componentes del rendimiento se utilizaron cinco mazorcas representativas de cada población en cada unidad experimental, y se midió el peso (g) de mazorca (Pmz); longitud (cm) de mazorca (Lmz), diámetro (cm) de mazorca (Dmz, tomado en su parte media); número de hileras por mazorca (Hmz); número de granos por hilera (Ghil); índice de desgrane (Id, calculado como el porcentaje de grano con respecto al peso de la mazorca). Posteriormente, las mazorcas de cada parcela se desgranaron y se registró el peso (g) del grano por mazorca (Pgmz); diámetro de olote (Do, en cm, tomado en su parte media); y profundidad de grano (cm) (Profgr, como la diferencia entre Dmz y Do dividida entre dos). El rendimiento de grano por hectárea (kg ha^{-1}) ajustado a 14 % de humedad, se determinó con la fórmula: $R_{to} = RP \cdot (100 - PHG) / 86 \cdot ID \cdot (10000 / D)$, donde: RP = Peso de mazorcas en la unidad experimental (kg), PHG = % humedad del grano al momento de cosecha, 86 = factor para estandarizar el rendimiento a 14 % de humedad, Id = índice de desgrane, D = superficie de la parcela experimental (m^2).

Con la información obtenida (excepto la de rendimiento de grano), se realizó el análisis de componentes principales (CP) con la matriz de correlaciones entre caracteres, mediante el procedimiento PRINCOMP de SAS® (SAS Institute Inc., 2013); se elaboró una gráfica con los tres primeros componentes que permitió ubicar a las poblaciones dentro de grupos. Sucesivamente se hizo un análisis de conglomerados con el

procedimiento CLUSTER de SAS® (SAS Institute Inc., 2013), con información transformada a la normal estándar y promedio de grupos que permitió la identificación de grupos.

1.9. Análisis estadístico

Con las variables Dfm, Dff, Ap, Amz, Lmz, Dmz, Hmz, Ghil, Pgmz y Rto, se analizó el potencial agronómico y de rendimiento mediante un análisis de varianza combinado mediante SAS® version 9.4 (SAS Institute Inc., 2013) para años, localidades y los grupos formados por el análisis de conglomerados, así como la prueba de Tukey (0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de componentes principales (CP) mostró que en conjunto los tres primeros componentes explicaron 75.06 % de la variación fenotípica entre las poblaciones evaluadas, con valores propios de 6.90, 3.65 y 2.94, para CP1, CP2 y CP3, lo cual corresponde a 38.38, 20.32 y 16.37 % de la variabilidad total, respectivamente.

Según los valores de los vectores propios, CP1 tuvo mayor asociación con las variables Pgmz, Pmz, Dmz, Amz y Posmz (tamaño de mazorca y planta). CP2 se asoció con las variables Dfm, Dff y Hmz (fenología). Para CP3 las variables As, Jor, Id y Profg, Lmz y Do (dimensiones del grano en la mazorca) presentaron la mayor asociación. Al graficar la dispersión de las poblaciones en el espacio determinado por esos tres primeros componentes principales se pudo observar la integración de al menos ocho grupos.

La dispersión de las poblaciones con base en CP1, CP2 y CP3 (Figura 1) mostró que las poblaciones fueron contrastantes en su comportamiento, evidenciando que provienen de zonas geográficas diferentes de México y que genéticamente son contrastantes entre sí. El 95 % de las poblaciones se agruparon en cuatro conjuntos grandes: en el cuadrante negativo de CP1 y positivo de CP2 y CP3 se ubicaron 14 poblaciones que se asemejan por su precocidad (73 Dfm), porte bajo en planta y mazorca (179 y 83 cm), mazorcas medianas (13.4 cm), delgadas (4.1 cm) y con bajo peso (89.4 g). En el cuadrante positivo de los tres CP se ubicó un grupo de seis poblaciones de ciclo intermedio (82 Dfm), plantas de porte alto (245 cm), posición de mazorca media (0.62), mazorcas de longitud media (15.2 cm), gruesas (5.0 cm) y pesadas (160 g). Ocho poblaciones se concentraron en el cuadrante medio de CP1 y positivo de CP2 y CP3, caracterizadas por ser precoces (75 Dfm), plantas de porte medio (213 cm), con mazorca en posición media (0.60), mazorcas de longitud y diámetro medianos (13.2 y 4.7 cm) y de peso medio (116 g). En la parte media de la dispersión se ubicó el grupo con la mayor porción de poblaciones (67 %), las cuales correspondieron a poblaciones provenientes de cruza interpoblacionales y compuestos balanceados formados con poblaciones sobresalientes, caracterizadas por su precocidad (76 Dfm), porte de planta y posición de la mazorca media (208 y 117 cm), mazorcas largas y diámetro intermedio (16.6 cm y 4.7 cm).

Se pudo observar que hubo poblaciones que se alejaron de la concentración de los grupos grandes (Figura 1), éstas se dispersaron con base en su ciclo biológico, porte de planta y longitud de mazorca. Así, se tuvieron tres poblaciones en el cuadrante positivo de CP2, que se asemejan por las floraciones tardías, aunque se observó que dos de ellas provienen de Ocampo, Tamaulipas y se ubicaron en la parte media de CP1, y en el

cuadrante negativo de CP3; la otra población es originaria de la región de Comitán, Chiapas, y se ubicó en el cuadrante positivo de CP1 y negativo de CP3, con posición de mazorca alta, mazorcas largas y de diámetro medio. La población proveniente de Miquihuana, Tamaulipas se ubicó en el cuadrante positivo de CP2, y negativo de CP1 y CP3, lo que la ubicó como de ciclo intermedio, posición de la mazorca intermedia, mazorca de longitud intermedia y delgada. La población de Oaxaca fue la más precoz, de porte bajo y mazorcas medianas, esta se ubicó en los cuadrantes negativos de CP1, CP2 y CP3 (Figura 1).

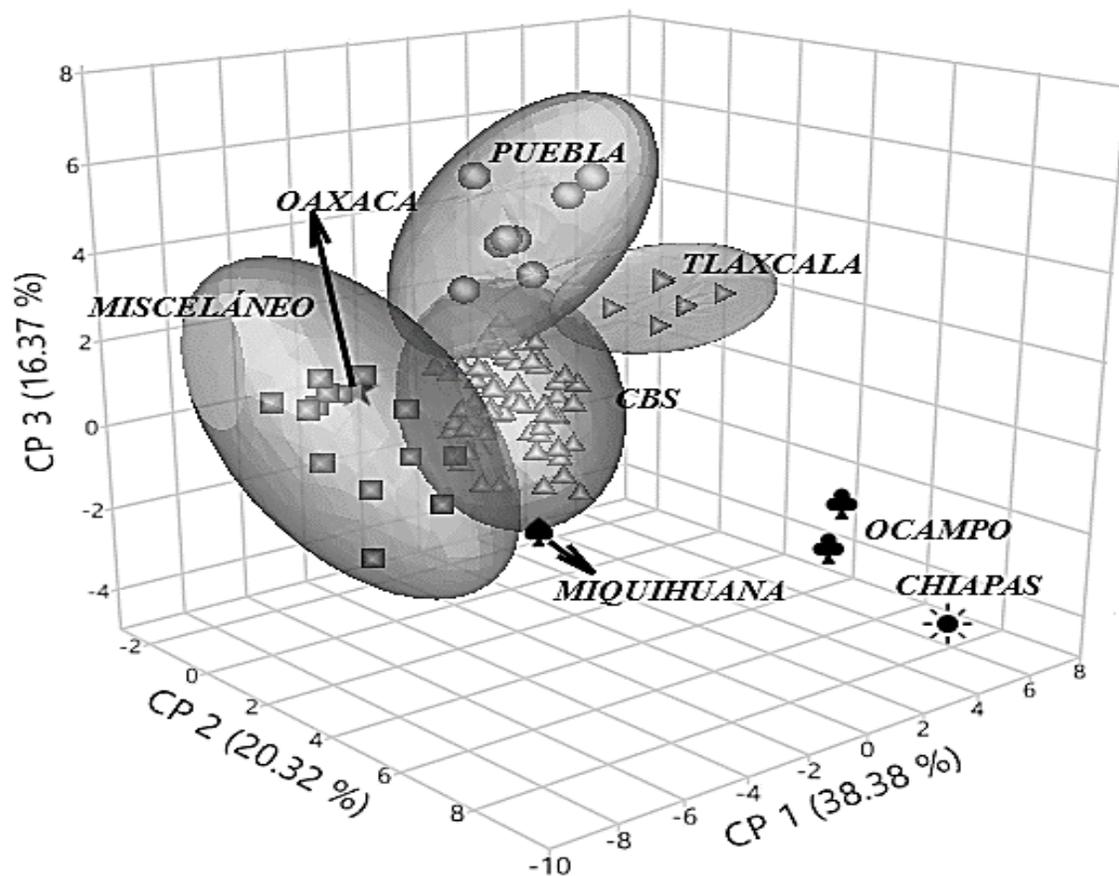


Figura 1. Dispersión de poblaciones de maíz de grano amarillo con base en tres componentes principales. Se muestran los grupos identificados en el análisis de conglomerados. ♣: Ocampo, ☼: Chiapas, ★: Oaxaca, ◆: Miquihuana, ■: Misceláneo, ▷: Tlaxcala, ○: Puebla, ▲: Compuestos Balanceados (CBS).

En el análisis de conglomerados se definieron ocho grupos, con base en las medidas de similitud; en este análisis se observó diversidad, principalmente para duración del ciclo biológico y características de mazorca. Las poblaciones con floraciones tardías y mazorcas grandes se ubicaron en la parte superior del dendrograma, mientras que aquéllas con ciclo precoz, y mazorcas de tamaño intermedio se ubicaron en el extremo opuesto (Figura 2). El grupo Ocampo, se caracterizó por presentar floraciones tardías, mazorcas delgadas con diez hileras por mazorca. La población de Comitán, formó el grupo Chiapas, que tuvo plantas tardías (98 Dfm), plantas altas con posición de mazorca muy alta, mazorcas largas (> 18 cm) y diámetro de mazorca intermedio (4.4 cm). El grupo Oaxaca fue el más precoz (67 Dfm), de mazorca pequeña (12.4 cm) y con el menor número de granos por hilera. El grupo Miquihuana se caracterizó por tener plantas con floración intermedia (81 Dfm), porte medio (202 cm de altura), mayor porcentaje de cuateo y longitud de mazorcas intermedia (13.5 cm). El grupo Misceláneo se formó por 14 poblaciones, y se caracterizó por ser de plantas precoces (73 Dfm), baja altura de planta y de mazorca (179 y 83 cm, respectivamente) y con el menor peso de mazorca y de grano por mazorca. El grupo Tlaxcala lo conformaron cinco poblaciones de ciclo intermedio, plantas de porte alto, con los valores más altos en diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, peso de mazorca, peso de grano y profundidad de grano. El Grupo Puebla se formó por 8 poblaciones, que fueron de ciclo precoz, plantas de porte medio, posición de mazorca alta, mazorcas intermedias (13.2 cm) y diámetro de mazorca de 4.5 a 4.7 cm. El grupo Compuestos Balanceados fue el más numeroso, pues 67 % de las poblaciones se concentraron en este grupo, donde las floraciones oscilaron entre 73 y 84 días (precoces), altura de planta media (184 a 229 cm), altura de mazorca media (97 a

133 cm), longitud de mazorca de 14 cm y diámetro de 4.6 cm, con peso de mazorca medio de 128 g (Cuadro 4).

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) mostró diferencias altamente significativas entre años para las variables Rto, Ap, Amz, Lmz y Ghil, así como entre localidades, grupos y poblaciones dentro de grupos, para todas las variables estudiadas; también se detectaron diferencias significativas entre localidades para Hmz. En la interacción años x localidades se encontró significancia estadística para Rto y altamente significativa para Dfm, Dff, Ap, Amz, Lmz, Dmz y Hmz. La interacción años x grupos fue significativa para Lmz y Ghil y altamente significativa para Rto, Dfm, Dff, Ap y Amz. Para las interacciones localidades x grupos, años x localidades x grupos, años x poblaciones dentro de grupos, localidades x poblaciones dentro de grupos y años x localidades x poblaciones dentro de grupos se tuvieron diferencias significativas y altamente significativas en al menos 57 y 38 % de las variables evaluadas, respectivamente.

La significancia en las variables fenológicas entre años, localidades, grupos y las interacciones revelan la diversidad y variabilidad de respuestas en el ciclo vegetativo del germoplasma evaluado, así como su capacidad de respuesta diferenciada año con año y bajo los ambientes de prueba, lo que las hace susceptibles de ser aprovechadas dentro de programas de mejoramiento genético, lo que también es mencionado en otros trabajos y en diferentes variables donde tuvieron resultados similares (Pecina *et al.*, 2011; Hortelano *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2014).

En 2014 las poblaciones fueron significativamente más precoces, con floraciones promedio diferentes por un día, y se tuvieron las mayores alturas de planta y de mazorca. La longitud de mazorca y número de granos por hilera fueron inferiores durante el ciclo agrícola de 2014, mientras el diámetro y número de hileras por mazorca no mostraron diferencias significativas; sin embargo, se tuvo una diferencia significativa en el rendimiento de grano hasta de 300 kg promedio menos, con respecto a 2015; esta diferencia se pudo deber a mazorcas más largas y mayor número de granos por hilera (Rafiq *et al.*, 2010; Reddy *et al.*, 2013) (Cuadro 2) y a las mejores condiciones ambientales prevalecientes en 2015, sobretodo en la mayor y mejor distribución de precipitación que se dio durante el desarrollo del cultivo.

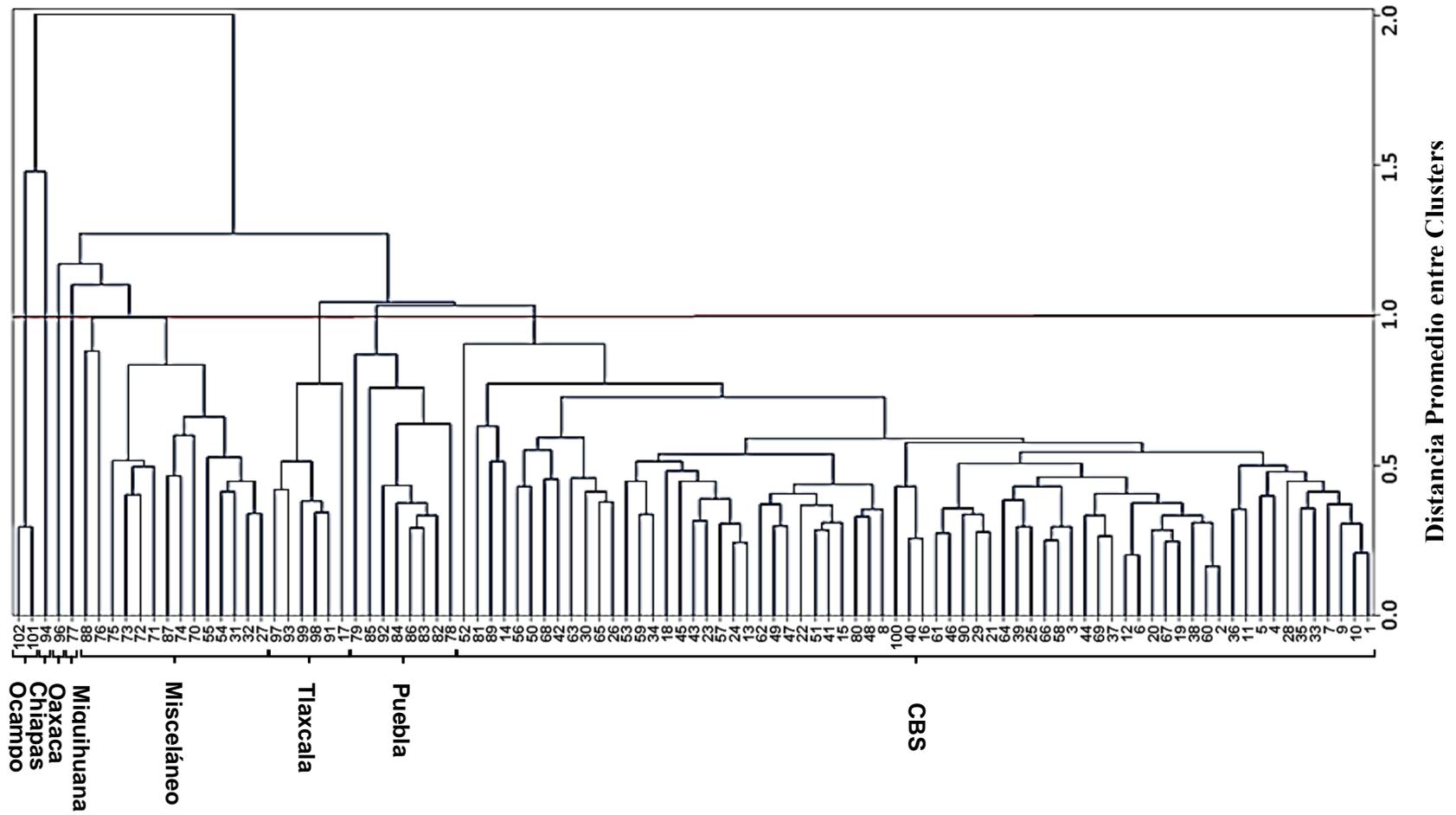


Figura 2. Dendrograma de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en Montecillo y Tecámec, Estado de México. Grupos: Ocampo, Chiapas, Oaxaca, Miquihuana, Misceláneo, Tlaxcala, Puebla, Compuestos Balanceados (CBS).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables agronómicas y morfológicas de la evaluación de grupos de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Fuente	GL	Rto (Kg ha ⁻¹)	Lmz cm	Dmz cm	Hmz #	Ghil #	Dfm	Dff	Ap Cm	Amz cm
A	1	24294329 **	48.7 **	0.07 ns	0.5 ns	83.6 **	4.8 ns	19.7 ns	135352.8 **	42208.1 **
L	1	229311780 **	302.0 **	9.93 **	8.2 *	1191.7 **	296.0 **	492.3 **	167297.6 **	66933.9 **
A*L	1	3507010 *	18.3 **	0.61 **	17.5 **	17.6 ns	442.1 **	499.6 **	24459.1 **	7761.3 **
R(A*L)	12	1241041 ns	5.8 **	0.36 **	2.6 *	40.5 **	37.7 **	50.3 **	4732.1 **	9212.0 **
G	7	192348866 **	141.4 **	13.47 **	185.1 **	457.5 **	4565.1 **	4660.8 **	87114.7 **	94070.1 **
P(G)	93	7374033 **	6.4 **	0.40 **	10.0 **	31.3 **	97.5 **	91.4 **	1494.9 **	1506.2 **
A*G	6	3317750 **	4.3 *	0.04 ns	0.4 ns	24.1 *	13.7 **	20.0 **	2348.9 **	1804.0 **
L*G	7	14663755 **	7.0 **	0.22 **	1.6 ns	29.9 **	56.0 **	33.2 **	1473.7 **	1791.0 **
A*L*G	6	6129828 **	3.0 ns	0.24 **	3.9 **	18.1 ns	64.1 **	60.7 **	817.1 **	531.1 **
A*P(G)	91	3048193 **	2.3 **	0.12 **	2.0 **	9.6 ns	10.0 **	12.2 **	321.9 **	373.6 **
L*P(G)	93	1590631 **	1.2 ns	0.06 ns	1.3 ns	6.6 ns	16.5 **	13.7 **	225.5 ns	210.4 **
A*L*P(G)	91	1933001 **	1.0 ns	0.06 ns	1.4 ns	6.5 ns	9.1 **	9.3 **	202.0 ns	136.4 ns
Error ^{&}	1566	842323	1.5	0.06	1.3	10.8	4.7	5.5	203.5	131.0
CV (%)		20.9	8.6	5.37	8.0	11.3	2.8	3.0	6.9	9.8

*, **, ns: significativo ($P \leq 0.05$, 0.01) y no significativo; Rto: rendimiento de grano; Dfm: días a floración masculina; Dff: días a floración femenina; Ap: altura de planta; Amz: altura de mazorca; Lmz: longitud de mazorca; Dmz: diámetro de mazorca; Hmz: número de hileras por mazorca; Ghil: número de granos por hilera; A: Años; L: Localidades; G: Grupos; P: Poblaciones; R: Repeticiones; CV: coeficiente de variación. [&]GL del Error para Dfm, Dff= 1576; y para Ap, Amz, Lmz, Dmz, Hmz, Ghil = 1573.

Cuadro 2. Valores promedio para floraciones y características morfológicas y de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en dos localidades durante los años 2014 y 2015.

Año	Rto (kg ha ⁻¹)	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Hmz #	Ghil #	Dfm	Dff	Ap (cm)	Amz (cm)
2014	4242 b	14.1 b	4.6 a	14.6 a	28 b	76 b	78 b	229 a	128 a
2015	4452 a	14.5 a	4.6 a	14.5 a	29 a	77 a	79 a	194 b	109 b
Dhs	111	0.24	0.06	0.16	0.64	0.61	0.71	6.9	9.6

Rto: rendimiento de grano; Dfm: días a floración masculina; Dff: días a floración femenina; Ap: altura de planta; Amz: altura de la mazorca; Lmz: longitud de mazorca; Dmz: diámetro de mazorca; Hmz: número de hileras por mazorca; Ghil: número de granos por hilera; Dhs: diferencia honesta significativa. Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales.

Entre localidades, la respuesta diferenciada entre poblaciones se puede atribuir a la variabilidad genética de los diferentes grupos que muestran diferente capacidad para responder a las condiciones ambientales prevalecientes en cada localidad. En Tecámac, las condiciones fueron más restrictivas para el desarrollo del cultivo de maíz, con clima más seco y menor promedio de precipitación, comparado con Montecillo, que tuvo mejores condiciones para el cultivo, pues las plantas crecieron bajo riego, con mayor temperatura, precipitación y humedad relativa.

Las siembras en Montecillo fueron tres días más precoces y las alturas de planta y de mazorca fueron significativamente 17 y 19 % mayores con respecto a las que resultaron en Tecámac; esto pudo deberse en parte a las condiciones más frías y secas en la localidad de Tecámac, puesto que la altura de planta y la altura de mazorca están influenciadas por el ambiente (Lagos *et al.*, 2015). Las poblaciones exhibieron un mayor desarrollo vegetativo expresado en altura de planta, bajo el clima menos frío de Montecillo; además las dimensiones de la mazorca fueron significativamente mayores, lo

que se reflejó en mayor rendimiento de grano, de hasta 27 % más con respecto a Tecámac (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio de localidades para floraciones y características morfológicas y de rendimiento, en la evaluación de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Localidad	Rto (kg ha ⁻¹)	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Hmz	Ghil	Dfm	Dff	Ap (cm)	Amz (cm)
Montecillo	5212 a	15.1 a	4.7 a	14.6 a	30 a	74 b	77 b	232 a	132 a
Tecámac	3803b	13.9 b	4.5 b	14.5 b	28 b	77 a	80 a	192 b	106 b
Dhs	111	0.24	0.06	0.16	0.64	0.61	0.71	6.9	9.6

Rto: rendimiento de grano; Dfm: días a floración masculina; Dff: días a floración femenina; Ap: altura de planta; Amz: altura de la mazorca; Lmz: longitud de mazorca; Dmz: diámetro de mazorca; Hmz: número de hileras por mazorca; Ghil: número de granos por hilera; Dhs: diferencia honesta significativa. Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales.

Los promedios en los diferentes grupos formados por el análisis de conglomerados se muestran en el Cuadro 4, para las variables agronómicas, de mazorca y de rendimiento de grano. Por su floración los grupos Ocampo y Chiapas tuvieron las poblaciones más tardías (≥ 90 días), seguidos por los grupos Miquihuana y Tlaxcala como intermedios (81 y 82 Dfm), los grupos Misceláneo, Puebla y Compuestos Balanceados fueron los precoces (73, 75 y 76 días) y el grupo Oaxaca, con floraciones \leq a 70 días, fue el más precoz de los aquí evaluados. La mayor altura de planta la presentaron los grupos Ocampo, Chiapas y Tlaxcala (249, 295 y 245 cm, respectivamente); los grupos Oaxaca, Miquihuana, Puebla y Compuestos Balanceados, tuvieron porte medio (194, 202, 213 y 208 cm, respectivamente) y el grupo Misceláneo (179 cm) de plantas resultó con porte bajo. Para altura de la mazorca, el grupo Chiapas fue de posición muy alta (≥ 160 cm); en los grupos Ocampo, Tlaxcala y Puebla fue alta (entre 121 y 160 cm); los grupos

Miquihuana y Compuestos Balanceados fueron de altura media (entre 100 y 120 cm); y los grupos Oaxaca y Misceláneo resultaron con mazorca baja (entre 61 a 100 cm); se considera que menor altura de mazorca podría significar un mayor número de hojas que provean fotoasimilados a la mazorca y, en consecuencia un mayor rendimiento de grano (Lambert, 2010; Lambert *et al.*, 2014, Bahena *et al.*, 2017). Con respecto a las características de la mazorca, el grupo Chiapas tuvo significativamente las mazorcas más largas (18.5 cm), con diferencias hasta de 6.0 cm con respecto al grupo Oaxaca que tuvo las mazorcas más cortas (12.4 cm); los grupos Ocampo, Tlaxcala y Compuestos Balanceados fueron estadísticamente iguales, con longitud de mazorca intermedia entre (14.3, 15.2 y 14.6 cm), mientras los grupos Miquihuana, Misceláneo y Puebla fueron estadísticamente iguales, con longitud de mazorca intermedia entre 13.2 y 13.5 cm. El diámetro de mazorca fue mayor en el grupo Tlaxcala, con diferencia de hasta 22 % con respecto a las mazorcas de las poblaciones del grupo Ocampo. Para el número de hileras por mazorca, los grupos Tlaxcala, Puebla y Compuestos Balanceados tuvieron los valores más altos, que correspondieron también a las de mayor diámetro de mazorca; mientras que el grupo Chiapas tuvo el mayor número de granos por hilera, que coincidió también con la mayor longitud de mazorca. Los grupos Chiapas, Tlaxcala y Compuestos Balanceados fueron estadísticamente iguales en rendimiento de grano y tuvieron los valores más altos; estas poblaciones presentaron el mayor número de hileras por mazorca y tendencia hacia mayor número de granos por hilera, dos de los principales componentes del rendimiento (Pecina *et al.*, 2011) (Cuadro 4).

Los resultados muestran la amplia gama de opciones de uso que existen en estas poblaciones de maíz de grano amarillo, para aprovechar las características genéticas y

fenotípicas dentro de los programas de mejoramiento, como son la precocidad (grupos Oaxaca, Misceláneo, Puebla y Compuestos Balanceados) y también poblaciones de porte bajo a medio, aptas para ambientes restrictivos para la producción o para su manejo en altas densidades de población bajo riego y altas dosis de fertilización, o poblaciones intermedias (grupos Miquihuana y Tlaxcala) para ambientes donde las condiciones ambientales sean más favorables. Así también se evidencia la existencia de poblaciones de grano amarillo con rendimientos atractivos, que específicamente se encuentran en los grupos Chiapas, Tlaxcala y Compuestos Balanceados en donde fueron superiores en 36, 32 y 35 % al rendimiento medio (3.68 y 3.72 t ha⁻¹) reportado para el DDR Texcoco en 2014 y 2015 (SIAP, 2017), y cercanos a lo reportado por otros trabajos con materiales mejorados (6000 kg ha⁻¹) (Herrera *et al.*, 2013). Aunado a lo anterior, se pudo constatar que los maíces nativos amarillos cuentan con características agronómicas y de adaptación al ambiente de Valles Altos, que se expresan en la amplia diversidad genética observada; estas características se pueden aprovechar en los programas de mejoramiento, para áreas de riego, temporal o condiciones restrictivas.

Cuadro 4. Promedios de grupos de poblaciones de maíz amarillo para variables agronómicas y morfológicas. Montecillo y Tecámac. Edo. Méx. 2014 y 2015

Grupo	<i>n</i>	Rto (kg ha ⁻¹)	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Hmz #	Ghil #	Dfm	Dff	Ap (cm)	Amz (cm)
Ocampo	2	3571 bc	14.3 b	3.9 e	10 d	30 b	103 a	106 a	249 b	152 b
Chiapas	1	4882 a	18.5 a	4.4 c	11 d	33 a	98 b	101 b	295 a	201 a
Oaxaca	1	3908 b	12.4 d	4.8 b	12 c	23 e	67 f	70 g	194 e	100 e
Miquihuana	1	3904 b	13.5 c	4.1 d	12 c	27 cd	81 c	83 d	202 de	113 d
Misceláneo	14	2714 d	13.4 c	4.1 d	13 b	27 cd	73 e	75 f	179 f	83 f
Tlaxcala	6	4755 a	15.2 b	5.0 a	15 a	29 bc	82 c	85 c	245 b	152 b
Puebla	8	3080 cd	13.2 cd	4.7 b	15 a	27 d	75 d	78 e	213 c	128 c
CBS	68	4844 a	14.6 b	4.7 b	15 a	30 b	76 d	78 e	208 cd	117 d
Dhs		640	0.86	0.17	0.81	2.29	1.51	1.63	9.9	8.0

n: número de poblaciones contenidas en cada grupo; Rto: rendimiento de grano; Dfm: días a floración masculina; Dff: días a floración femenina; Ap: altura de planta; Amz: altura de la mazorca; Lmz: longitud de mazorca; Dmz: diámetro de mazorca; Hmz: número de hileras por mazorca; Ghil: número de granos por hilera; Dhs: diferencia honesta significativa. Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales.

CONCLUSIONES

Se identificaron poblaciones de maíz amarillo para su uso en programas de mejoramiento genético, aprovechando características como precocidad, porte de planta, características de mazorca y rendimiento de grano.

Se detectó amplia diversidad fenotípica entre las poblaciones de maíz amarillo para los Valles Altos de México. Tal variación se expresó entre grupos de poblaciones, principalmente por su expresión agronómica y características de mazorca, lo cual se puede aprovechar para contribuir al desarrollo de nuevas variedades con potencial productivo y minimizar el desabasto nacional de maíz de grano amarillo.

Por su precocidad y mejores características de mazorca sobresalieron los grupos Tlaxcala y Compuestos Balanceados, mismas que presentaron los promedios de rendimiento más altos entre grupos, lo que las hace aptas para condiciones de riego y buen temporal; también, los grupos precoces; Oaxaca, Miquihuana, Misceláneo y Tlaxcala, expresaron buen potencial para su aprovechamiento en el fitomejoramiento para condiciones de ambiente restrictivo.

LITERATURA CITADA

- Bahena-Delgado, G., A. Castillo-Gutiérrez, E. Broa-Rojas, M. D. Olvera-Salgado, M. A. Jaime-Hernández, y F. García-Matías. 2017.** Respuesta Agronómica de Maíces Híbridos a la Fertirrigación en Xalostoc, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:531-543.
- Castro-Nava, S., C. A. Reyes-Méndez, y A. J. Huerta. 2014.** Diversidad Genética de Características del Área Foliar en Maíces Nativos de Tamaulipas Bajo Altas Temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(3): 217-223.
- Damián-Huato, M. A., A. Cruz-León, B. Ramírez-Valverde, O. Romero-Arenas, S. Romero-Limón, y L. Reyes-Muro. 2013.** Maíz, Alimentación y Productividad: Modelo Tecnológico Para Productores de Temporal de México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 10: 157-156.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, N. Gómez-Montiel, y B. Zamudio-González. 2013.** Rendimiento de Variedades Precoces de Maíz Grano Amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 24(1): 93-99.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, J. Virgen-Vargas, A. Palafox-Caballero, F. Caballero-Hernández, G. Vázquez-Carrillo, F. A. Rodríguez-Montalvo, R. Valdivia-Bernal, I. Arteaga-Escamilla, e I. González-Rojas. 2011.** V-55 A, Variedad de Maíz de Grano Amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34 (2): 149-150.
- Fernández-Suarez, R., L. A. Morales-Chávez, y A. Gálvez-Mariscal. 2013.** Importancia de los Maíces Nativos en la Dieta Nacional. Una Revisión Indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3-A): 275-283.
- García, E. 1988.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4ta edición. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. 217 p.
- García-Salazar, J. A., y R. Ramírez Jaspeado. 2014.** El Mercado de la Semilla Mejorada de Maíz (*Zea mays* L) en México. Un Análisis del Saldo Comercial por Entidad Federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (1):69-77.
- Hernández-Valtierra, F. J. 2014.** Situación Actual del Maíz. *El Economista*. 17/02/2014. <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/02/17/situacion-actual-maiz> (consultado, 14/02/17).
- Herrera-Cabrera, B. E., F. Castillo-González, R. A. Ortega-Pazkca, y A. Delgado-Alvarado. 2013.** Poblaciones Superiores de la Diversidad de Maíz en la Región Oriental del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1):33-43
- Hortelano-Santa Rosa, R., A. Gil-Muñoz, A. Santacruz-Varela, H. López-Sánchez, P. Antonio-López, y S. Miranda-Colín. 2012.** Diversidad Fenotípica de Maíces

Nativos del Altiplano Centro-Oriente del Estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2):97-109.

Lagos B., T. C., F. J. Torres M., A. C. Benavides C. 2015. Comportamiento Agronómico de Poblaciones de Maíz Amarillo *Zea mays* L. en la Región Andina del Departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32(1):12-23.

Lambert, R. J. 2010. Divergent selection for ear leaf area in maize. *Maydica* 55:155-161.

Lambert, R., B. D. Mansfield, and R. H. Mumm. 2014. Effect of Leaf Area on Maize Productivity. *Maydica* 59:58-64.

Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, y J. Ortiz-Cereceres. 2011. Rendimiento de Grano y sus Componentes en Maíces Nativos de Tamaulipas Evaluados en Ambientes Contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(2): 85–92.

Rafiq, C. M., R. Muhamad, H. Amer, and A. Muhamad. 2010. Studies on Heritability, Correlation and Path Analysis in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Research* 48: 35-38.

Reddy, V. R., J. Farzana, M. R. Sudarshan, and R. A. Seshagiri. 2013. Studies on Genetic Variability, Heritability, Correlation and Path Analysis in Maize (*Zea mays* L.) Over Locations. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology* 4(1):195-199.

SAS, Statistical Analysis System. 2013. Statistics Analysis System. Software Release 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.

SIAP, Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap> (Marzo, 2017).

USDA, United State Department of Agriculture. 2009. National Nutrient Database for Standard reference Available from: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>

Velázquez M., A. 2015. Observatorio de precios, Comentario de Maíz Amarillo. <http://observatoriodeprecios.com.mx/attachments/article/2651/comentario%20ma%C3%ADz%20amarillo%201-2015.pdf>. (Septiembre, 2016)

CAPÍTULO II. POTENCIAL AGRONÓMICO Y DE RENDIMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ AMARILLO

RESUMEN

En México, la producción de maíz amarillo (*Zea mays* L.) sigue siendo deficitaria. Por lo que enfocar el mejoramiento del maíz hacia el aprovechamiento de las variedades locales y de su potencial genético juega un papel importante. El objetivo de este trabajo fue evaluar y determinar el potencial productivo, agronómico y componentes de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo. Se evaluaron 100 poblaciones de maíz, en dos localidades durante 2014 y 2015. Se midieron variables agronómicas y de rendimiento. Se realizaron análisis de varianza por ambiente y combinado. Se encontró significancia ($P \leq 0.01$) y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ambientes (Amb), poblaciones (Pob) y en la interacción ambientes por poblaciones (Amb*Pob) para todas las variables evaluadas. Por ambiente, Montecillo en 2015 (Mt 2015) tuvo el mayor rendimiento (5618 kg ha^{-1}) y las mazorcas de mayor longitud, diámetro, granos por hilera, profundidad de grano, peso de grano y peso de mazorca. Entre ambientes, sobresalieron las poblaciones de ciclo intermedio, 100 (H-San Marcos), 40 (MMR-2 H x Pulga) y 58 (Pue 6495 x Uruguay) que tuvieron rendimiento de grano superiores a 8100 kg ha^{-1} en Montecillo en 2015. Los valores encontrados son prometedores en la búsqueda y aprovechamiento de los recursos genéticos del maíz, representados aquí por la amplia diversidad evaluada y por identificar materiales sobresalientes en zonas de producción de los Valles Altos.

Palabras clave: *Zea mays*, ambientes, maíz nativo, rendimiento de grano, mazorcas, recursos genéticos.

ABSTRACT

In Mexico, yellow corn (*Zea mays* L.) production continues to be deficient. Therefore, focusing the improvement of maize towards the use of local varieties and their genetic potential plays an important role. The objective of this work was to evaluate and determine the productive potential, agronomic and yield components of yellow corn populations. One hundred maize populations were evaluated in two locations during 2014 and 2015. Agronomic and yield traits were measured. Analysis of variance was performed by environment and combined. High significance ($P \leq 0.01$) and significant differences ($P \leq 0.05$) were found between environments (Amb), among populations (Pob) and in the interaction environments by populations (Amb * Pob) for all traits. By environment, Montecillo in 2015 (Mt 2015) had the highest yield (5618 kg ha^{-1}) and the longest ears, the best ear diameter, grains per row, depth of grain, weight of grain and weight of ear. Among environments, the intermediate cycle populations: 100 (H-San Marcos), 40 (MMR-2 H x Pulga) and 58 (Pue 6495 x Uruguay) excelled because their grain yield was higher than 8100 kg ha^{-1} in Montecillo in 2015. The values found are promising in the search and use of the genetic resources of maize, represented here by the wide diversity evaluated and by identifying outstanding materials in production areas of the High Valleys.

Key words: *Zea mays*, environments, native maize, grain yield, ears of corn, genetic resources.

INTRODUCCIÓN

Por su producción y consumo, el maíz (*Zea mays* L) es el alimento básico para más de 200 millones de personas; relevancia que se espera siga creciendo, en la medida que la población mundial siga creciendo; la estimación de la población mundial para el 2025 es de ocho mil millones de habitantes (USDA, 2009). El maíz es uno de los productos más acreditados en los mercados internacionales por sus cualidades alimenticias para el consumo humano, para la producción de proteína animal y para el uso industrial (Hernández, 2014) con producción mundial de 1 060.10 millones de toneladas en el 2016 (FAOSTAT, 2018)

El maíz es el cereal básico en la alimentación de la población mexicana con la asociación histórica de ser el centro de origen, domesticación y diversificación genética del cultivo (Wellhausen *et al.*, 1951).

Mediante el estudio de la variación morfológica y genética, y su relación con condiciones agroecológicas, se han reconocido complejos poblacionales con adaptación específica (Kato *et al.*, 2009). Con ese antecedente se han planteado estrategias para el mejoramiento genético del maíz que permitan incrementar el rendimiento y caracteres agronómicos de interés (García *et al.*, 2002)

Anualmente en México se siembran más de 7 millones de hectáreas con maíz. En el año 2016 se cultivaron 7.7 millones de hectáreas con maíz; de ellas 625 180 hectáreas correspondieron a maíz de grano amarillo con producción de 3 555 005 toneladas (SIAP,

2017). La demanda anual de maíz amarillo para el período 2016-2017 fue de 15.3 millones de toneladas, por lo que en 2016 se importaron 12.9 millones de toneladas, principalmente para uso en la ganadería y en la industria (ITC, 2017; SIAP, 2017).

Durante los últimos diez años, la producción nacional de maíz amarillo presentó un crecimiento anual de 7 %, lo que posicionó a México en séptimo lugar como país productor de maíz amarillo a nivel mundial, con aportación de 2 % de la producción mundial en 2014. México sigue siendo deficitario en el abasto de la demanda nacional de este tipo de grano, por lo que es uno de los principales países importadores, con introducciones de Estados Unidos principalmente (Velázquez, 2015); por lo que se requiere incrementar la producción nacional de maíz de grano amarillo (Espinosa *et al.*, 2008).

Bajo este escenario nacional, se ha planteado la intención de incrementar la producción de maíz de grano amarillo, para tratar de atender la demanda anual para fines pecuarios e industriales de 12.6 millones de toneladas.

Para fines industriales, a partir del grano de maíz amarillo se genera almidón, glucosa, alta fructosa, fibra, sorbitol (jarabe), aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa y proteínas, además de la fuerte demanda de maíz amarillo para la producción de etanol en Estados Unidos, principal proveedor de este producto (Espinosa *et al.*, 2011; 2013).

Entre los factores que limitan la producción de maíz en México está la diversidad de las condiciones de cultivo; por un lado, la sexta parte de la superficie se ubica en el norte del

país, con disponibilidad de riego, buenos suelos y fuerte inversión, con rendimientos altos, cercanos al promedio de EE.UU.; y por otro, la mayor parte del área de cultivo es de temporal en orografía accidentada y está dispersa por todo el país con rendimientos bajos; este indicador empeoró durante 2009-2010 con respecto a los tres años precedentes (SE, 2012). Para incentivar la producción, en 2013 se anunció el programa para la reconversión del cultivo de maíz blanco a maíz amarillo, basado en el supuesto que se tienen excedentes de producción de maíz blanco que se destina a consumo humano (tortilla), lo que genera problemas de comercialización, sobre todo en Sinaloa, Jalisco y el Bajío. La estrategia de este programa plantea el impulso de la producción de maíz amarillo en México para 2020, mediante la aplicación de tecnología de alta productividad para reducir costos e incrementar rendimientos, organizar la agricultura por contrato y el financiamiento, con el diseño de la logística y el desarrollo de proveedores (Ruíz, 2014). En la tecnología se considera el uso de semilla mejorada, fertilizantes y plaguicidas, como insumos importantes, sin embargo, en ausencia de semilla mejorada se usa la semilla nativa (García y Ramírez, 2014), con el agravante adicional de que las variedades disponibles en el mercado, presentan bajo potencial de rendimiento de grano, el cual es diez por ciento menor con respecto a las mejores variedades de grano blanco. Esta situación puede deberse al hecho que los programas de mejoramiento genético, públicos y privados, han concentrado sus esfuerzos en los maíces blancos, y se ha postergado la atención a la demanda de los maíces amarillos (Ramírez *et al.*, 2004).

Otra condición en contra ha sido la política de precios que han sido desventajosas para el maíz amarillo. Es inaplazable y plenamente justificado atender la necesidad de producción de maíz amarillo, desarrollando paquetes tecnológicos con asistencia técnica

adecuada a las necesidades de los productores, además del establecimiento de programas que generen semillas mejoradas (Ruiz, 2014), que permitan modificar la tendencia del consumo de semilla, que durante el periodo 2008/2010 fue en total 160 mil toneladas: 95 % correspondió a maíz blanco y sólo 5 % a maíz amarillo; de ello, sesenta y ocho mil toneladas correspondieron a semillas mejoradas (42.5 % del consumo total) y las restantes 92 mil toneladas fueron de semillas de poblaciones nativas. Más de la mitad de la superficie sembrada con maíz no utiliza semilla mejorada, por lo que se tiene un amplio potencial para elevar la capacidad productiva del cultivo. Durante ese mismo periodo, la importación anual de semilla de maíz amarillo fue de 9.6 mil toneladas, que abasteció las necesidades de mercado, siendo marginal la producción nacional de semilla mejorada de maíz amarillo, con la consecuente dependencia del mercado externo y los altos costos de la semilla (García y Ramírez, 2014).

En México existe potencial para reorientar el mejoramiento genético del maíz, sobre todo valorando la calidad de los maíces nativos, de modo que, el enfoque se amplíe; seguir con el énfasis de elevar el rendimiento de grano y la tolerancia a diferentes tipos de estrés, incorporando criterios de calidad culinaria, para las cuales existe la demanda de mercado (Hellin *et al.*, 2013). Bajo este escenario, se hace necesario el estudio y aprovechamiento de las poblaciones nativas de maíz que se cultivan en las diferentes regiones de México por las comunidades locales en un proceso de evolución bajo domesticación. El potencial genético de las variedades locales por su adaptación a las condiciones agroclimáticas específicas de cada región, además de sus atributos de calidad y capacidad productiva, se puede aprovechar en los programas de mejoramiento

a fin de atender las demandas de producción a nivel local, regional y nacional, y minimizar la dependencia externa del maíz de grano amarillo.

Por lo anterior se planteó como objetivo evaluar y determinar el potencial productivo, agronómico y componentes de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo en ambientes de Valles Altos.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material genético

En este trabajo se evaluaron en campo poblaciones de maíz amarillo, originarias de distintas regiones agroecológicas de México. Como antecedente, a partir de 2010 el Programa de Mejoramiento Genético del Área de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, en el Estado de México, inició la formación y evaluación de poblaciones de maíz amarillo. A partir de ahí, se evaluaron 28 poblaciones nativas de diverso origen agroecológico: 16 como poblaciones originales, y 12 poblaciones mejoradas del Programa de Fisiología Vegetal. Ambos grupos de poblaciones participaron en recombinaciones diversas que generaron 58 poblaciones en generaciones avanzadas. Otros 14 materiales fueron compuestos balanceados formados por poblaciones de la misma base genética sobresalientes por sus características de planta, mazorca o por color y apariencia del grano (Cuadro 5).

2.2. Localidades

Se establecieron cinco ensayos durante los ciclos agrícolas primavera-verano de 2014 y 2015 en dos localidades: Montecillo (19 ° 29 ´ N y 98 ° 53 ´ O, 2 250 msnm, temperatura de 15° C y precipitación pluvial media anual de 645 mm, con clima Cb (wo) (w) (i´) g (García, 1988)) y Tecámac (19 ° 35´ N y 98 ° 55´ O, 2 298 msnm, temperatura media anual de 14.9 °C y 586 mm de precipitación pluvial media anual, con clima Bs₁kw(w)(i´) g; ambas localidades se ubican en el Estado de México.

Cuadro 5. Poblaciones de maíz evaluadas por su potencial agronómico. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

N° pob.	Genealogía	N° pob.	Genealogía
Progenitores de cruzas simples			
1	Elotes Occ x Vandeño Negro (#)	81	Elotes Occ x Vandeño Negro (PL)
14	Huamantlita	82	Pue 6643
17	Cuapixtla	83	Pue 6654
70	Hv-J3 Grn cremoso, espgMO	86	Pue 6770
74	((línea AE2 x (Azulxperuano)) x Rc Vs-Ancho) x Azul Darío x ((Rc Ancho x Rc H-42) x espiga morada)	87	Uruguay 177
78	Pue 6496	88	Puebla AMO
79	Pue 6457	89	Pue AMO x Huamantlita
80	Tucel 60	100	H-San Marcos
Generaciones avanzadas de cruzas entre variantes nativas			
2	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x (Pue AMO x Huamantlita)	35	Tucel 60 x MMR-2 H
3	Pue Amo x Cuapixtla	36	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue AMO
4	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Huamantlita	37	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H
5	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Cuapixtla	38	Pue 6643 x MMR-1 M
6	Pue 6643 x Puebla AMO	39	Pue 6654 x Tucel 60
7	Huamantlita x Pue 6770	40	MMR-2 H x Pulga
8	(Pue Amo x Huamantlita) x Tucel 60	41	MMR-2 H x Uruguay 177

continúa

N° pob.	Genealogía	N° pob.	Genealogía
Cuadro 5. Continuación...			
9	Pue 6457 x (Elotes Occ x Vandeño Negro)	42	MMR-2 H x Ver. 311 (114) S1
10	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue 6496	43	Pue 6496 x Pue 6495
11	(Pue AMO x Huamantlita) x Huamantlita	44	MMR-2 H x Pta Mor AE x Dario x EM gr am
13	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Ver. 311 (114) S1	45	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x ((RC J3 x RC H-42) x Esp mor)
15	Tucel 60 x (Pue AMO x Huamantlita)	46	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue 6816
16	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Puebla 6457	47	Pue Amo x (pta mor AE x Dario x EM am)
18	Pue 6654 x Tam Gpo 2	48	(Pue Amo x Huamantlita) x ((RC J3 x RC H-42) x Esp mor)
19	Pue 6643 x Pulga	49	(pta mor AE x Dario x EM am) x Pue 6643
20	Pulga x Cuapiaxtla	50	Pulga x (pta mor AE x Dario x EM am)
21	Pue 6643 x Tam Gpo 2	51	(pta mor AE x Dario x EM am) x Huamantlita
22	Tam Gpo 2 x Pue 6643	52	Pue 6816 x Pue 6643
23	Pue 6770 x Pulga	53	((RC J3 x RC H-42) x Esp mor) x Cuapiaxtla
24	Pulga x Pue 6643	54	(Vs-209 x Ama Dulce) x (pta mor x Dario x EM am)
26	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Ver 311 (114)	55	(Vs 202 x Ama Dulce) x (pta mor AE x Dario x EM am)
27	(Vs-209 x Ama Dulce) x Tucel 60	56	Pue 6816 x Tam Gpo 2
28	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue 6495	57	Uruguay 177 x Ver 311 (114)
29	Pue 6495 x (Elotes Occ x Vandeño Negro)	58	Pue 6495 x Uruguay 177
30	Pue 6654 x Pulga	59	Uruguay 177 x Tam Gpo 2
31	(Vs209 x Ama Dulce) x Pue 6654	71	Hv-J3 Grn cremoso, espgMO x MMR 19
32	(Vs 209 x Ama Dulce) x Pue 6654	72	Hv-J3 Grn cremoso, espgMO x H-San Marcos
33	MMR-1 M x Pue 6495	73	Hv-J3 Grn cremoso, espgMO) x MMR-1 M
34	Tucel 60 x Cuapiaxtla	75	Hv-J3 Grn cremoso, espgMO x H-San Marcos
Compuestos balanceados			
12	Elite	65	Ver 311 (114)
25	Alto rendimiento	66	Amarillo-naranja
60	Planta Erecta	67	Rojo-naranja
61	Amarillo precoz V1	68	Grano café
62	Planta morada y grano amarillo	69	Sobresalientes
continúa			

N° pob.	Genealogía	N° pob.	Genealogía
Cuadro 5. Continuación...			
63	Planta morada y grano rojo	90	Amarillo Precoz V2
64	Progenitores de planta morada	91	Amarillo Cuapiaxtla
Otras poblaciones			
77	(Cr 10 AE x Amarillo Tam) x Rc H 42	96	Bolita adaptada de Tlaxcala
84	Pue 6752	97	Ayapango 13 FMH Ama
85	Pue 6763	98	Ayapango 13 Amarillo Exp 09
92	Ama Ixtenco	99	Luis Flores Ay-20
93	Ama Ixtlahuaca	101	Ocampo-1 SMC2
94	Amarillo Juncaná (Comiteco)	102	Ocampo-2 SMC2

2.3. Diseño Experimental

Los experimentos se establecieron bajo el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de un surco de 5 m de largo y 0.80 m entre surcos. Para el ciclo 2014 las fechas de siembra fueron 8 de mayo en Montecillo y 2 de junio en Tecámac. Para 2015, las siembras se hicieron el 15 de mayo en Montecillo, y en Tecámac el 21 de mayo y 12 de junio. La combinación de localidad y fecha de siembra se consideró como ambientes de evaluación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Ambientes de evaluación de poblaciones de maíz amarillo, determinados por la combinación de localidad y fecha de siembra. Primavera–Verano 2014 y 2015.

Ambiente	Localidad	Fecha siembra	Año
Mt 2014	Montecillo	08-Mayo	2014
Tc 2014	Tecámac	02-Junio	2014
Mt 2015	Montecillo	15-Mayo	2015
Tc 2015_1	Tecámac	21-Mayo	2015
Tc 2015_2	Tecámac	12-jun-15	2015

En la siembra se depositó un par de semillas cada 0.25 m para que, después de la segunda escarda, se hiciera aclareo a una planta por mata, a fin de tener 21 plantas por parcela experimental, que corresponde a una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹.

2.4. Variables

2.5. Fenológicas

Las variables que se midieron fueron: días a floración masculina (Dfm) y femenina (Dff) que se consideraron como los días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la unidad experimental liberaron polen y expusieron estigmas, respectivamente; asincronía floral (Af) como la diferencia entre Dfm y Dff.

2.6. Morfológicas

Altura de planta (Ap) y de mazorca (Amz), en cm, tomada desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; posición de la mazorca (Posmz) como la relación entre Amz/Ap.

2.7. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de grano por hectárea (kg ha⁻¹) (Rto) fue ajustado a 14 % de humedad y se determinó con la fórmula: $Rto = Rp \cdot (100 - Phg) / 86 \cdot Id \cdot (10000/D)$, donde: Rp = Peso de mazorcas en la unidad experimental (kg), Phg = % humedad del grano al momento de cosecha, 86 = factor para estandarizar el rendimiento a 14 % de humedad, Id = índice de

desgrane; como la proporción del grano en el peso de la mazorca, $D =$ superficie de la parcela experimental (m^2).

Los componentes del rendimiento se determinaron con el promedio de lecturas tomadas a cinco mazorcas representativas de cada unidad experimental; se midieron el peso (g) de mazorca (Pmz); longitud (cm) de mazorca (Lmz), diámetro (cm) de mazorca (Dmz, tomado en su parte media); número de hileras por mazorca (Hmz); número de granos por hilera (Ghil); índice de desgrane (Id, calculado como el porcentaje de grano con respecto al peso de la mazorca). Posteriormente, las mazorcas de cada parcela se desgranaron y se registraron peso (g) del grano por mazorca (Pgmz); diámetro (cm) de olote (Do, tomado en su parte media); y profundidad de grano (cm) (Profg, como la diferencia entre Dmz y Do dividida entre dos).

2.8. Análisis estadístico

Se analizó el potencial agronómico y de rendimiento mediante un análisis de varianza por ambiente y otro combinado a través de ambientes. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2013) versión 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado se observaron diferencias estadísticas entre ambientes (Amb), poblaciones (Pob) y en la interacción ambientes por poblaciones (Amb*Pob) para todas las variables (Cuadro 7). Esta significancia para el rendimiento y sus componentes, así como para las variables fenológicas y morfológicas entre

poblaciones, revelan la existencia de diversidad y variabilidad en el germoplasma estudiado, así como la respuesta diferencial de las poblaciones a los ambientes de evaluación.

Cuadro 7. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado y significancia estadística para rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

FV	Gl	Rto (Kg ha ⁻¹)	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (kg)	Hmz #	Ghil #	Dfm	Dff	Ap (cm)	Amz (cm)	Id
Amb	4	424892737**	395.4**	8.63**	181588**	21.3**	1971.6**	1436.58**	1268.4**	327156.7**	118400.8**	131.5 ^{ns}
Rep (Amb)	15	1117627	4.9	0.30	4067	2.4	35.2	31.87	43.2	3900.1	7454.4	68.9
Pob	99	21619999**	17.1**	1.42**	9357**	25.3**	69.7**	466.62**	480.1**	7751.8**	8136.1**	59.3**
AmbxPob	390	2675882**	1.8**	0.09**	735**	1.6**	10.1**	12.40**	12.3**	289.6**	274.3**	12.9**
Error	1467	305517	1.1	0.05	354	1.3	7.7	3.4	4.1	181.6	124.9	10.3
CV (%)		12.6	7.1	5.0	14.6	7.9	9.6	2.4	2.6	6.5	9.6	3.7

** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$; ns: no significativo; Amb: Ambiente; Rep: Repetición; Pob: Población; FV: Fuente de variación; Gl: Grados de libertad; Rto: Rendimiento de grano; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Pmz: Peso de mazorca; Hmz: Número de Hileras por mazorca; Ghil: Número de Granos por hilera; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días a floración femenina; Ap: Altura de planta; Amz: Altura de mazorca; Id: Índice de desgrane.

Ambientes

Los rendimientos de grano promedio por ambiente mostraron diferencias significativas. El mayor rendimiento promedio de los cinco ambientes fue de 5619 kg ha⁻¹ en Montecillo en 2015 (Mt 2015), lo cual presentó correspondencia con mazorcas de mayor longitud y diámetro, mayor número de granos por hilera y mayor profundidad de grano, con el consecuente mayor peso de grano y de mazorca (Cuadro 8).

La superioridad significativa del rendimiento de grano en el ambiente de Montecillo 2015 (Mt 2015), se pudo deber a la mejor cantidad y distribución de la precipitación pluvial, y temperaturas favorables durante el ciclo de cultivo. Para la localidad de Tecámac, los rendimientos en Tc 2014 y Tc 2015_2, fueron inferiores en 21 y 36 % con respecto a Tc 2015_1. La fecha de siembra fue determinante sobre la expresión general y el rendimiento del maíz; Manal (2010) señala que los cambios en el ambiente asociado con diferentes fechas de siembra (radiación y temperatura) tienen un efecto modificador sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz, de modo que siembras tardías resultan en la reducción media de muchas características.

Para las variables Lmz, Pmz y Ghil, los ambientes Mt 2014, Mt 2015 y Tc 2015_1 presentaron los valores más altos. Respecto a la fenología, (Dfm y Dff) en Montecillo (Mt 2014 y Mt 2015) se presentó precocidad significativamente mayor con respecto a los ambientes en Tecámac (Tc 2014, Tc 2015_1 y Tc 2015_2); en Tc 2015_1 se presentaron significativamente floraciones más tardías.

La altura de planta y de mazorca fue mayor en las siembras de Montecillo (Mt 2014 y Mt 2015) comparadas con las que se realizaron en Tecámac, con diferencias de hasta 30 % más Ap en Mt 2014 con respecto al de menor porte de planta, que fue Tc 2015_2 (Cuadro 8); este comportamiento estuvo asociado con condiciones más frías y secas en la localidad de Tecámac, lo que afectó a la altura de planta y la altura de la mazorca, caracteres muy influenciados por el ambiente (Lagos *et al.*, 2015); así, las poblaciones evaluadas exhibieron un mayor desarrollo vegetativo expresado en la altura de planta, en climas menos fríos.

Cuadro 8. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas en cinco ambientes de evaluación de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Amb	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff Días	Ap cm	Amz cm	Id %
Mt 2015	5619 a	15.3 a	4.7 ab	152 a	14 bc	31 a	74 c	77 c	211 b	121 b	87.5 a
Mt 2014	4802 b	15.0 a	4.8 a	141 a	15 a	30 a	74 c	77 c	253 a	144 a	86.3 a
Tc 2015_1	4702 b	15.0 a	4.6 b	139 a	14 bc	31 a	79 a	81 a	192 cd	106 bc	86.3 a
Tc 2014	3683 c	13.3 b	4.4 c	105 b	14 c	27 b	77 b	79 b	205 bc	113 bc	86.1 a
Tc 2015_2	3007 d	13.3 b	4.4 c	108 b	15 ab	26 b	77 b	79 b	178 d	100 c	86.2 a
Dhs	231	0.5	0.1	13.9	0.3	1.3	1.2	1.4	13.7	18.9	1.8

Amb: Ambiente; Rto: Rendimiento de grano; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días floración femenina; Ap: Altura de planta; Amz: Altura de la mazorca; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Hmz: Hileras por mazorca; Ghil: Granos por hilera; Pmz: Peso de mazorca; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha = 0.05$). Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales.

Poblaciones

Los promedios de rendimiento de grano de las poblaciones evaluadas fluctuaron entre 1848 kg ha⁻¹ (población 54) y 6528 kg ha⁻¹ (H-San Marcos, población 100 Testigo). Las poblaciones con los rendimientos más altos correspondieron a ciclos avanzados de recombinación genéticas, tales como las poblaciones 68, 37, 58, 40, 44 y 69, con

rendimientos estadísticamente equivalentes al de H-San Marcos (Cuadro 9). De las poblaciones, 86 % rindieron más de 3000 kg ha⁻¹, 79 % estuvieron por arriba del promedio regional reportado para el Distrito de Riego de Texcoco, Edo. Méx., en 2014 y 2015 que fue 3.68 y 3.72 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2017). Las cinco mejores poblaciones tuvieron un rendimiento promedio superior a 6000 kg ha⁻¹; rendimientos que son alentadores en exploración de germoplasma de maíz amarillo y su potencial mejora para los Valles centrales de México. En relación con estos resultados, Espinosa *et al.* (2013) observaron rendimientos entre 5405 y 6913 kg ha⁻¹ para variedades comerciales de maíz amarillo, lo cual pone en buena situación a los materiales experimentales sobresalientes de nuestro estudio.

La longitud promedio de la mazorca varió de 11.9 a 18.5 cm; la población 94 presentó estadísticamente la mayor longitud de mazorca (18.5 cm) mientras que las poblaciones 44 y 69 tuvieron mazorcas de 16.0 y 15.7 cm (mazorcas medianas), estadísticamente equivalentes a las de H-San Marcos, con mazorcas de 15.6 cm. El diámetro de mazorca osciló entre 3.8 y 5.1 cm y sobresalieron las poblaciones 97, 91, 98 y 5 con diámetros de mazorca iguales o mayores a 5.0 cm. El peso de mazorca varió entre 66.4 g y 178.3 g. En el Cuadro 9 se puede observar que las mazorcas de mayor peso corresponden a mazorcas de mayor longitud y diámetro; así, se encontró que las poblaciones 97, 91, 98, 93, 99, 100 presentaron mazorcas de peso superior a 157 g. El número de hileras por mazorca fluctuó de 10 a 17, con promedio de 14, mientras que el número de granos por hilera varió entre 23 y 33, y el promedio fue de 29.

En relación con el ciclo vegetativo, de acuerdo con los promedios por población, se encontraron floraciones diferenciadas, desde las más precoces con 67 Dfm hasta las más tardías con 103 Dfm. Por otro lado, la Ap osciló entre 157 cm y 295 cm, donde las poblaciones 94 y 102 presentaron la mayor altura de planta (295 cm y 252 cm). La altura de mazorca fluctuó entre 66 cm y 201 cm con una media de 117 cm. Las poblaciones 101, 102 y 94 fueron las más tardías, y también estuvieron dentro de las de mayor altura de planta y de mazorca.

Al analizar el comportamiento de las poblaciones dentro de cada ambiente, y su expresión diferencial entre ambientes de las 10 de mayor rendimiento (promedio de los cinco ambientes), el 62 % de éstas también estuvieron dentro de las de mayor rendimiento en cada ambiente de evaluación.

En Mt 2014, destacaron por su rendimiento las poblaciones 37, 2 y 38 con valores superiores a 7000 kg ha⁻¹. En Tc 2014 lo hicieron las poblaciones 68, 37, 17, 91, 66, 5 y 100 con rendimientos mayores a 5000 kg ha⁻¹, las 68 y 37 rindieron 5635 y 5562 kg ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 9. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de una muestra de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz Cm	Dmz cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
100	6528 a	15.6 bd	4.8 ak	157.0 ae	15 ev	30 ak	79 fk	81 hl	219 eo	113 nc'	85.2 ci
68	6317 ab	14.8 bm	4.5 ky	130.4 gx	15 fw	32 ab	79 fj	81 hl	215 et	127 fo	85.9 ai
37	6271 ac	15.5 be	4.8 bm	153.3 ai	15 ev	31 af	78 go	80 ip	221 el	128 fn	86.5 ai
58	6152 ad	15.0 bk	4.9 ae	155.1 ag	16 af	31 ag	75 ph'	78 nf'	206 gb'	118 jz	88.9 af
40	6119 ae	15.3 bh	4.8 al	152.3 bj	15 cr	30 al	75 og'	78 pg'	196 wf'	102 a'g'	85.8 ai
44	5836 af	16.0 b	4.6 et	147.5 bl	14 iz	31 ah	77 kw	79 kv	221 el	120 iy	86.5 ai
69	5828 af	15.7 bc	4.7 dr	156.7 af	15 dt	31 ae	76 mz	78 mc'	220 em	126 gq	87.3 ai
2	5714 bg	15.1 bj	4.8 bl	143.6 bo	15 bn	30 aj	77 iu	79 lw	216 er	126 gq	84.8 ej
25	5688 bh	15.1 bj	4.7 co	151.5 bj	15 fw	31 ai	75 ph'	78 pg'	212 fw	126 fq	88.0 ai
4	5683 bh	14.7 bp	4.9 af	148.9 bk	17 a	29 al	77 jv	79 ly	205 gb'	117 la'	85.5 ai
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
74	2203 o'q'	12.8 tx	3.9 h'i'	74.4 g'h'	14 kz	24 pr	77 lx	79 ly	191 zh'	84 k'n'	86.7 ai
27	1982 p'q'	13.3 ox	4.0 f'i'	82.4 f'h'	13 ya'	27 jr	68 n'o'	71 j'k'	157 k'	75 n'o'	85.0 di
32	1912 q'	13.1 rx	4.1 b'h'	86.3 e'h'	13 xa'	26 lr	68 o'o'	70 k'	177 gj'	87 h'n	85.0 di
54	1848 q'	12.6 vx	4.1 e'i'	76.0 g'h'	13 za'	24 or	68 n'o'	71 j'k'	179 gj'	88 g'n'	85.1 ci
Dhs	761	1.4	0.3	25.9	1.6	3.8	2.5	2.8	18.6	15.4	4.4

Pob: Población; Rto: Rendimiento de grano; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días floración femenina; Ap: Altura de planta; Amz: Altura de la mazorca; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Hmz: Hileras por mazorca; Ghil: Granos por hilera; Pmz: Peso de mazorca; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha= 0.05$). Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales.

En Mt 2015, 16 poblaciones presentaron rendimiento mayor a 7000 kg ha⁻¹; entre las que sobresalieron las 100, 40 y 58 con rendimientos de 8460, 8243 y 8169 kg ha⁻¹. En Tc 2015_1, 19 poblaciones mostraron rendimientos mayores a 6000 kg ha⁻¹, entre las que sobresalieron la 100 y 4 con 7873 y 7295 kg ha⁻¹, respectivamente. Para Tc 2015_2 los rendimientos superiores fueron de las poblaciones 68, 100 y 58 con 6266, 5189 y 4703 kg ha⁻¹, respectivamente (lo que concuerda con los resultados de los promedios generales entre ambientes). En este ambiente las poblaciones tuvieron rendimientos más bajos con respecto al resto de ambientes. Para cada ambiente, las poblaciones mostraron rendimientos atractivos, específicos para las condiciones de cultivo, localidad y fecha de siembra. En este trabajo las poblaciones 100, 68 y 37 destacaron por presentar los mejores valores para las dos localidades y años de evaluación. Es de considerarse que la población 37 mantuvo los valores altos de rendimiento en cada localidad, a excepción de Tc 2015_2, sobresaliendo sobre todo cuando se estableció en Montecillo (Mt 2014 y Mt 2015), con un rendimiento superior a 7000 kg ha⁻¹ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento de grano y sus componentes, variables fenológicas y morfológicas de las diez poblaciones de maíz amarillo sobresalientes y su comportamiento en los cinco ambientes de evaluación. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

	Pob	Amb	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %	
H-San Marcos	100	Mt 2014	6049	16.4	4.9	167	15	30	75	76	258	138	86.8	
		Tc 2014	5069	15.1	4.6	125	14	29	81	83	216	109	84.2	
		Mt 2015	8461	16.1	5.0	187	15	33	77	79	236	117	85.5	
		Tc 2015_1	7874	16.1	4.9	175	15	32	81	84	194	100	85.9	
		Tc 2015_2	5189	14.4	4.7	131	15	27	81	83	191	102	83.6	
	COMP- GRANO CAFÉ	68	Mt 2014	5558	15.5	4.5	138	15	31	78	80	272	164	85.0
			Tc 2014	5635	14.4	4.6	125	15	31	82	83	220	138	85.6
			Mt 2015	7715	15.3	4.8	139	15	32	77	79	213	120	86.4
			Tc 2015_1	6412	14.7	4.4	126	14	34	81	81	191	108	85.9
			Tc 2015_2	6267	14.1	4.4	125	15	32	80	83	180	107	86.4
(Elotes Occ x Vandeano Negro) x MMR-2 H	37	Mt 2014	7608	17.0	5.1	188	15	35	75	78	260	151	85.4	
		Tc 2014	5562	14.1	4.7	123	15	29	81	82	215	115	87.3	
		Mt 2015	7877	16.5	5.0	175	15	33	76	78	232	138	86.7	
		Tc 2015_1	6263	15.5	4.5	134	14	30	80	82	201	119	86.5	
		Tc 2015_2	4044	14.7	4.7	146	15	29	79	81	196	116	86.7	
Pue 6495 x Uruguay 177	58	Mt 2014	6757	16.4	5.0	162	15	31	75	78	250	142	88.9	
		Tc 2014	4851	13.3	4.8	127	15	27	77	79	201	118	87.7	
		Mt 2015	8170	15.6	5.1	184	17	33	73	75	205	117	89.6	
		Tc 2015_1	6279	15.3	4.9	160	16	32	77	79	193	105	89.1	
		Tc 2015_2	4703	14.2	4.9	143	18	32	76	80	179	107	89.2	
MMR-2 H x Pulga	40	Mt 2014	6731	15.4	4.7	149	15	31	72	75	233	122	86.1	
		Tc 2014	4627	14.4	4.6	123	14	29	78	81	194	103	85.1	
		Mt 2015	8244	15.8	5.0	184	15	32	74	76	194	98	87.4	
		Tc 2015_1	6550	16.5	4.9	171	16	30	80	81	185	94	85.4	
		Tc 2015_2	4444	14.3	4.8	135	16	28	74	76	174	92	85.1	

Continúa...

	Pob	Amb	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
Cuadro 10. Continuación...													
MMR-2 H x Pta Mor AE x Dario x EM gr am	44	Mt 2014	6798	16.5	5.2	168	15	32	74	77	250	135	86.6
		Tc 2014	4434	14.5	4.6	118	14	28	80	81	227	118	85.7
Compuesto Sobresalientes	69	Mt 2015	7672	16.9	4.5	162	13	32	73	75	223	125	87.1
		Tc 2015_1	6826	16.6	4.5	157	14	33	79	81	208	117	86.7
		Tc 2015_2	3450	15.7	4.4	133	14	28	79	84	196	107	86.6
		Mt 2014	6943	16.5	4.7	166	16	32	76	77	282	171	86.2
		Tc 2014	3453	13.8	4.4	107	15	27	79	81	207	117	86.1
		Mt 2015	7856	16.6	4.9	187	15	34	73	75	218	128	88.0
(Elotes Occ x Vandeano Negro) x (Pue AMO x Huamantlita)	2	Tc 2015_1	6407	16.5	4.8	174	15	32	78	80	207	112	88.4
		Tc 2015_2	4482	15.2	4.7	150	15	31	76	78	188	101	87.9
		Mt 2014	7390	16.3	5.1	181	16	32	80	84	270	160	86.6
		Tc 2014	4798	13.9	4.6	115	15	28	78	79	221	130	86.3
		Mt 2015	5928	15.2	4.7	149	15	32	74	76	204	116	85.9
		Tc 2015_1	5871	16.1	4.9	147	16	33	78	79	205	116	81.2
Compuesto Rendimiento	25	Tc 2015_2	4583	13.9	4.7	126	15	27	76	78	182	108	84.0
		Mt 2014	5916	16.2	5.0	173	16	31	74	77	268	163	87.7
		Tc 2014	4176	13.7	4.6	117	14	28	77	79	207	119	87.0
		Mt 2015	7265	16.0	4.8	179	15	34	72	75	210	128	89.2
		Tc 2015_1	6557	15.3	4.6	155	14	31	79	80	195	118	88.3
		Tc 2015_2	4523	14.5	4.7	134	15	29	75	77	180	102	87.7
(Elotes Occ x Vandeano Negro) x Huamantlita	4	Mt 2014	6528	16.0	5.1	179	17	31	75	78	251	144	87.1
		Tc 2014	3324	13.9	4.6	110	16	29	77	78	203	104	84.5
		Mt 2015	7130	15.6	5.2	189	16	32	75	77	213	127	88.2
		Tc 2015_1	7296	15.9	5.1	167	18	31	79	81	192	108	84.2
		Tc 2015_2	4136	12.2	4.7	100	19	24	78	81	168	99	83.7

Pob: Población; Rto: Rendimiento de grano; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días floración femenina; Ap: Altura de planta; Amz: Altura de la mazorca; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Hmz: Hileras por mazorca; Ghil: Granos por hilera; Pmz: Peso de mazorca.

CONCLUSIONES

Entre las poblaciones de maíz amarillo evaluadas se observó variación para el potencial de rendimiento y comportamiento agronómico en los ambientes evaluados, con lo cual se puede aprovechar a las mejores variantes para generar variedades e híbridos con rendimientos que reduzcan el desabasto de materiales mejorados de maíz amarillo en México.

A través de ambientes, las poblaciones 100 (H-San Marcos), 68 (Grano café), 37 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H), 58 (Pue 6495 x Uruguay 177A) y 40 (MMR-2 H x Pulga) sobresalieron en rendimiento de grano con promedios mayores a 6100 kg ha⁻¹. Las poblaciones con rendimiento de grano más alto, correspondieron a floración intermedia, mazorcas medianas, gruesas y con el mayor número de granos por hilera. Estas poblaciones presentaron buena adaptación a los ambientes de evaluación.

Las poblaciones de mayor rendimiento de grano mantuvieron esta tendencia con respecto al resto de las poblaciones en los cinco ambientes de evaluación. Entre ambientes sobresalieron las poblaciones 100 (H-San Marcos), 40 (MMR-2 H x Pulga) y 58 (Pue 6495 x Uruguay) que tuvieron rendimientos de grano superiores a las 8100 kg ha⁻¹ y de ciclo intermedio, en Montecillo en 2015. Los valores encontrados son promisorios en la búsqueda y aprovechamiento de los recursos genéticos del maíz, representados aquí por la amplia diversidad evaluada y por los materiales sobresalientes en zonas de producción de los Valles Altos Centrales de México.

LITERATURA CITADA

- Espinosa C., A., M. Tadeo R., A. Turrent F., M. Sierra M., N. Gómez M., y B. Zamudio G. 2013.** Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):93-99.
- Espinosa C., A., M. Tadeo R., A. Turrent F., N. Gómez M., M. Sierra M., F. Caballero H., R. Valdivia B., y F. Rodríguez M. 2008.** El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias* 92-93:118-125.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, J. Virgen-Vargas, A. Palafox-Caballero, F. Caballero-Hernández, G. Vázquez-Carrillo, F. A. Rodríguez-Montalvo, R. Valdivia-Bernal, I. Arteaga-Escamilla, e I. González-Rojas. 2011.** V-55 A, Variedad de Maíz de Grano Amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34 (2): 149-150.
- FAOSTAT. 2018. Datos sobre alimentación y agricultura. Datos. Cultivos.** <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- García E. 1988.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4ta edición. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. 217 pp.
- García S., J. A., y R. Ramírez J. 2014.** El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(1):69-77.
- García Z., J., J. Molina G., y J. López R. 2002.** La selección masal como método para obtener líneas de alta aptitud combinatoria específica en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:299-304.
- Hellin, J., and A. Keleman. 2013.** Las variedades criollas del maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. *Leisa Revista de Agroecología* 29(2): 7-9.
- Hernández V., F. J. 2014.** Situación actual del maíz. *El Economista*, 17/02/2014. <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/02/17/situacion-actual-maiz> (consultado, 14/02/17).
- ITC, International Trade Statistics. 2007.** Lista de los mercados proveedores para un producto importado por México: Maíz. Disponible en: http://www.trademap.org/tradestat/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. and R. A. Bye B. 2009.** **Origen y Diversificación del maíz. Una Revisión Analítica.** Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p
- Lagos B., T. C., F. J. Torres M., y C. A. Benavides C. 2015.** Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz amarillo *Zea mays* L. en la región andina del departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32(1):12-23.

- Ramírez D., J. L., M. Chuela B., L. Soltero D., J. Franco M., A. Morfín V., V. A. Vidal M., H. L. Vallejo D., F. Caballero H., H. Delgado M., R. Valdivia B., y J. Ron P. 2004.** Patrón heterótico de maíz amarillo para la región centro-occidente de México. *Fitotecnia Mexicana* 27 (Núm. Especial 1):13-17.
- Ruíz F., M. 2014.** Maíz blanco y amarillo: ¿reconversión? *El Financiero*, 20/02/2014. <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/maiz-blanco-y-amarillo-reconversion.html> (consultado, 14/02/17).
- SAS, Statistical Analysis System. 2013.** Statistics Analysis System. Software Release 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SE, Secretaría de Economía. 2012.** Análisis de la Cadena de Valor Maíz-Tortilla: Situación Actual y Factores de Competencia Local. Dirección General de Industrias Básicas. Abril 2012. 35 p.
- SIAP, Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2017.** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. SAGARPA. México. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp (28 /09/2017))
- USDA, United State Department of Agriculture. 2009.** National Nutrient Database for Standard reference Available from: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>
- Velázquez M., A. 2015.** Observatorio de precios, Comentario de Maíz Amarillo. (<http://observatoriodeprecios.com.mx/index.php/precios-productos/productos-agropecuarios/maiz/2651-crecen-las-importaciones-mexicanas-en-maiz-amarillo-en-45-durante-2014-en-comparacion-con-2013>)
- Wellhausen, E. J., L. Roberts, y E. Hernández. 1951.** Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 223 p.

CAPÍTULO III. CAROTENOIDES EN MAÍZ AMARILLO PARA VALLES

ALTOS DE MEXICO

RESUMEN

De los diferentes compuestos bioactivos que se encuentran en el maíz (*Zea mays* L.) están los carotenoides, que juegan un papel importante en la reducción de riesgo de cáncer y diabetes, y la prevención de la degeneración macular. Con el fin de explorar la diversidad genética y el potencial de contenido de carotenoides en la diversidad genética del maíz amarillo, se evaluó la variabilidad genética para estos compuestos en poblaciones de maíz amarillo nativas de México y en líneas S₃. 100 poblaciones y 68 líneas S₃ de maíz, se analizaron por NIRS; de éstas a 19 poblaciones y 32 líneas se les determinó el contenido de carotenos totales con UPLC. Los valores encontrados revelan amplia diversidad de los materiales en el contenido de carotenoides totales, que fluctuó entre 3.31 y 26.84 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano. De esa variación, 74 % tuvo valores entre 3 y 8 $\mu\text{g g}^{-1}$, mientras 21.6 % tuvo valores superiores a 10 $\mu\text{g g}^{-1}$. Sobresalieron las poblaciones 96 y 102 y las líneas 1 y 12, con valores superiores a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano. También la población 96 y la línea 1 sobresalieron por su contenido de luteína, zeaxantina y de carotenoides con actividad de provitamina A. El análisis por NIRS mostró que la población 96 tuvo el mayor contenido de carotenos totales (27.52 $\mu\text{g g}^{-1}$) y también la línea 12 (22.32 $\mu\text{g g}^{-1}$). Con ambos métodos de determinación, UPLC y por NIRS, se encontró que los materiales con los valores de carotenoides totales más altos fueron aquéllos con la pigmentación de grano amarillo más intenso.

Palabras clave: *Zea mays*, maíz amarillo, poblaciones, líneas S₃, carotenoides, UPLC, NIRS.

ABSTRACT

Among the different bioactive compounds found in corn (*Zea mays* L.) are carotenoids, which play an important role in reducing the risk of cancer and diabetes, and the prevention of macular degeneration. In order to explore the genetic diversity and the potential of carotenoid content in the genetic diversity of yellow corn, the genetic variability for these compounds was evaluated in populations of Mexican native yellow corn and in S₃ lines. 100 populations and 68 S₃ lines of corn were analyzed by NIRS; from these materials, 19 populations and 32 lines were analyzed for content of total carotenes with UPLC. The found values revealed a wide diversity of the materials in the content of total carotenoids, which fluctuated between 3.31 and 26.84 $\mu\text{g g}^{-1}$ of dry weight of grain. Of this variation, 74 % had values between 3 and 8 $\mu\text{g g}^{-1}$, while 21.6 % had values higher than 10 $\mu\text{g g}^{-1}$. Populations 96 and 102 and lines 1 and 12 excelled, with values higher than 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ of dry weight of grain. Population 96 and line 1 also stood out for their content of lutein, zeaxanthin and carotenoids with provitamin A activity. Analysis by NIRS showed that population 96 had the highest content of total carotenes (27.52 $\mu\text{g g}^{-1}$) as well as the line 12 (22.32 $\mu\text{g g}^{-1}$). With both methods of carotenoid determination, UPLC and by NIRS, it was found that the materials with the highest total carotenoid values were those with the most intense yellow grain pigmentation.

Key words: *Zea mays*, yellow corn, populations, S₃ lines, carotenoids, UPLC, NIRS.

INTRODUCCIÓN

Como productor de maíz amarillo (*Zea mays* L.) México ocupó el séptimo lugar a nivel mundial en 2015, con 3.37 millones de toneladas; los principales estados productores de este grano fueron Chihuahua, Tamaulipas, Jalisco, Sinaloa y Chiapas, con 1 296 396, 707 408, 702 992, 189 349 y 110 321 toneladas, respectivamente (SIAP, 2017).

De 2005 a 2015 se tuvo un crecimiento promedio anual de 9 % en los niveles de producción de maíz amarillo, pasando de 1.33 millones de toneladas en 2005 a 3.37 millones de toneladas en 2015; sin embargo, México sigue siendo deficitario en maíz amarillo, de manera que en 2016 se importaron 12.9 millones de toneladas para satisfacer la demanda nacional, de las cuales 75.7 % se destinaron a la producción de alimento para animales (insumo utilizado para alimento balanceado de ganado mayor y mascotas), 18.3 % fue para uso industrial, como la elaboración de féculas y almidones (insumo utilizado en la industria química, textil y alimentaria, entre otras), y sólo 2 % se destinó para el consumo humano (elaboración de cereales, botanas, frituras y similares) (ITC, 2017; SIAP, 2017; SAGARPA, 2017).

En México, la práctica de destinar el maíz amarillo para uso pecuario ha propiciado una barrera para el consumo humano en muchas regiones donde el maíz es fuente fundamental para la alimentación, y se prefiere el maíz blanco para tal fin. Sin embargo, la implementación de campañas de educación, así como el menor precio que el maíz amarillo representa para el consumidor con respecto al maíz de grano blanco, podrían propiciar mayor aceptación del maíz amarillo para consumo humano. En países de África

como Kenia, Mozambique y Zimbawe el maíz es la fuente principal de carbohidratos de esas poblaciones, por lo que se han implementado campañas para propiciar la aceptación del maíz amarillo para consumo humano e incidir en la reducción de las deficiencias de Vitamina A en parte de los pobladores de estos países, así como de otras regiones como América Latina (Sommer y Davidson, 2002; Muzhingi *et al.*, 2011; Sommer y Vyas, 2012), ya que entre los pigmentos contenidos en el grano de maíz amarillo están los carotenoides, precursores de Vitamina A.

Ante el escenario de incentivar la producción y mejorar los precios de maíz de grano amarillo, para reducir las importaciones del mismo y que satisfagan la demanda nacional, México requiere promover el incremento en la superficie sembrada, la reconversión de maíz blanco a maíz amarillo, el incremento en el rendimiento por unidad de superficie, el acceso a paquetes tecnológicos propios de cada región o sistema de producción, el mejoramiento genético y la generación de variedades aptas para cada zona productora. El aprovechamiento de variedades locales y el potencial genético que éstas tienen para su adaptación a las condiciones agroclimáticas de cada región en particular, son estrategias a utilizarse en los programas de mejoramiento genético a fin de atender las demandas de producción locales, regionales y nacionales.

Del potencial genético de las variedades locales de maíz, resguardadas por los agricultores, se encuentra el potencial nutricional y características químicas de los granos. Los avances recientes en biofortificación han logrado desarrollar maíces con proteínas de alta calidad (QPM) y maíces con precursores activos de la vitamina A, que son importantes en el proceso de mejora del contenido de proteína y vitamina A en las

dietas alimenticias (Chaudhary *et al.*, 2014). De los diferentes compuestos bioactivos que se encuentran en la diversidad de maíces nativos están los carotenoides, las antocianinas, los tocoferoles y compuestos fenólicos con propiedades que previenen enfermedades y promueven la salud (García *et al.*, 2015; Mendoza *et al.*, 2017). Las proporciones de estos compuestos en el grano muestran variación natural de acuerdo con los genotipos de las plantas (García *et al.*, 2015).

La planta de maíz, como productora de carotenoides, provee elementos bioquímicos como luteína y zeaxantina, que son compuestos ampliamente reconocidos por sus propiedades antioxidantes (Miller *et al.*, 1996). Así también, en el grano de maíz se encuentran carotenoides con actividad de provitamina A, como β -caroteno, α -caroteno y β criptoxantina, que son las formas más comunes de carotenoides con actividad de provitamina A que existen en la naturaleza (Rodríguez, 1997). Funcionalmente, los carotenoides con actividad provitamina A han sido ligados a la reproducción, crecimiento, visión y al sistema inmune (Rodríguez, 1997; Jaswir *et al.*, 2011). Evidencia científica demuestra que los carotenoides juegan un papel importante en la reducción de riesgo de cáncer y diabetes (Zhang *et al.*, 1992) y la prevención de la degeneración macular (Snodderly, 1995; Koushan *et al.*, 2013).

Los carotenoides son pigmentos naturales habituales en la naturaleza, ampliamente presentes en plantas, animales y microorganismos que los sintetizan para desempeñar diversas e importantes funciones fisiológicas (Brenna y Berardo, 2004; Badui, 2006; Carranco *et al.*, 2011; Alcaíno *et al.*, 2016), además de ser los responsables de la pigmentación de flores, hojas y frutos, así como de plumas de aves, exoesqueleto de

crustáceos y de músculos y piel de algunos peces (Badui, 2006). El espectro de absorción de los carotenoides presenta dos picos, que se encuentran entre 400 a 500 nm (Berg *et al.*, 2008; Alcaíno *et al.*, 2016).

Los carotenoides son tetraterpenos constituidos por unidades múltiples de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos (Rodríguez, 1999); normalmente, estos contienen un esqueleto hidrocarbonado de 40 átomos de carbono constituido por 8 unidades de isopreno (Alcaíno *et al.*, 2016). Básicamente existen dos tipos de carotenoides, aquéllos que son hidrocarburos: carotenos (Figura 3a) que no contienen oxígeno en sus anillos terminales, y xantofilas (Figura 3b) que sí poseen unidades de oxígeno en sus anillos terminales (Badui, 2006; Alcaíno *et al.*, 2016).

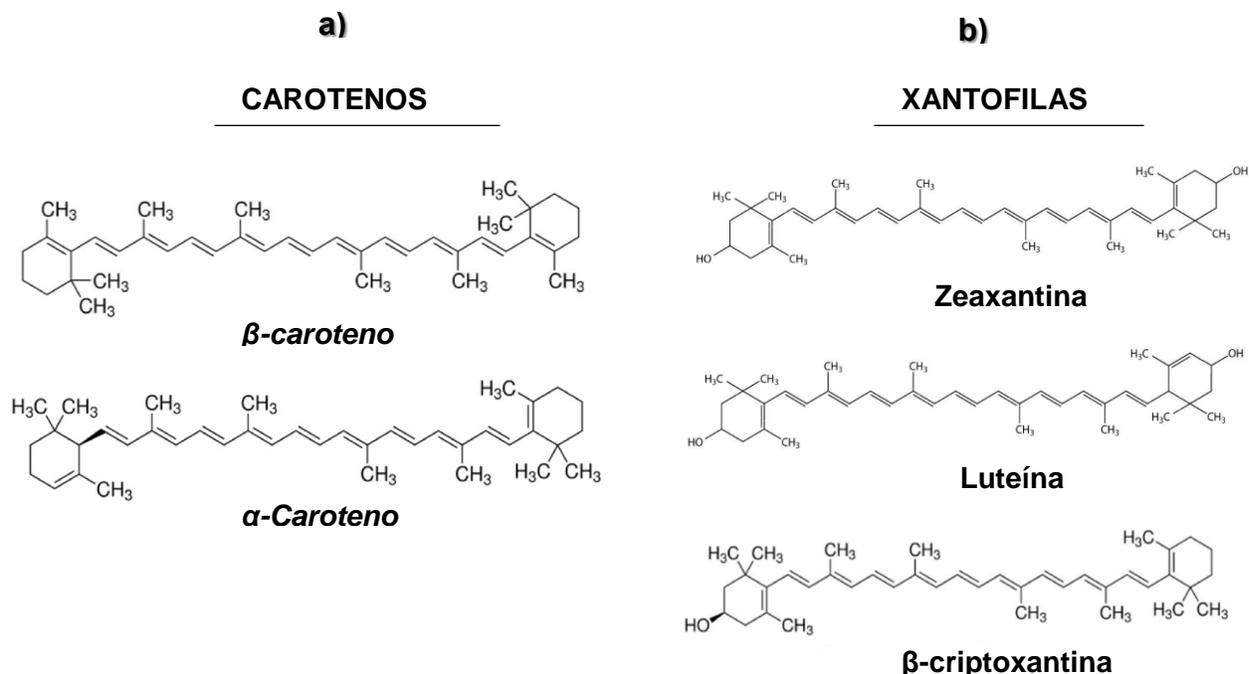


Figura 3. Estructura química de los carotenoides a) carotenos: *β*-caroteno, *α*-caroteno; b) xantofilas: zeaxantina, luteína, *β*criptoxantina (Sánchez *et al.*, 1999; Badui 2006; Sajilata *et al.*, 2008).

Los grupos funcionales que contienen oxígeno afectan la solubilidad de los carotenoides, haciendo que las xantofilas sean más polares que los carotenos, lo que permite su separación mediante diversos tipos de cromatografía (Alcaíno *et al.*, 2016). Se han reportado entre 600 y 750 estructuras químicas de pigmentos carotenoides (Rodríguez, 1999; Delgado *et al.*, 2000; Badui, 2006; Alcaíno *et al.*, 2016), pero sólo se consumen seis de ellos: α -caroteno, β -caroteno, luteína, licopeno, zeaxantina y astaxantina, pues son los que han mostrado proveer beneficios a la salud (Johnson, 2002).

En la etapa inicial de la biosíntesis de los carotenoides se comparten las vías de los diferentes isoprenoides; el precursor de éstos es isoprenil pirofosfato (IIP). La vía de biosíntesis más conocida de IIP es la correspondiente al mevalonato, que a partir de acetil-coenzima A produce IIP, teniendo como intermediarios hidroximetilglutaril CoA (*HMG-CoA*) y mevalonato. Una vía alternativa es la que parte de piruvato y gliceraldehído-3-fosfato, teniendo como intermediarios hidroximetiltiamina y D-1-desoxixilulosa. Mediante esta vía, IIP isomeriza a dimetil pirofosfato (DMAPP), al que se le adicionan secuencialmente tres moléculas de IIP para formar geranil-geranil pirofosfato (GGPP). Los intermediarios formados durante las adiciones de IIP son precursores de gran variedad de isoprenoides. A partir de GGPP existe una gran variedad de rutas de formación de carotenos y xantofilas, dependiendo de cada organismo, lo que no permite establecer una generalización (Sánchez *et al.*, 1999). Sin embargo, siguiendo este esquema, se menciona que la condensación de dos moléculas de GGPP produce fitoeno, primer precursor de los carotenoides de 40 carbonos. A partir de esto, ya sea por

desaturación o por la participación de enzimas, se produce licopeno, compuesto del cual se deriva el resto de los carotenos (Sánchez *et al.*, 1999; Alcaíno *et al.*, 2016).

En plantas, la ruta biosintética simplificada de los carotenoides inicia con la formación de fitoeno a partir de geranylgeranyl pirofosfato, un paso mediado por la enzima fitoeno sintasa (PSY) (Fraser *et al.*, 2004). El fitoeno luego es convertido a todos los trans-licopeno por cuatro desaturaciones y dos reacciones de isomerización (Chen *et al.*, 2010). El licopeno es ciclado para dar lugar a dos ramas en la ruta biosintética de los carotenoides, la rama β , ϵ y la rama β , β . La generación de α -caroteno proviene de la rama β , ϵ y es dependiente de licopeno ϵ -ciclase (LCY ϵ) y licopeno β -ciclase (LCY β); la generación de β -caroteno proviene de la rama β , β y es dependiente de LCY β . La hidroxilación de los dos anillos de β -ionona en β -caroteno, la fuente dietética más potente de vitamina A, lleva a la formación de zeaxantina vía β -criptoxantina, mientras la hidroxilación de un anillo β y un anillo ϵ en α -caroteno (por lo tanto, posee la mitad del potencial de provitamina A, comparado con β -caroteno) da lugar a luteína vía zeinoxantina o α -criptoxantina. La hidroxilación del anillo ϵ de α -caroteno es mediado por ϵ -hidroxilasa CYP97C (citocromo monooxigenasa tipo P450), y la hidroxilación del anillo β de α - y β - caroteno son mediados por CYP97A (citocromo β -hidroxilasa tipo P450) y/o HYD (ferredoxina, dependiente de di-hierro monooxigenasa) (Da Silva *et al.*, 2014; Dhliwayo *et al.*, 2014; Xin Hou *et al.*, 2016) (Figura 4). Con la presencia de calor o ácido, los carotenos y las xantofilas pueden sufrir cambios en sus estructuras e isomerización trans-cis, y esto incluso puede verse reforzado por la luz y/o el oxígeno (Berardo *et al.*, 2004; Brenna y Berardo, 2004).

En los granos de maíz amarillo, los carotenoides se han estudiado desde hace varios años y se reconocen, además, como la primera fuente donde se encontraron estos compuestos, razón que dio origen a la nominación de los mismos; por ejemplo, zeaxantina, zeinoxantina y α - y β -zeacaroteno (Gross, 1991). Los carotenoides que están presentes en los granos de maíz, de mayor a menor concentración, son: luteína, zeaxantina, β -caroteno, β -cryptoxantina y α -caroteno; aunado a esto, es importante señalar que en maíz los carotenoides más abundantes no necesariamente son los que presentan actividad de provitamina A (Guild *et al.*, 2017), ya que éstos solo constituyen entre 10 y 20 % de los carotenoides totales del grano, mientras que luteína y zeaxantina representan entre 30 y 50 % cada uno (García *et al.*, 2015).

Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS)

La espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés) es una tecnología basada en la absorción de luz en el infrarrojo cercano por compuestos orgánicos y agua (Esteve *et al.*, 2012). La región del infrarrojo cercano (NIR, 800 a 2500 nm) es la primera región espectral que exhibe bandas de absorción relacionadas con las vibraciones de moléculas. Esta región es caracterizada por armónicos y la combinación de bandas y es ampliamente usada para el análisis de productos alimenticios (Dufour, 2009). NIRS combina la espectroscopia y las matemáticas para producir rápidamente estimaciones cualitativas y cuantitativas de las concentraciones de OH-, NH-, CH- o compuestos que contienen SH-. El uso de esta tecnología presenta ventajas, como la rapidez para el análisis, bajos requerimientos en la preparación de la muestra, relativamente económica, preservación de la muestra, y análisis simultáneo de varias

características (Melchinger *et al.*, 1986; Berardo *et al.*, 2004; Rosales *et al.*, 2011; Esteve *et al.*, 2012).

Por sus ventajas, la tecnología NIRS se ha utilizado en varias aplicaciones, es de particular importancia en programas de mejoramiento vegetal y en la industria de los alimentos donde se requiere del análisis de un gran número de muestras (Berardo *et al.*, 2004; Esteve *et al.*, 2012). En el caso del mejoramiento de maíz, NIRS resulta una herramienta que permitiría avanzar de manera más rápida en la selección de genotipos con características bioquímicas deseables, a menor costo, como en la selección de maíces biofortificados. Para estos maíces, por su contenido de carotenoides con actividad provitamina A (PVAC), se han desarrollado modelos NIRS para la cuantificación de PVAC (Guild *et al.*, 2017), mismos que pueden ser aprovechados en los programas de mejoramiento. De esta manera, debe considerarse que antes de diseñar un programa de mejoramiento en maíz para contenido de carotenoides con provitamina A, hierro y zinc, es necesario establecer la cantidad de micronutrientes a incrementar en la biofortificación (García *et al.*, 2015). Para esto, es importante considerar que existen numerosos factores que influyen en la biodisponibilidad de los carotenoides, por lo que algunos estudios han establecido que al menos 15 μg de β caroteno g^{-1} de peso seco de grano, adicionados con 60 mg de hierro kg^{-1} y 55 mg de zinc kg^{-1} de grano seco, son requeridos para que el maíz fortificado tenga impacto en la nutrición (Graham *et al.*, 1999; Pixley *et al.*, 2013; Muzhingi *et al.*, 2017); con el fin de generar este tipo de maíces es necesario explorar la diversidad genética y el potencial de contenido de los compuestos de interés en la diversidad genética del maíz amarillo nacional. Por lo que se evaluó la variabilidad genética para contenido de carotenoides en poblaciones de maíz amarillo

provenientes de diferente origen geográfico de México y en líneas S₃ generadas a partir de esas poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo agrícola P-V 2015 se establecieron poblaciones de maíz amarillo y líneas S₃ derivadas de las mismas poblaciones. Las siembras se realizaron en surcos de 5 m de largo y 0.80 m entre surcos. En cada surco se estableció una población o una línea S₃, según fue el caso, y cada surco se consideró como la parcela experimental. En la siembra se depositaron dos semillas por golpe a 0.25 m entre cada mata, y después de la segunda escarda se realizó aclareo para dejar 21 plantas por parcela experimental y mantener una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹.

3.1. Material genético

3.2. Poblaciones

El material genético consistió de 100 poblaciones de maíz del Programa de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, formadas a partir de colectas de diversas regiones agroecológicas de México y adaptadas a los Valles Altos a partir de 2011. Estas poblaciones fueron recombinadas por tres ciclos sucesivos para lograr su estabilización. Durante 2015 se obtuvo la semilla de las poblaciones que se sometería a evaluación de laboratorio, para lo cual las poblaciones se incrementaron por polinización controlada realizando cruza fraternales. Noventa y ocho poblaciones fueron de grano amarillo, una de grano blanco y una de grano café.

3.3. Líneas S3

De las mismas poblaciones de grano amarillo, a partir de 2013 se realizó la generación de líneas S₁ por autofecundación de mazorcas de plantas con características fenotípicas deseables y de color de grano con diferentes tonalidades de amarillo; se consideró también la formación de líneas de grano blanco, rosa, rojo y café, como testigos. Así, las mazorcas S₁ obtenidas se seleccionaron por sanidad y componentes de rendimiento alto, después se clasificaron por su color y tonalidad de grano en 6 categorías: amarillo intenso, amarillo claro, blanco, rojo y café (estos últimos como referencia para los análisis de laboratorio). Las líneas S₁ se sembraron en 2014 y se autofecundaron para formar líneas S₂, las mazorcas de éstas se seleccionaron manteniendo el criterio de color de grano y entonces se formaron cinco grupos de líneas S₂: 36 de color de grano amarillo intenso, 32 de amarillo claro, 8 de color blanco, 14 de grano rojo y 8 de grano café. En 2015 se establecieron 100 líneas S₂, seleccionadas en 2014, para avanzarlas a la generación S₃. De las líneas S₃ cosechadas se seleccionaron mazorcas sanas, con el mejor vigor y clasificadas por color de grano, en dicha selección 68 líneas cumplieron los criterios de color y fueron las que constituyeron el grupo en estudio: 32, 29, 3, 1, y 3 de color amarillo intenso, amarillo claro, blanco, rojo y café, respectivamente.

3.4. Preparación de muestras

Para obtener las muestras de grano se tomaron cinco mazorcas, tanto de poblaciones como de líneas, las cuales se cosecharon manualmente y se obtuvieron granos de la parte central de las mismas, para de esa fracción tomar la muestra de granos para el estudio. Con la finalidad de obtener una muestra representativa, los granos de las cinco

amarillo intenso, 9 de grano amarillo claro, 2 de grano café, 1 de grano rojo y 1 de grano blanco. Para el análisis en UPLC se efectuó la metodología del Laboratorio de Calidad de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Galicia *et al.*, 2012), realizándose el estudio en el mismo Laboratorio, para determinar el contenido de los carotenoides: luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, 13-cis- β caroteno, β -caroteno, 9-cis- β caroteno y carotenoides totales. La concentración total de los compuestos con actividad de provitamina A ($\mu\text{g g}^{-1}$ de grano) se calculó como la suma de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) + 13-cis- β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) + 9-cis- β caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) + 0.5 (β -criptoxantina) ($\mu\text{g g}^{-1}$).

3.6. Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)

Así como en el caso de UPLC, la harina obtenida de la molienda de los granos de cada población y cada línea S₃ se escanearon en el equipo NIRS™ 6500 (monocromador FOSS NIRSystems, Inc., Silver Spring, Maryland, USA), el cual registra las señales de reflectancia difusa mediante celdas circulares (diámetro interno de 35 mm y profundidad de 8 mm). Las lecturas registradas permitieron, a través de los modelos aplicados para la estimación de carotenoides, desarrollados por el laboratorio de calidad de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Galicia *et al.*, 2012), obtener los valores de carotenoides totales, expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano.

El análisis de los datos provenientes de la estimación de carotenoides totales con NIRS se hizo mediante un análisis de varianza con un modelo del Diseño Completamente al Azar y también se realizó una comparación de medias Tukey, $\alpha = 0.05$. Ambos

procedimientos se hicieron con el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System) para Windows versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación en el contenido de carotenoides totales de 51 genotipos analizados por UPLC tuvo un intervalo de 3.31 a 26.84 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano. El mayor porcentaje (74 %) de los genotipos analizados tuvo valores entre 3 y 8 $\mu\text{g g}^{-1}$, mientras que los genotipos sobresalientes representaron 21.6 %, con valores superiores a 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Figura 6). Los valores encontrados revelan amplia diversidad de los materiales evaluados, lo cual coincide con los resultados de varios trabajos similares, tales como: Alfieri *et al.* (2014), quienes en líneas italianas de maíz vítreo encontraron contenidos de carotenoides totales que variaron de 6.53 a 33.63 $\mu\text{g g}^{-1}$, mientras que Burt *et al.* (2011) en líneas de maíz “Orange Flint” clasificadas como de alto contenido de carotenoides, encontraron valores de 50 a 101 $\mu\text{g g}^{-1}$, y Berardo *et al.* (2004) reportaron valores de 0.5 a 68.30 $\mu\text{g g}^{-1}$ en variedades, híbridos y líneas de maíz amarillo. En maíces amarillos biofortificados, Mugode *et al.* (2014) señalan valores de 24.4 a 30.8 $\mu\text{g g}^{-1}$ y Tomás *et al.* (2011) valores de 21.04 a 29.4 $\mu\text{g g}^{-1}$. Por su parte, Salinas *et al.* (2008) obtuvieron valores entre 11.9 a 25.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ en variedades nativas de maíz amarillo de México, y Lozano *et al.* (2007) encontraron valores en el intervalo de 4.3 a 23.6 $\mu\text{g g}^{-1}$ también en maíces nativos y de 9.8 a 22.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ en maíces híbridos nacionales.

De los tipos de carotenoides presentes en los 51 genotipos, específicamente del grupo de las Xantofilas, 94 % fluctuaron entre 0 y 3 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano del compuesto

luteína, y solo 6 % tuvieron valores mayores a $3 \mu\text{g g}^{-1}$ (Figura 7a); de éstos, las líneas 12 y 1, junto con la población 96, tuvieron los valores más altos: 3.88, 4.42 y $5.71 \mu\text{g g}^{-1}$ de luteína, respectivamente (Cuadro 11). Por su parte, la Zeaxantina osciló entre 1.07 y $14.28 \mu\text{g g}^{-1}$, pero el margen que concentró el 88 % de la variación fue de 1 a $6 \mu\text{g g}^{-1}$, mientras que 6 % de los genotipos tuvieron valores mayores a $10 \mu\text{g g}^{-1}$ (Figura 7b). Al igual que en luteína, las líneas 12, 1 y la población 96, fueron los genotipos que sobresalieron por sus valores más altos de zeaxantina: 10.01, 10.72 y $14.28 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 11). Los resultados obtenidos para estos compuestos del grupo de Xantofilas fueron similares a los que encontraron Lozano *et al.* (2007), quienes tuvieron valores desde 0.7 hasta $11.0 \mu\text{g g}^{-1}$ de luteína y de 0.3 y $19.0 \mu\text{g g}^{-1}$ en zeaxantina; Kurilich y Juvick (1999) reportan valores en el intervalo de 0 a $20 \mu\text{g g}^{-1}$ de luteína. Sin embargo, existe material genético con muy altos valores de estos dos carotenoides, que no fueron alcanzados en los materiales aquí estudiados; ejemplos de esto son Burn *et al.* (2011) quienes indican contenidos de luteína de $66 \mu\text{g g}^{-1}$ y zeaxantina de $65 \mu\text{g g}^{-1}$ y Berardo *et al.* (2004) quienes obtuvieron valores de luteína y zeaxantina de 29.7 y $38.2 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

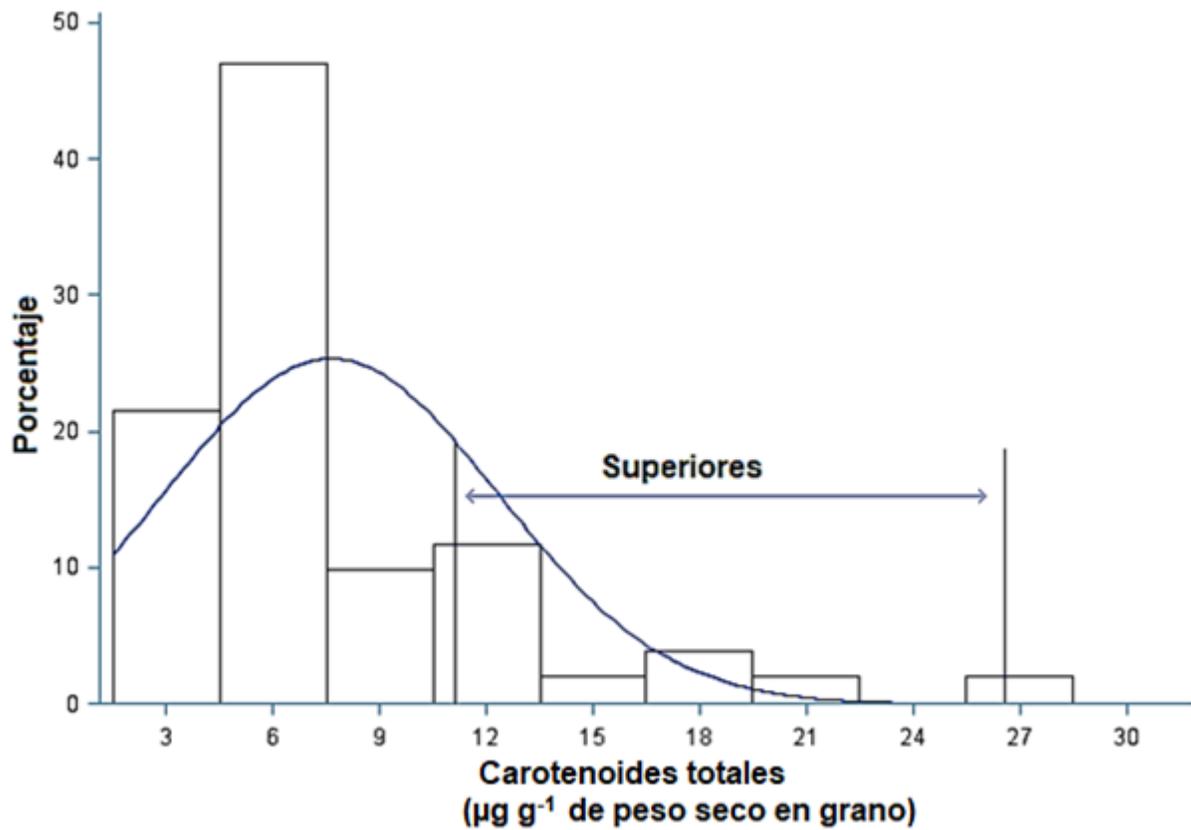


Figura 6. Distribución de la variación (%) para el contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en 51 genotipos de maíz amarillo.

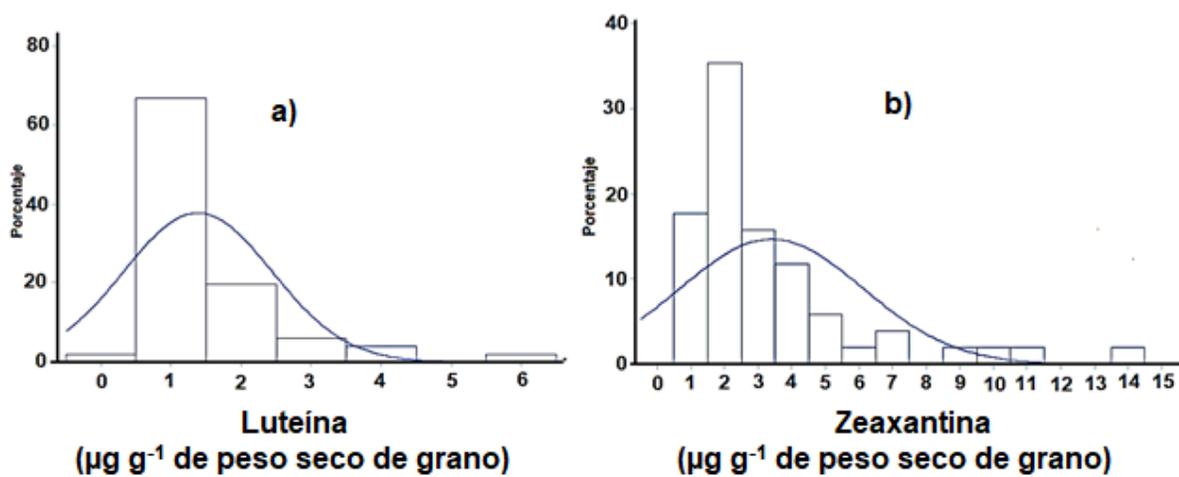


Figura 7. Distribución de la variación (%) para el contenido de Luteína (a) y Zeaxantina (b) en 51 genotipos de maíz amarillo.

De los carotenoides que se reportan con actividad de provitamina A, en los análisis de los 51 genotipos se encontraron valores registrados en los niveles: 0.17 a 3.95, 0.35 a 2.23, 0.28 a 0.92 y 0.27 a 1.07 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano, para los compuestos β -criptoxantina, β -caroteno, 13-cis- β -caroteno y 9-cis- β -caroteno, respectivamente. La distribución de la variación para β criptoxantina (Figura 8a) fue similar a la de los carotenoides totales y zeaxantina; en este caso, 76 % de los genotipos fluctuaron entre 0.0 y 1.0 $\mu\text{g g}^{-1}$, y las poblaciones 94, 96 y 102 fueron las que alcanzaron los valores superiores; es decir, de 3.01, 3.86 y 3.95 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano, respectivamente (Cuadro 11), y juntas representaron solo 2 % de todos los genotipos estudiados. Para los compuestos β -caroteno, 13-cis- β caroteno y 9-cis- β -caroteno el comportamiento de los genotipos en cuanto a distribución fue similar entre sí (Figura 8b, 8c y 8d). La distribución correspondiente a estos tres últimos compuestos fue similar a la distribución del contenido de provitamina A (Figura 9), donde 92 % de los 51 genotipos tuvieron entre 1 y 4 $\mu\text{g g}^{-1}$, y solamente 2 % fue mayor a 5 $\mu\text{g g}^{-1}$. Los valores obtenidos aquí son similares a los reportados por Lozano *et al.* (2007) quienes encontraron de 0.18 hasta 4.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ de β -criptoxantina, y a los de Berardo *et al.* (2004), quienes reportan valores de hasta 5.90 $\mu\text{g g}^{-1}$, mientras que para β -caroteno hasta 2.8 $\mu\text{g g}^{-1}$; por su parte, Alfieri *et al.* (2014) señalan valores entre 0.2 a 2.33 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el mismo compuesto.

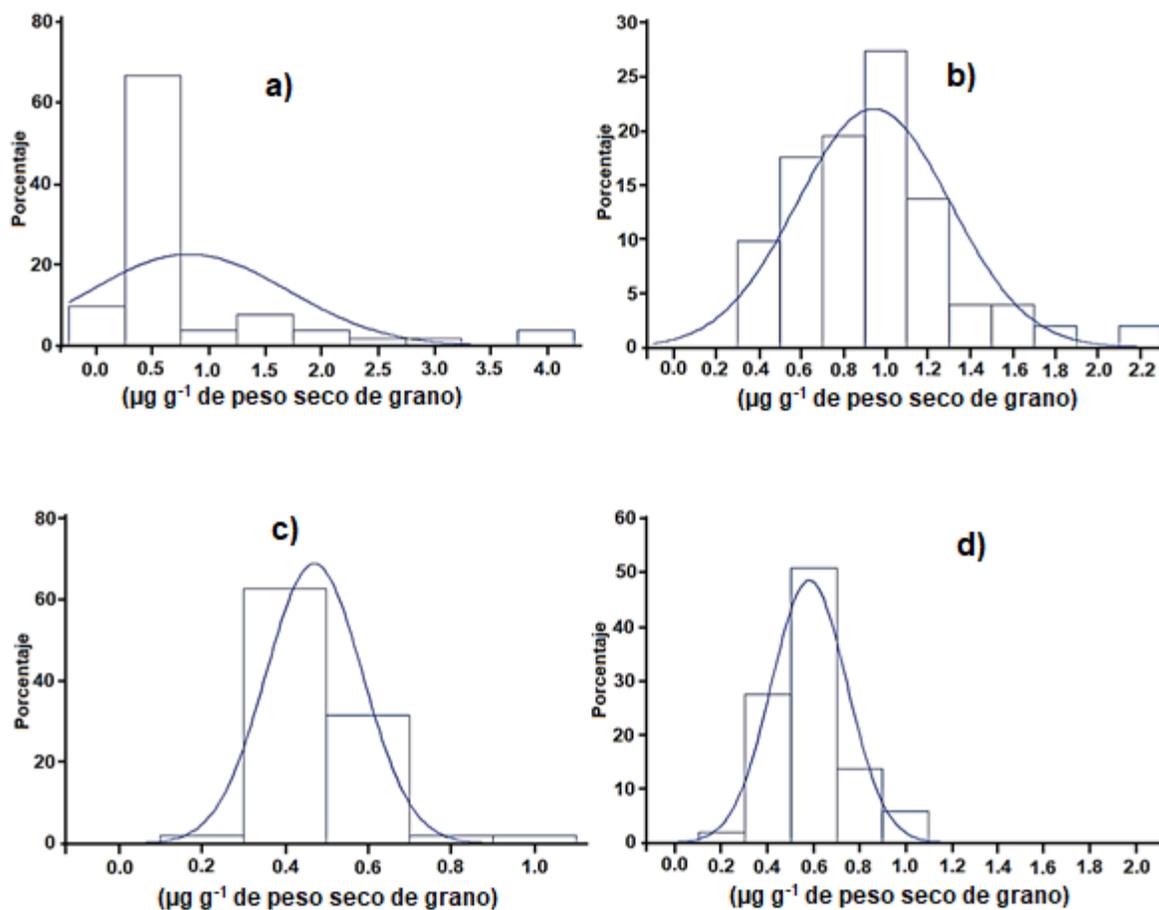


Figura 8. Distribución de la variación (%) para el contenido de carotenoides con actividad provitamina A en 51 genotipos de maíz amarillo ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano): a) β -criptoxantina, b) β -caroteno, c) 13-cis- β -caroteno y d) 9-cis- β -caroteno.

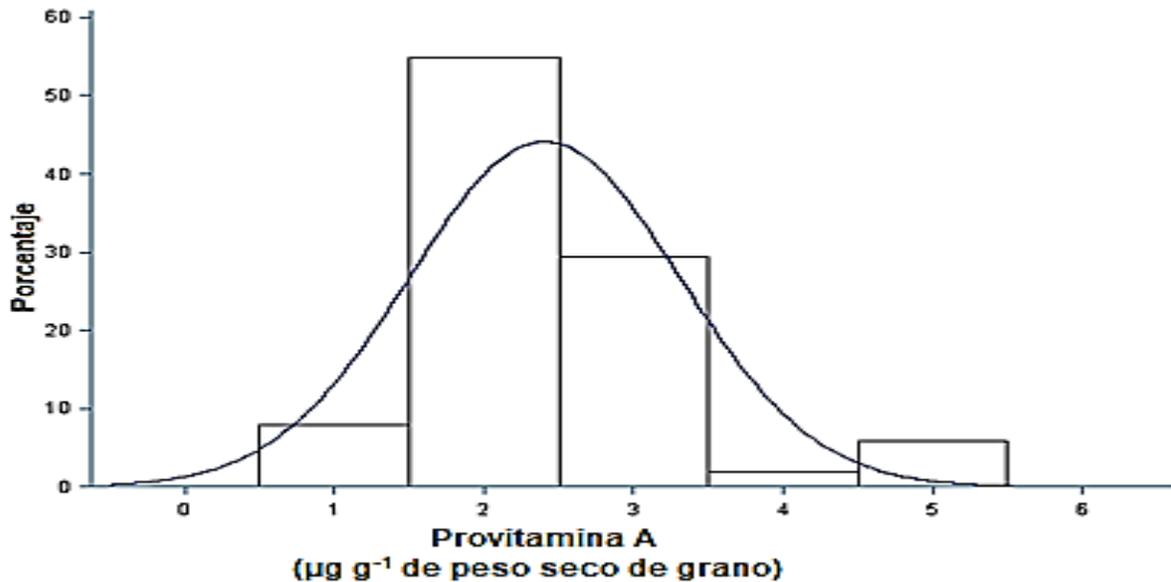


Figura 9. Distribución de la variación (%) para el contenido ($\mu\text{g g}^{-1}$) de provitamina A en 51 genotipos de maíz amarillo.

El 76 % de los genotipos tuvo valores entre 0.6 y 1.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ de β -caroteno, 88 % entre 0.3 y 0.6 $\mu\text{g g}^{-1}$ de 13-cis- β -caroteno y 86% entre 0.4 y 0.8 $\mu\text{g g}^{-1}$ de 9-cis- β -caroteno. En cada uno de estos compuestos hubo materiales sobresalientes, es decir, que tuvieron los valores más altos; así, en el caso de 13-cis- β -caroteno los valores más altos los tuvieron la población 102 y en la línea 1, con 0.74 y 0.92 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. En β caroteno sobresalieron las poblaciones 96, 32 y 102, así como la línea 1, que alcanzaron los valores correspondientes, en el orden: 1.53, 1.57, 1.76 y 2.23 $\mu\text{g g}^{-1}$. Para 9-cis- β caroteno, las poblaciones 32, 44 y 36 y la línea 1 tuvieron valores altos, cada una de 0.87, 0.99, 1.07 y 1.02 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de carotenoides en una muestra de poblaciones y líneas S₃ de maíz amarillo obtenidos por UPLC.

	CT	Lut	Zea	β-CriX	β-Car	13-cis-βC	9-cis-βC	Prov A
	(μg g ⁻¹ de peso seco de grano)							
Poblaciones								
96 (ai)	26.84 ⁽¹⁾	5.71 ⁽¹⁾	14.28 ⁽¹⁾	3.86 ⁽²⁾	1.53 ⁽⁴⁾	0.68 ⁽³⁾	0.77 ⁽⁵⁾	4.91 ⁽³⁾
102 (ai)	17.12 ⁽⁴⁾	2.56 ⁽⁶⁾	7.35 ⁽⁵⁾	3.95 ⁽¹⁾	1.76 ⁽²⁾	0.74 ⁽²⁾	0.75 ⁽⁶⁾	5.23 ⁽¹⁾
94 (ai)	11.47 ⁽⁸⁾	1.56 ⁽¹⁶⁾	4.41 ⁽¹¹⁾	3.01 ⁽³⁾	1.27 ⁽⁸⁾	0.56 ⁽⁶⁾	0.66 ⁽¹³⁾	4.00 ⁽⁴⁾
16 (ai)	8.66 ⁽¹⁴⁾	1.84 ⁽¹¹⁾	4.35 ⁽¹²⁾	0.53 ⁽²⁴⁾	0.95 ⁽²³⁾	0.47 ⁽²⁶⁾	0.53 ⁽²⁸⁾	2.21 ⁽²⁴⁾
32 (ac)	6.92 ⁽¹⁹⁾	0.93 ⁽²⁹⁾	2.32 ⁽²⁸⁾	0.59 ⁽²¹⁾	1.57 ⁽³⁾	0.65 ⁽⁴⁾	0.87 ⁽⁴⁾	3.38 ⁽⁵⁾
40 (ac)	6.31 ⁽²⁰⁾	1.14 ⁽²²⁾	2.83 ⁽¹⁹⁾	0.56 ⁽²³⁾	0.88 ⁽³¹⁾	0.48 ⁽²²⁾	0.42 ⁽⁴⁷⁾	2.06 ⁽³¹⁾
20 (ai)	5.87 ⁽²⁴⁾	1.08 ⁽²⁴⁾	2.51 ⁽²³⁾	0.36 ⁽³⁴⁾	0.90 ⁽²⁷⁾	0.44 ⁽²⁹⁾	0.58 ⁽²²⁾	2.10 ⁽³⁰⁾
37 (ac)	5.73 ⁽²⁸⁾	1.12 ⁽²³⁾	2.64 ⁽²¹⁾	0.40 ⁽³²⁾	0.71 ⁽³⁷⁾	0.42 ⁽³⁴⁾	0.44 ⁽⁴³⁾	1.78 ⁽³⁸⁾
68 (Café)	3.43 ⁽⁵⁰⁾	0.51 ⁽⁴⁹⁾	1.27 ⁽⁴⁹⁾	0.23 ⁽⁴⁸⁾	0.62 ⁽⁴⁵⁾	0.37 ⁽⁴⁴⁾	0.42 ⁽⁴⁸⁾	1.53 ⁽⁴⁷⁾
101 (Rojo)	11.49 ⁽⁷⁾	1.95 ⁽¹⁰⁾	5.32 ⁽¹⁰⁾	2.08 ⁽⁵⁾	1.13 ⁽¹²⁾	0.51 ⁽¹⁶⁾	0.51 ⁽³²⁾	3.18 ⁽⁶⁾
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Líneas								
1 (ai)	20.89 ⁽²⁾	4.42 ⁽²⁾	10.72 ⁽²⁾	1.58 ⁽⁹⁾	2.23 ⁽¹⁾	0.92 ⁽¹⁾	1.02 ⁽²⁾	4.95 ⁽²⁾
12 (ai)	17.52 ⁽³⁾	3.88 ⁽³⁾	10.01 ⁽³⁾	1.67 ⁽⁸⁾	1.00 ⁽¹⁸⁾	0.50 ⁽¹⁸⁾	0.47 ⁽⁴⁰⁾	2.79 ⁽¹³⁾
8 (ai)	14.14 ⁽⁵⁾	2.88 ⁽⁴⁾	8.61 ⁽⁴⁾	1.28 ⁽¹⁰⁾	0.65 ⁽⁴⁰⁾	0.40 ⁽³⁹⁾	0.33 ⁽⁵⁰⁾	2.01 ⁽³³⁾
10 (ai)	12.52 ⁽⁶⁾	2.44 ⁽⁷⁾	5.87 ⁽⁷⁾	2.27 ⁽⁴⁾	0.94 ⁽²⁴⁾	0.49 ⁽¹⁹⁾	0.51 ⁽³³⁾	3.07 ⁽⁹⁾
2 (ai)	11.22 ⁽⁹⁾	2.70 ⁽⁵⁾	6.61 ⁽⁶⁾	0.71 ⁽¹⁶⁾	0.56 ⁽⁴⁶⁾	0.30 ⁽⁵⁰⁾	0.33 ⁽⁴⁹⁾	1.55 ⁽⁴⁵⁾
7 (ai)	11.16 ⁽¹⁰⁾	1.82 ⁽¹²⁾	5.43 ⁽⁸⁾	1.70 ⁽⁷⁾	1.08 ⁽¹⁵⁾	0.51 ⁽¹⁵⁾	0.63 ⁽¹⁵⁾	3.06 ⁽¹⁰⁾
68 (ac)	10.69 ⁽¹¹⁾	2.11 ⁽⁹⁾	5.42 ⁽⁹⁾	1.00 ⁽¹²⁾	1.09 ⁽¹⁴⁾	0.52 ⁽¹⁴⁾	0.57 ⁽²³⁾	2.67 ⁽¹⁷⁾
52 (ac)	9.38 ⁽¹²⁾	1.65 ⁽¹⁴⁾	4.08 ⁽¹⁴⁾	1.10 ⁽¹¹⁾	1.28 ⁽⁷⁾	0.56 ⁽⁷⁾	0.72 ⁽⁹⁾	3.11 ⁽⁸⁾
70 (Blanco)	4.98 ⁽³⁵⁾	0.53 ⁽⁴⁸⁾	1.34 ⁽⁴⁷⁾	0.71 ⁽¹⁵⁾	1.26 ⁽⁹⁾	0.55 ⁽¹⁰⁾	0.59 ⁽²⁰⁾	2.75 ⁽¹⁶⁾
81 (Rojo)	4.97 ⁽³⁶⁾	0.63 ⁽⁴²⁾	1.07 ⁽⁵¹⁾	0.70 ⁽¹⁷⁾	1.35 ⁽⁶⁾	0.56 ⁽⁸⁾	0.67 ⁽¹²⁾	2.92 ⁽¹²⁾
96 (Café)	3.31 ⁽⁵¹⁾	0.41 ⁽⁵¹⁾	1.27 ⁽⁴⁸⁾	0.20 ⁽⁵⁰⁾	0.64 ⁽⁴³⁾	0.38 ⁽⁴²⁾	0.43 ⁽⁴⁶⁾	1.54 ⁽⁴⁶⁾
97 (Café)	3.89 ⁽⁴⁹⁾	0.57 ⁽⁴⁶⁾	1.56 ⁽⁴¹⁾	0.25 ⁽⁴⁴⁾	0.64 ⁽⁴²⁾	0.38 ⁽⁴³⁾	0.49 ⁽³⁷⁾	1.63 ⁽⁴³⁾
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Mínimo	3.31	0.41	1.07	0.17	0.35	0.28	0.27	1.05
Promedio	7.62	1.38	3.4	0.82	0.94	0.47	0.58	2.4
Máximo	26.84	5.71	14.28	3.95	2.23	0.92	1.07	5.23

CT=carotenoides totales; Lut = luteína; Zea = zeaxantina; β-CriX = β-criptoxantina; 13-cis-βC = 13-cis-β-caroteno; βcar = β-caroteno; 9-cis-βC = 9-cis-β-caroteno; Prov A = provitamina A; Letras entre paréntesis representan el color de grano como se identificó visualmente (ai=amarillo intenso, ac=amarillo claro); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó cada genotipo (1-51) en cada variable. Los valores mínimo, promedio y máximo corresponden al total de los 51 genotipos.

Al relacionar la clasificación visual por el color del grano de las poblaciones y líneas estudiadas, aplicada previamente durante la formación de los materiales, con el contenido de carotenoides totales por UPLC, se puede inferir que los maíces de grano amarillo intenso fueron los que tuvieron los valores más altos (Figura 10), incluso la población 96, la de mayor intensidad de amarillo (anaranjado), fue la de mayor contenido de carotenoides totales, así como de luteína y zeaxantina, y se posicionó en los primeros cinco lugares en las variables: β -criptoxantina, β caroteno, 13-cis- β -caroteno, 9-cis- β -caroteno y provitamina A, lo que coincide con el resultado de Almeida *et al.* (2014), quienes al evaluar el color de grano y el perfil del contenido de carotenoides, encontraron que poblaciones con mazorcas amarillo- anaranjadas tuvieron mayores niveles de carotenoides totales que aquéllas con mazorcas amarillo-claro. Esto resulta importante para ser considerado como criterio de selección fenotípica en la búsqueda de maíces con propiedades que beneficien y contribuyan a la reducción de la malnutrición en poblaciones humanas donde la base de su alimentación sea este cereal. Aunado a lo anterior, está la apariencia del grano, particularmente la intensidad del color, pues esta tiene relevancia en la aceptación del maíz amarillo para consumo humano, pues aun cuando hay preferencia por los maíces blancos, estudios recientes señalan que la divulgación de las propiedades nutricionales de los maíces color naranja ha propiciado su aceptación, además de poseer mejor sabor y aroma, comparado con las variedades blancas locales de África Oriental y Meridional (Almeida *et al.* 2014) así como de otras regiones como América Latina (Sommer y Davidson, 2002; Muzhingi *et al.*, 2011; Sommer y Vyas, 2012).

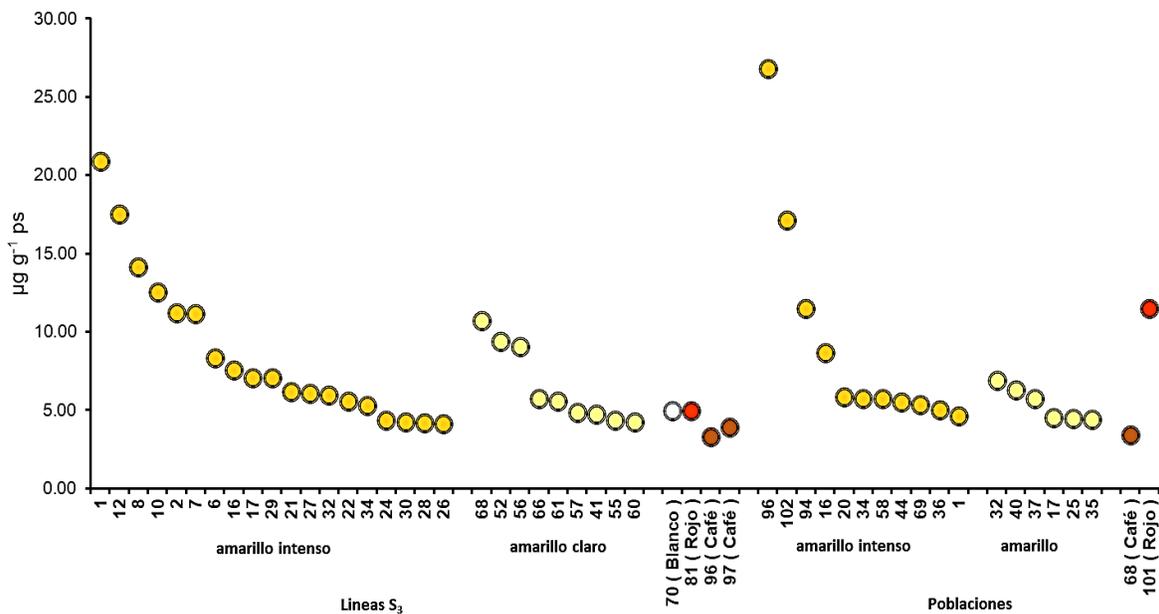


Figura 10. Carotenoides totales en líneas S₃ y poblaciones de maíz con diferentes tonos de pigmentación.

Al analizar y comparar los valores de carotenoides obtenidos mediante la metodología NIRS con los obtenidos por análisis UPLC (β -criptoxantina, β -caroteno, carotenoides totales y provitamina A), se encontró que la variable carotenoides totales fue la única que presentó correlación alta y positiva ($R^2 = 0.85$), por lo que para los grupos de genotipos de interés de este estudio (100 poblaciones y 68 líneas S₃) solo se analizó el comportamiento del contenido de carotenoides totales obtenido por metodología NIRS.

Los análisis de varianza que se presentan en los Cuadro 12 y 13 muestran que hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones y entre líneas para el contenido de carotenoides totales, lo que refleja la variabilidad y diversidad existente para esos compuestos en las poblaciones y líneas y, por ende, se dispone de una excelente fuente de germoplasma para la mejora genética de los maíces de grano amarillo con estas características que son de interés para el consumo humano.

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de carotenoides totales, estimado con NIRS en poblaciones de maíz de grano amarillo.

Fv	GI	Carotenoides totales
Poblaciones	99	46.266 **
Error	290	3.794
C V (%)		21.969
R ²		0.81
Media		8.87

Fv= Fuente de variación; GI = Grados de libertad; CV = Coeficiente de Variación; ** = P ≤ 0.01.

Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de carotenoides totales, estimado con NIRS en líneas S₃ de maíz de grano amarillo.

Fv	GI	Carotenoides totales
Líneas	67	4683.630 **
Error	178	783.709
C V (%)		19.384
R ²		0.857
Media		10.82

Fv = Fuente de variación; GI = Grados de libertad; CV = Coeficiente de Variación; ** = P ≤ 0.01.

El contenido de carotenoides totales en las poblaciones osciló entre 2.42 y 27.52 µg g⁻¹ de peso seco de grano. La mayor cantidad de poblaciones (93 %) se ubicó en el intervalo de 3 a 13 µg g⁻¹ de grano de compuestos carotenoides totales, y las poblaciones con niveles superiores fueron aquéllas con valores superiores a los 17 µg g⁻¹ de peso seco de grano (Figura 11). La población 96 tuvo el mayor contenido de carotenoides totales (27.52 µg g⁻¹), por lo que al compararla con el comportamiento de las poblaciones de referencia de granos de color rojo (población 101), café (población 68) y blanco (población 52) se encontraron diferencias de hasta 88, 64 y 49 %, respectivamente (Cuadro 14). Esta comparación se hizo para saber si las poblaciones de referencia, es decir, de colores contrastantes al amarillo, tenían o no carotenos totales en su constitución de grano; así,

en el presente estudio se evidencia que sí lo contienen y en algunos casos (rojo y café) la cantidad presente fue comparable a la de otras poblaciones de grano amarillo, por lo que sería importante e interesante explorar su diversidad con el enfoque de síntesis de carotenoides.

La estimación de los carotenoides totales en las líneas S₃ osciló entre 1.09 a 22.32 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco. El mayor porcentaje de las líneas evaluadas se ubicó en un intervalo de 6 a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de carotenoides totales, mientras que las líneas con niveles superiores fueron aquéllas con valores superiores a los 16 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Figura 12). La línea 12, de grano amarillo intenso, fue la que tuvo el contenido de carotenoides totales más alto, y superó en 89, 61 y 92 % a las líneas de referencia 70, 97 y 81, de color de grano blanco, café y rojo, respectivamente (Cuadro 14).

Al comparar estos resultados con los de otros trabajos, como el de Berardo *et al.* (2004) con variedades, híbridos y líneas y el de Burn *et al.* (2011) con líneas de maíz “Orange Flint” seleccionadas por su alto contenido de carotenoides, se encontró que los carotenoides totales en general fueron bajos en las poblaciones y en las líneas derivadas de éstas, no obstante, al menos 35 % de las poblaciones y 58 % de las líneas mostraron valores similares a los encontrados por Alfieri *et al.* (2014) en líneas italianas de maíz vítreo, a los de Mugode *et al.* (2014) y Tomás *et al.* (2011) en maíces amarillos biofortificados, así como a los de Salinas *et al.* (2008) y Lozano *et al.* (2007) en maíces nativos e híbridos de México.

Cuadro 14. Contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en una muestra de poblaciones y una muestra de líneas S₃ de maíz, analizadas con NIRS.

Carotenoides totales			
# Población	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Línea S ₃	$\mu\text{g g}^{-1}$
96 (ai)	27.52 a ⁽¹⁾	12 (ai)	22.32 a ⁽¹⁾
102 (ai)	17.41 b ⁽²⁾	68 (cl)	19.96 ab ⁽²⁾
65 (ai)	15.54 bc ⁽³⁾	8 (ai)	19.33 ac ⁽³⁾
94 (ai)	15.35 bd ⁽⁴⁾	10 (ai)	17.52 ae ⁽⁵⁾
44 (ai)	14.15 be ⁽⁵⁾	1 (ai)	17.15 af ⁽⁶⁾
58 (ai)	12.89 bh ⁽⁸⁾	32 (ai)	14.35 bh ⁽⁹⁾
79 (ai)	12.58 bj ⁽¹¹⁾	41 (cl)	13.20 bj ⁽¹⁸⁾
91 (ai)	12.00 bl ⁽¹³⁾	21 (ai)	13.15 bj ⁽²⁰⁾
36 (ai)	11.91 bl ⁽¹⁵⁾	28 (ai)	12.14 dl ⁽²³⁾
25 (cl)	10.41 cu ⁽³¹⁾	54 (cl)	11.57 dn ⁽³⁰⁾
31 (ai)	9.39 dx ⁽⁴³⁾	61 (cl)	10.73 ep ⁽³⁵⁾
33 (cl)	6.88 ha' ⁽⁷⁵⁾	3 (ai)	5.35 lt ⁽⁵⁹⁾
⋮	⋮	⋮	⋮
101 (rojo)	13.82 bf ⁽⁶⁾	81 (rojo)	1.74 st ⁽⁶⁷⁾
68 (café)	9.79 cv ⁽³⁶⁾	97 (café)	8.66 hr ⁽⁴⁷⁾
52 (blanco)	3.13 ya' ⁽⁹⁶⁾	70 (blanco)	2.35 rt ⁽⁶⁶⁾
Mínimo	2.42		1.09
Promedio	3.83		10.64
Máximo	27.52		22.32
Dhs	6.13		6.82

Dhs = Diferencia honesta significativa; letras entre paréntesis representan el color de grano como se identificó visualmente (ai=amarillo intenso, cl=amarillo claro); celdas con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes (Tukey $\alpha \leq 0.05$); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó la población (1-100) o la línea (1-68) dentro de cada grupo. Los valores mínimo, promedio y máximo corresponden al total de las 100 poblaciones y 68 líneas.

Los resultados de este trabajo son alentadores en la búsqueda de maíces con mayor contenido de carotenoides, sobre todo para el desarrollo de programas de mejoramiento con tales fines. El alto costo del equipo y técnicas de laboratorio propician la búsqueda de opciones más rápidas y menos costosas, y los resultados en este trabajo coinciden con lo señalado por Burn *et al.* (2011) en el sentido de que el mejoramiento tradicional y la selección visual para endospermo de color naranja intenso es un método útil y de bajo costo para desarrollar líneas con alto contenido de carotenoides. Aunado a lo anterior, el uso de herramientas como la espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS), permitirían analizar un gran número de muestras de manera fácil, rápida y sobre todo de bajo costo, solo se requiere la calibración precisa y la generación de modelos que tengan alta correlación con el contenido de los diferentes compuestos carotenoides que se determinan con técnicas bioquímicas específicas, considerando los tipos de maíces en estudio; para el caso, sería importante trabajar con datos de NIRS que correlacionen mejor con los datos bioquímicos reales, para generar modelos más precisos que permitan conocer con más detalle y facilidad la cantidad y tipo de carotenoides que poseen los genotipos en proceso de mejoramiento, y que faciliten la selección de los nuevos segregantes.

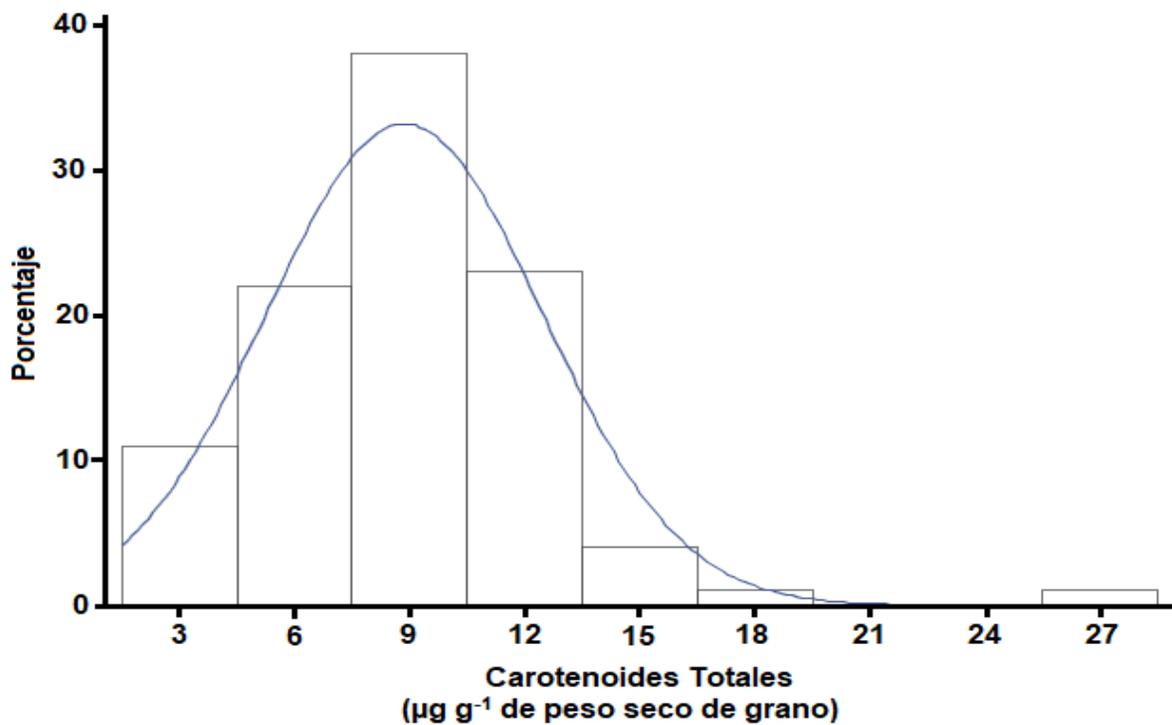


Figura 11. Distribución de la variación en el contenido de Carotenoides Totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano) en poblaciones de maíz amarillo, estimado con NIRS.

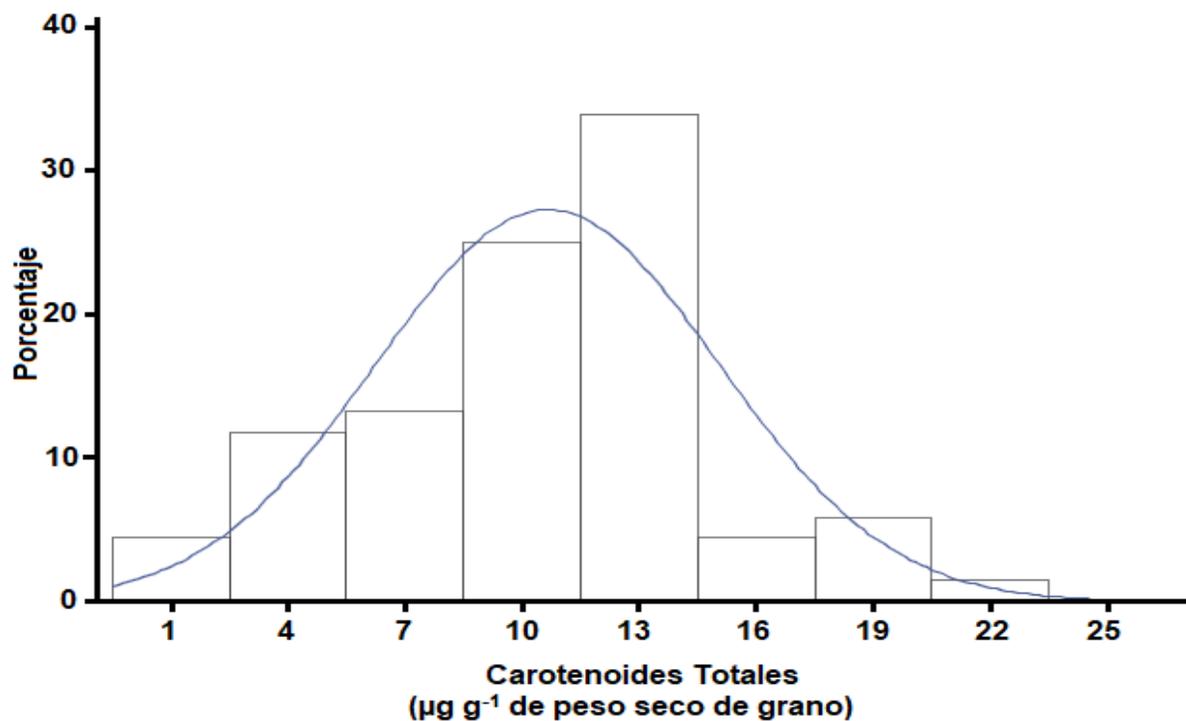


Figura 12. Distribución de la variación en el contenido de Carotenoides Totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano) en líneas S₃ de maíz amarillo, estimado con NIRS.

CONCLUSIONES

En general, los niveles de carotenoides totales encontrados en los 51 genotipos evaluados por UPLC reflejan la diversidad de los mismos para esos compuestos, la cual fue desde 3.31 hasta 26.84 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano, donde las poblaciones 96 y 102 y las líneas 1 y 12 tuvieron valores superiores a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de carotenoides totales, y la población 96 y la línea 1 sobresalieron, además, por sus contenidos de luteína, zeaxantina y de carotenoides con actividad de provitamina A.

Los valores estimados de carotenoides totales por espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) permitieron identificar a las poblaciones 96, 102, 65 y 94, y a las líneas 1, 12, 8, 15, 10, 1, 6 y 7 como los materiales con los mejores niveles, superiores a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano.

En ambas determinaciones, mediante UPLC y por NIRS, los materiales con los valores de carotenoides totales más altos fueron aquéllos con la pigmentación de grano amarillo más intenso, por lo que esta respuesta puede ser asociada al genotipo, lo cual representa una herramienta importante para la selección basada en el color del grano para mayor contenido de carotenoides, aunada siempre a características agronómicas y de rendimiento. Si bien esto puede significar una reducción en el costo y el tiempo, en comparación con los métodos de laboratorio utilizados para la selección de materiales genéticos, esto no prescinde de la necesidad de realizar los análisis bioquímicos específicos, considerando el perfil de los carotenoides.

LITERATURA CITADA

- Alcaíno, J., M. Baeza, and V. Cifuentes. 2016.** Carotenoid distribution in nature. In: Carotenoids in nature. Biosynthesis, Regulation and Function. Springer International Publishing. Subcellular. Pp 3-33.
- Alfieri, M., A. Hidalgo, N. Berardo, and R. Redaelli. 2014.** Carotenoid composition and heterotic effect in selected Italian maize germplasm. *Journal of Cereal Science* 59:181-188.
- Almeida R., S., M. C. Dias P., W. Soares C., A. Borém, and F. Teixeira. 2014.** Color of Corn Grains and Carotenoid Profile of Importance for Human Health. *American Journal of Plant Sciences* 5:857-862.
- Badui D., S. 2006.** Química de los alimentos. Cuarta edición. PEARSON EDUCACION. México. 736 p.
- Berardo, N., O. V. Brenna, A. Amato, P. Valoti, V. Pisacane, and M. Motto. 2004.** Carotenoids concentration among maize genotypes measured by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5(3):393–398.
- Berg, J. M., J. L. Tymoczko, and L. Stryer. 2008.** Bioquímica. Sexta Edición. Editorial Reverte. Barcelona. 1026 p.
- Brenna, O. V., and N. Berardo. 2004.** Application of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to the evaluation of carotenoids content in maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:5577-5582
- Burt, A. J., C. M. Grainger, M. P. Smid, B. J. Shelp, and E. A Lee. 2011.** Allele Mining of Exotic Maize Germplasm to Enhance Macular Carotenoids. *Crop Science Society of America* 51(3):991-1004.
- Carranco J., M. A., M. C. Calvo C., y F. Pérez-Gil R. 2011.** Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61:233-239
- Chaudhary, D. P., S. Kumar, and O. P. Yadav. 2014.** Nutritive Value of Maize: Improvements, Applications and Constraints. In: Chaudhary DP; Kumar S; Singh S (Eds.). *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses*. Chapter 1. Volume 1.1st. Edition. Springer India 2014. DOI 10.1007/978- 81-322-1623-0_1. New Delhi. pp. 3-17.
- Chen, Y., F. Li, and E. T. Wurtze. 2010.** Isolation and characterization of the Z-ISO gene encoding a missing component of carotenoid biosynthesis in plants. *Plant Physiology* 153:66–79.
- Da-Silva M., R., V. Galli, S. D. Dos-Anjos, and C. Valmor R. 2014.** Carotenoid Biosynthetic and Catabolic Pathways: Gene Expression and Carotenoid Content in Grains of Maize Landraces. *Nutrients* 6(2):546-563
- Delgado V., F., A. R. Jiménez, and O. Paredes L. 2000.** Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Food Science Nutrition* 40(3):173-289.

- Dhliwayo, T., N. Palacios-Rojas, J. Crossa, and K. V. Pixley. 2014.** Effects of S1 recurrent selection for provitamin A carotenoid content for three open-pollinated maize cultivars. *Crop Science* 54(6):2449-2460.
- Dufour, E. 2009.** Principles of infrared spectroscopy In: *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*. Elsevier Inc. pp: 3-27.
- Esteve A., L., D. D. Ellis, S. Duvick, A. S. Goggi, C. R. Hurburgh, and C. A. Gardner. 2012.** Feasibility of near infrared spectroscopy for analyzing corn kernel damage and viability of soybean and corn kernels. *Journal of Cereal Science*, 55(2):160–165.
- Fraser, P. D., and P. M. Bramley. 2004.** The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress Lipid Research*, 43(3):228–265.
- Galicia, L., A. Miranda, M. G. Gutiérrez, O. Custodio, A. Rosales, N. Ruiz, R. Surles, y N. Palacios. 2012.** Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio. México, D.F.: CIMMYT. 50 p
- García F., M., J. H. Sawers R., G. M. L. Ruiz A., J. P. Délano F., y A. Tiessen. 2015.** Contenido de carotenoides del grano de maíz híbrido cultivado en invernadero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 3(2): 1-9
- Graham, R., D. Senadhira, S. Beebe, C. Iglesias, and I. Monasterio. 1999.** Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research*, 60: 57–80.
- Gross, J. 1991.** Pigments in vegetables: Chlorophylls and carotenoids. Van Nostrand Reinhold, New York. Springer US. 351 p.
- Guild, G., E. Parkes, M. Nutti, N. Palacios-Rojas, and J. Stangoulis. 2017.** High-throughput measurement methodologies for developing nutrient–dense crops. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(2): 11941-11954.
- ITC, International Trade Statistics. 2007.** Lista de los mercados proveedores para un producto importado por México: Maíz. Disponible en: http://www.trademap.org/tradestat/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm
- Jaswir, I., D. Noviendri, R. F. Hasrini, and F. Octavianti. 2011.** Carotenoids: Sources, medicinal properties and their application in food and nutraceutical industry. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33):7119–7131.
- Johnson, E. J. 2002.** The role of carotenoids in human health. *Nutrition Clinical Care*, 5(2):56–65.
- Koushan, K., R. Rusovici, W. Li, L. R. Ferguson, and K. V. Chalam. 2013.** The role of lutein in eye-related disease. *Nutrients*, 5(5):1823–1839.
- Kurilich, A. C., and J. A. Juvik. 1999.** Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal Agricultural Food Chemistry* 47(5): 1948-1955.
- Lozano A., N., G. Vázquez C., K. Pixley, and N. Palacios R. 2007.** Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8:385-389.

- Melchinger, A. E., G. A. Schmidt, and H. H. Geiger. 1986.** Evaluation of near infrared reflectance spectroscopy for predicting grain and stover quality traits in maize. *Plant Breeding*. 97:20-29.
- Mendoza M., C. G., M. C. Mendoza C., A. Delgado A., F. Castillo G., T. A. Kato Y., S. Cruz I. 2017.** Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4): 471-479.
- Miller, N. J., J. Sampson, L. P. Candeias, P. M. Bramley, and C. A. Rice-Evans. 1996.** Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters*, 384:240–242.
- Mugode, L., B. Ha, A. Kaunda, T. Sikombe, S. Phiri, R. Mutale, C. Davis, S. Tanumihardjo, and F. F. De Moura. 2014.** Carotenoid Retention of Biofortified Provitamin A Maize (*Zea mays* L.) after Zambian Traditional Methods of Milling, Cooking and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(27):6317-6325.
- Muzhingi, T., N. Palacios R., A. Miranda, M. L. Cabrera, K. J. Yeum, and G. Tang. 2017.** Genetic variation of carotenoids, vitamin E and phenolic compounds in provitamin A biofortified maize. *Journal Science Food Agricultural*, 97:793-801
- Muzhingi, T., T. H. Gadaga, A. H. Siwela, M. A. Grusak, R. M. Rusell, and G. Tang. 2011.** Yellow maize with high β -carotene is an effective source of vitamin A in healthy Zimbabwean men. *American Journal Clinical Nutrition* 94(2):510-519.
- Pixley, K., N. Palacios-Rojas, R. Babu, R. Mutale, R. Surles, and E. Simpungwe. 2013.** Biofortification of Maize with Provitamin A Carotenoids. In: Tanumihardjo SA (Ed.). *Carotenoids and Human Health*. Chapter 17. Springer Science-Business Media. DOI 10.1007/978-1-62703-203-2_17. New York. pp. 271-292.
- Rodriguez A., D. B. 1997.** Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods. Office of Health and Nutrition, U.S. Agency for International Development. Washington, DC. 93 p.
- Rodríguez A., D. B. 1999.** Carotenoides y Preparación de alimentos: La retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencias de Alimentos Faculdade de Engenharia de Alimentos Universidade Estadual de Campinas C.P. 6121, 13083-970 Campinas, SP., Brasil. 99 p.
- Rosales A., L. Galicia, E. Oviedo, C. Islas, and N. Palacios-Rojas. 2011.** Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for protein, tryptophan, and lysine Evaluation in quality protein maize (QPM) breeding programs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(20): 10781-10786.
- SAGARPA, Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017.** México. Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/maiz-blanco-y-amarillo-alimentacion-e-industria>

- Sajilata, M. G., R. S. Singhal, and M. Y. Kamat. 2008.** The carotenoid pigment zeaxanthin – A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1):29-49
- Salinas M., Y., S. Saavedra A., J. Soria R., y E. Espinoza T. 2008.** Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays L.*) amarillos cultivados en el estado de México. *Agricultura Técnica en México* 34(3): 357-364.
- Sánchez, A., L. B. Flores C., E. Langley, R. Martín, G. Maldonado, y S. Sánchez. 1999.** Carotenoides: Estructura, Función, Biosíntesis, Regulación y Aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 41:175-191
- SAS, Statistical Analysis System. 2013.** Statistics Analysis System. Software Release 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SIAP, Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2017.** Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap>
- Snodderly, D. M. 1995.** Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62(6):1448–1461
- Sommer, A., and F. R. Davidson. 2002.** Assessment and Control of Vitamin A Deficiency: The Anney Accords. *Proceedings of the XX International Vitamin A Consultative*. 2845S-2850S.
- Sommer, A., and K. S. Vyas. 2012.** A global clinical view on vitamin A and carotenoids. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96: 1204S-1206S.
- Tomas S., C., P. E. Oliveira G., M. C. Dias P., and C. J. de Souza. 2011.** Diallel analysis of maize inbred lines for carotenoids and grain yield. *Euphytica*, 182:395-404
- Xin, H., J. Rivers, P. León, R. P. MacQuinn, and B. J. Pogson. 2016.** Synthesis and function of apocarotenoid signals in plants. *Trends in Plant Science*. 21(9):792-803.
- Zhang, L. X., R. V. Cooney, and J. S. Bertram. 1992.** Carotenoids up-regulate connexin43 gene expression independent of their provitamin A or antioxidant properties. *Cancer Research*, 52:5707–5712.

DISCUSIÓN GENERAL

La riqueza genética de maíz que existe en México como centro de origen, la importancia de éste como cultivo desde el punto de vista alimentario, industrial y social, y la diversidad de condiciones ambientales en donde se lleva a cabo su producción, hacen que el conocimiento de la variación morfológica y genética y de la relación de éstas con el ambiente, así como de las necesidades sociales, sea fundamental para el aprovechamiento de esa riqueza y que pueda ser enfocada a los diferentes programas de mejoramiento genético, donde actualmente las estrategias se han orientado principalmente a incrementar el rendimiento de grano y la mejora de sus caracteres agronómicos, arquetipo de planta, resistencia a factores adversos, etc., dejando de lado aspectos cualitativos como los nutraceuticos del grano de maíz amarillo.

Ante la necesidad de incrementar el volumen de producción de maíz amarillo y reducir el volumen de importación de este tipo de grano, que anualmente asciende a más de 10 millones de toneladas (Espinosa *et al.*, 2011; Espinosa *et al.*, 2013; Velázquez, 2015), se requieren estrategias nacionales como la implementación de un programa de reconversión de maíz blanco a maíz amarillo, y esto implica la necesidad de contar con variedades e híbridos de calidad con alto potencial productivo y agronómico; para su éxito, también se requiere obtener información y conocimiento de los factores genéticos, ambientales y sociales que restringen la adaptación de dichas variedades e híbridos a condiciones ambientales distintas a las de su origen (Turrent *et al.*, 2012).

Así, es importante destacar el potencial de los maíces amarillos para el consumo humano, el cual ha sido desestimado, aún con su buena calidad, y se ha destinado principalmente a la alimentación animal (Castañeda, 2011).

Bajo el escenario anterior, la exploración de la diversidad de los maíces amarillos nativos provenientes de diversos orígenes geográficos de México y de su potencial de adaptación a las condiciones de Valles Altos, para utilizarlos como fuente de germoplasma para el mejoramiento de maíz amarillo, contribuye a reducir la brecha de uso de semillas mejoradas y con mayor potencial de rendimiento, tal como García *et al.* (2014) reportaron que más de la mitad de la superficie que se siembra con maíz no usa semilla mejorada, por lo que explorar y evaluar el potencial que las variedades nativas tienen, puede ser un primer paso en la conformación de esquemas para la mejora del rendimiento para las regiones productoras, sobre todo para los pequeños productores.

La exploración de las poblaciones evaluadas en el presente estudio permitió agruparlas por sus características agronómicas y por sus componentes de rendimiento. La formación de los grupos permitió identificar poblaciones con ciclo precoz, considerando a las poblaciones con floraciones de 67 días, como la población 96, la cual contrastó con las poblaciones 101 y 102 de ciclo tardío, de hasta 103 días a floración (Cuadro 4), esto es importante para disponer de germoplasma que pueda utilizarse bajo diferentes sistemas de producción, con base en la disponibilidad de agua o de fertilidad de suelo. Es importante observar que ni los grupos tardíos ni los precoces fueron los que mayor potencial de rendimiento mostraron, por lo que poblaciones que se ubicaron en los grupos

con ciclos intermedios a tardíos fueron los que tuvieron los mayores rendimientos; estos grupos incluyen poblaciones provenientes de Chiapas y Tlaxcala, así como los Compuestos Balanceados; estos últimos ya con mayor avance en el proceso de selección.

La diversidad que se presentó en características de planta y de mazorca también fue sobresaliente, pues se tuvieron poblaciones con alturas promedio menores a 2.0 m así como poblaciones que promediaron alturas cercanas a 3.0 m, mientras que tamaño de mazorca, en general, produjeron mazorcas medianas; sin embargo, el número de hileras y el número de granos por hilera fue variable entre grupos de poblaciones, esto debido al origen de las poblaciones, ya que se trabajaron diferentes razas que mostraron características propias o distintivas de su raza. Al valorar la diversidad genética de una manera integral se puede determinar la dirección de su aprovechamiento, para lograr un mejor uso de los genotipos y relacionarlos con su área de adaptación.

Para determinar el potencial de producción por área de adaptación, es preciso realizar la evaluación del comportamiento y potencial agronómico a través de ambientes, el cual puede ser diferencial, por lo que la valoración del comportamiento en varios ambientes (localidades y años) representativos del área de interés, con el fin de generar estimaciones de parámetros genéticos y predicciones más precisas, consienten una selección más confiable y esto permitirá tomar decisiones más acertadas en los programas de mejoramiento (Crossa, 1990). La evaluación de las poblaciones en las dos localidades, Montecillo y Tecámac, durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2014 y 2015, permitió valorar el comportamiento agronómico y su potencial de rendimiento. Se

pudo constatar que las poblaciones fueron afectadas en diferente magnitud en sus características agronómicas y de rendimiento, con respuestas diferenciales en cada localidad, esto como consecuencia de las condiciones ambientales prevalecientes durante el ciclo agrícola; al respecto, Montecillo durante el ciclo 2015 fue el ambiente donde las poblaciones tuvieron el mejor comportamiento agronómico y de rendimiento.

El mejor promedio de las poblaciones, a través ambientes, fue el de las poblaciones de ciclo intermedio, con plantas entre 2.0 y 2.2 m de altura, mazorcas de 15 a 16 cm de longitud y 4.8 cm de diámetro, con rendimiento mayor a 5500 kg ha⁻¹. Sin embargo, en cada ambiente la respuesta diferenciada de cada población mostró que las poblaciones 100 (H-San Marcos), 68 (Grano café) y 37 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H) sobresalieron por su buen rendimiento en ambas localidades y ciclos de evaluación. Estas tres poblaciones (100, 68 y 37) además, fueron las que tuvieron rendimiento de grano en Montecillo mayor a 8000 kg ha⁻¹.

Considerando que el potencial de rendimiento y los caracteres agronómicos son importantes para la implementación y adopción de maíces para una determinada región, para el caso del maíz amarillo con el fin de promover su consumo humano, es preciso determinar y valorar sus propiedades bioquímicas, y es por ende que en la búsqueda de mejorar estas propiedades, las estrategias de mejoramiento deben apuntar a generar cultivares de maíz mejorados con alta calidad de micronutrientes, sin comprometer la tolerancia al estrés abiótico y biótico, la productividad del cultivo y la calidad aceptable del producto final, aumentando así la probabilidad de que los agricultores adopten los

cultivares y los consumidores acepten los alimentos elaborados con ellos (Ortiz *et al.*, 2007).

El potencial expresado en el contenido de carotenoides totales tuvo una amplia variabilidad entre poblaciones; sin embargo, los valores promedio no superaron los 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano. Destacaron las poblaciones 96 y 102, y las líneas 1 y 12, con contenido total de carotenoides mayor a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco de grano. La población 96 y la línea 1 sobresalieron, además, por su alto contenido de luteína, zeaxantina y de carotenoides con actividad de provitamina A. Las fracciones de carotenoides encontrados con actividad provitamina A fueron de 11, 6, 12 y 8 % de β -criptoxantina, 13-cis- β -caroteno, β -caroteno y 9-cis- β -caroteno, respectivamente, correspondientes a los valores típicos reportados (10-20 %), mientras que para luteína y zeaxantina, las fracciones fueron de 18 y 45 %, respectivamente, que corresponden a la proporción de 30 a 50 % de carotenoides totales que tienen los maíces amarillos (Brenna y Berardo, 2004; Howe y Tanumihardjo, 2006).

La selección por color de grano en maíces amarillos es una herramienta importante en el proceso de selección de estos genotipos; como se pudo observar en aquellas poblaciones y líneas clasificadas como de grano amarillo intenso, e incluso con tendencia a coloración anaranjada, pues tuvieron los valores más altos en contenido de carotenoides totales. Sin embargo, para los compuestos del grupo de los carotenos no se observó la misma tendencia, pues en la pigmentación están involucrados también los dos carotenoides mayores en el grano de maíz: luteína y zeaxantina, del grupo de las xantofilas, por lo que la selección por el método visual o por espectrofotometría

podrían estar limitados para la selección de los compuestos carotenoides con actividad provitamina A (Guild *et al.*, 2017). Es entonces necesaria la aplicación de métodos analíticos como UPLC, aunque por los altos costos que éstos representan, la selección visual y por métodos de espectrofotometría pueden ser herramientas viables durante las primeras fases del proceso de selección, sobre todo cuando se trabaja con un número grande de muestras.

Al integrar las poblaciones evaluadas, se observaron las 40 mejores por su expresión en rendimiento de grano, características de mazorca, floración, altura de planta y carotenoides totales. En el Cuadro 15 se presenta el número de población y entre paréntesis el color de grano asignado visualmente, así también entre paréntesis el número que ocupó cada población para la variable correspondiente. La población 100 de grano amarillo claro (cl) tuvo el rendimiento de grano promedio más alto, fue la cuarta posición en longitud de mazorca y el doceavo lugar en diámetro de mazorca; en número de hileras y de granos ocupó la posición 9 y 25, respectivamente, y el lugar 14 para floración, el 23 en altura de planta, pero el lugar 55 en contenido de carotenoides totales. Las poblaciones de grano amarillo intenso tuvieron los valores de carotenoides más altos, como la 96, 102, 94, 65 y 44 fueron las primeras 5 en contenido de carotenoides totales; sin embargo, tuvieron, con excepción de la población 44, rendimientos más bajos. La población 96 (de la raza Bolita), proveniente del estado de Oaxaca, fue la de mayor contenido de carotenoides totales, seguida por la población 102 (Ocampo-2 SMC2) de Cd. Ocampo, Tamaulipas. De estas dos poblaciones contrasta que la primera fue la más precoz y la segunda la más tardía. Por rendimiento de grano, las poblaciones 100 (H-San Marcos), 68 (Grano café), 37 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H), 58 (Pue 6495

x Uruguay 177) y 40 (MMR-2 H x Pulga) tuvieron valores mayores a 6000 kg ha⁻¹, en promedio de los ambientes de evaluación.

Con base en los resultados obtenidos, se tendría que comenzar un buen programa de mejoramiento genético con estas poblaciones, pensando en hacer híbridos inter e intra-poblacionales, buscando nuevos patrones heteróticos que permitan la formación de germoplasma que pueda ser ofrecido a los productores y así contribuir a la producción de maíz amarillo de la región y del país. Se puede comenzar con cruzas entre poblaciones, y con la generación de líneas autofecundadas para fijar características de interés como el contenido total de carotenoides, entre otras. Con lo cual se lograría generar germoplasma con alto potencial de rendimiento y calidad nutracéutica.

Cuadro 15. Rendimiento de grano y sus componentes, variables agronómicas y carotenoides totales de las 40 poblaciones sobresalientes evaluadas en Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Hmz #	Ghil #	Ap cm	Dfm días	CT NIRS µg g ⁻¹
100 (cl)	6528 a ⁽¹⁾	15.6 bd ⁽⁴⁾	4.8 aj ⁽¹²⁾	15 ev ⁽⁹⁾	30 ak ⁽²⁵⁾	219 em ⁽²³⁾	79 fj ⁽¹⁴⁾	8.28 ea ⁽⁵⁵⁾
68 (Café)	6317 ab ⁽²⁾	14.8 bo ⁽³⁴⁾	4.5 jx ⁽⁶⁹⁾	15 fw ⁽⁵⁵⁾	32 ab ⁽²⁾	215 es ⁽³¹⁾	79 fj ⁽¹³⁾	9.79 cv ⁽³⁶⁾
37 (cl)	6271 ac ⁽³⁾	15.5 bf ⁽⁷⁾	4.8 bl ⁽²⁴⁾	15 dv ⁽¹³⁾	31 af ⁽¹⁰⁾	221 ej ⁽¹⁸⁾	78 gn ⁽¹⁸⁾	10.51 ct ⁽²⁹⁾
58 (ai)	6152 ad ⁽⁴⁾	15.0 bl ⁽²²⁾	4.9 ae ⁽⁵⁾	16 af ⁽⁴⁾	31 ag ⁽¹²⁾	206 gz ⁽⁵⁷⁾	75 oi ⁽⁵⁵⁾	12.89 bh ⁽⁸⁾
40 (cl)	6119 ae ⁽⁵⁾	15.3 bh ⁽¹⁰⁾	4.8 aj ⁽¹⁴⁾	15 cs ⁽¹⁴⁾	30 am ⁽³³⁾	196 uc ⁽⁸¹⁾	75 nh ⁽⁵⁴⁾	10.40 cu ⁽³³⁾
101 (Rojo)	3520 d'j ⁽⁸²⁾	14.4 cv ⁽⁵⁶⁾	3.8 g'h ⁽¹⁰⁰⁾	10 d' ⁽⁹¹⁾	30 aj ⁽²²⁾	246 bd ⁽⁷⁾	103 a ⁽¹⁾	13.82 bf ⁽⁶⁾
102 (ai)	3622 c'i ⁽⁸¹⁾	14.2 dv ⁽⁶⁵⁾	3.9 f'h ⁽⁹⁸⁾	10 c'd ⁽⁹²⁾	30 am ⁽³⁶⁾	252 b ⁽²⁾	103 a ⁽²⁾	17.41 b ⁽²⁾
94 (ai)	4882 is ⁽³⁰⁾	18.5 a ⁽¹⁾	4.4 pb ⁽⁸¹⁾	11 c'd ⁽⁵⁰⁾	33 a ⁽¹⁾	295 a ⁽¹⁾	98 b ⁽³⁾	15.35 bd ⁽⁴⁾
97 (cl)	5250 fl ⁽¹⁷⁾	15.6 be ⁽⁵⁾	5.1 a ⁽¹⁾	15 dt ⁽¹⁾	31 ai ⁽²⁰⁾	248 bd ⁽⁵⁾	85 c ⁽⁴⁾	4.36 ua ⁽⁹⁰⁾
93 (ai)	4673 ju ⁽³⁹⁾	15.5 bf ⁽⁸⁾	4.9 ag ⁽⁸⁾	16 ad ⁽³⁾	30 al ⁽²⁶⁾	250 bc ⁽³⁾	85 cd ⁽⁵⁾	10.71 cs ⁽²⁶⁾
44 (ai)	5836 af ⁽⁶⁾	16.0 b ⁽²⁾	4.6 es ⁽⁵⁴⁾	14 ia ⁽¹⁹⁾	31 ah ⁽¹⁴⁾	221 ej ⁽¹⁶⁾	77 jy ⁽³⁴⁾	14.15 be ⁽⁵⁾
69 (ai)	5828 af ⁽⁷⁾	15.7 bc ⁽³⁾	4.7 dq ⁽³⁸⁾	15 dt ⁽⁷⁾	31 af ⁽⁸⁾	220 ej ⁽¹⁹⁾	76 ka ⁽³⁹⁾	10.99 cr ⁽²³⁾
91 (ai)	5078 fp ⁽²³⁾	15.2 bj ⁽¹³⁾	5.1 ab ⁽²⁾	15 dv ⁽²⁾	29 bn ⁽⁶⁵⁾	244 bd ⁽⁸⁾	82 de ⁽⁷⁾	12.00 bl ⁽¹³⁾
5 (cl)	5375 ej ⁽¹³⁾	15.0 bl ⁽²³⁾	5.0 ad ⁽⁴⁾	16 aj ⁽¹⁰⁾	29 bn ⁽⁶¹⁾	212 fv ⁽³⁷⁾	74 vk ⁽⁷⁴⁾	8.29 ea ⁽⁵⁴⁾
66 (ai)	4966 gq ⁽²⁷⁾	15.1 bj ⁽¹⁸⁾	4.8 bk ⁽¹⁹⁾	16 ae ⁽⁵⁾	32 cl ⁽³⁾	211 fw ⁽⁴¹⁾	75 sk ⁽⁶⁵⁾	7.46 ga ⁽⁶⁹⁾
6 (cl)	4981 gq ⁽²⁵⁾	15.2 bj ⁽¹⁴⁾	4.6 gu ⁽⁵⁸⁾	15 dt ⁽²¹⁾	31 ad ⁽⁴⁾	215 et ⁽³³⁾	75 qk ⁽⁶¹⁾	2.89 ya ⁽⁹⁸⁾
96 (ai)	3908 ve ⁽⁷⁴⁾	12.4 zc ⁽⁹⁸⁾	4.8 bm ⁽²⁶⁾	12 b'c ⁽⁸³⁾	23 rs ⁽¹⁰⁰⁾	194 ud ⁽⁸³⁾	67 o ⁽¹⁰⁰⁾	27.52 a ⁽¹⁾
65 (ai)	4876 it ⁽³¹⁾	13.9 hy ⁽⁷²⁾	4.4 oa ⁽⁸⁰⁾	15 ew ⁽⁶⁴⁾	31 ai ⁽¹⁸⁾	229 df ⁽¹⁰⁾	78 gl ⁽¹⁶⁾	15.54 bc ⁽³⁾
2 (ai)	5714 bg ⁽⁸⁾	15.1 bj ⁽¹⁹⁾	4.8 bj ⁽¹⁷⁾	15 bp ⁽²⁸⁾	30 aj ⁽²⁴⁾	216 eq ⁽²⁸⁾	77 iv ⁽²⁸⁾	10.43 cu ⁽³⁰⁾
25 (cl)	5688 bh ⁽⁹⁾	15.1 bj ⁽¹⁶⁾	4.7 co ⁽³⁰⁾	15 fw ⁽¹¹⁾	31 ai ⁽¹⁹⁾	212 fu ⁽³⁵⁾	75 oi ⁽⁵⁶⁾	10.41 cu ⁽³¹⁾
4 (cl)	5683 bh ⁽¹⁰⁾	14.7 br ⁽⁴⁰⁾	4.9 af ⁽⁶⁾	17 a ⁽¹⁸⁾	29 an ⁽⁵²⁾	205 gz ⁽⁵⁸⁾	77 jw ⁽³²⁾	8.58 ez ⁽⁵²⁾
16 (ai)	5526 ci ⁽¹¹⁾	15.5 be ⁽⁶⁾	4.9 af ⁽⁷⁾	15 dt ⁽¹²⁾	30 am ⁽⁴⁰⁾	200 ob ⁽⁷⁴⁾	76 me ⁽⁴⁸⁾	11.93 bl ⁽¹⁴⁾
12 (ai)	5502 di ⁽¹²⁾	14.8 bn ⁽³³⁾	4.7 er ⁽⁴⁵⁾	15 br ⁽²⁶⁾	31 ae ⁽⁷⁾	211 fw ⁽³⁹⁾	74 zl ⁽⁸¹⁾	4.56 ta ⁽⁸⁹⁾

Continúa...

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Hmz #	Ghil #	Ap cm	Dfm días	CT NIRS µg g ⁻¹
Cuadro 15. Continuación								
39 (cl)	5344 fj ⁽¹⁴⁾	14.9 bn ⁽³⁰⁾	4.9 ah ⁽¹⁰⁾	14 gy ⁽¹⁶⁾	31 ae ⁽⁶⁾	222 eh ⁽¹²⁾	78 gp ⁽²¹⁾	8.57 ez ⁽⁵³⁾
17 (cl)	5311 fk ⁽¹⁵⁾	14.6 cu ⁽⁴⁸⁾	4.7 dr ⁽³⁹⁾	14 ia´ ⁽¹⁷⁾	30 am ⁽⁴¹⁾	231 ce ⁽⁹⁾	79 fi ⁽¹²⁾	9.39 dx ⁽⁴⁴⁾
63 (cl)	5305 fk ⁽¹⁶⁾	13.8 iz ⁽⁷⁶⁾	4.4 rc´ ⁽⁸³⁾	14 ia´ ⁽⁷⁶⁾	30 am ⁽³¹⁾	221 ej ⁽¹⁷⁾	77 ht ⁽²⁶⁾	8.09 ea´ ⁽⁶⁰⁾
67 (cl)	5218 fm ⁽¹⁸⁾	14.2 dv ⁽⁶⁴⁾	4.8 bk ⁽²³⁾	16 al ⁽³⁰⁾	30 am ⁽⁴⁸⁾	208 gy ⁽⁵⁰⁾	77 jw ⁽³¹⁾	7.72 fa´ ⁽⁶⁴⁾
81 (ai)	5145 fn ⁽¹⁹⁾	14.7 bq ⁽³⁶⁾	4.8 bj ⁽¹⁶⁾	17 ab ⁽³²⁾	30 am ⁽²⁸⁾	193 vd´ ⁽⁸⁵⁾	78 go ⁽¹⁹⁾	10.35 cu ⁽³⁴⁾
61 (cl)	5088 fo ⁽²⁰⁾	14.3 cv ⁽⁶⁰⁾	4.8 bm ⁽²⁵⁾	15 cr ⁽²⁴⁾	30 aj ⁽²³⁾	206 gz ⁽⁵⁶⁾	73 j´m´ ⁽⁹²⁾	7.36 ga´ ⁽⁷¹⁾
1 (ai)	5085 fp ⁽²¹⁾	14.9 bl ⁽²⁶⁾	4.7 dp ⁽³⁴⁾	16 am ⁽³⁹⁾	29 an ⁽⁵⁷⁾	201 kb´ ⁽⁶⁹⁾	73 d´l´ ⁽⁸⁶⁾	9.53 cx ⁽⁴¹⁾
36 (ai)	5083 fp ⁽²²⁾	14.9 bn ⁽²⁹⁾	4.8 bk ⁽²¹⁾	15 bq ⁽²⁹⁾	30 am ⁽⁴⁴⁾	200 lb´ ⁽⁷⁰⁾	74 a´l´ ⁽⁸³⁾	11.91 bl ⁽¹⁵⁾
38 (cl)	5003 gq ⁽²⁴⁾	15.4 bg ⁽⁹⁾	4.7 dr ⁽⁴¹⁾	14 ia´ ⁽²⁷⁾	30 am ⁽⁴⁷⁾	212 fu ⁽³⁶⁾	77 iv ⁽²⁹⁾	11.57 bn ⁽¹⁸⁾
18 (ai)	4972 gq ⁽²⁶⁾	14.5 cv ⁽⁵⁴⁾	4.7 dr ⁽⁴²⁾	15 fw ⁽⁴⁴⁾	30 am ⁽⁴³⁾	219 ek ⁽²¹⁾	76 mf´ ⁽⁴⁹⁾	8.94 ey ⁽⁵⁰⁾
19 (cr)	4901 is ⁽²⁹⁾	14.9 bl ⁽²⁵⁾	4.8 cm ⁽²⁸⁾	15 dt ⁽²⁵⁾	31 ai ⁽¹⁵⁾	215 es ⁽³²⁾	78 go ⁽²⁰⁾	7.30 ga´ ⁽⁷²⁾
42 (cl)	4735 ju ⁽³⁷⁾	15.1 bj ⁽¹⁷⁾	4.6 jv ⁽⁶⁴⁾	14 gz ⁽⁵⁹⁾	30 am ⁽⁴²⁾	219 el ⁽²²⁾	80 eg ⁽¹⁰⁾	11.87 bl ⁽¹⁶⁾
3 (ai)	4498 lz ⁽⁵⁰⁾	14.7 bs ⁽⁴²⁾	4.8 aj ⁽¹³⁾	16 ag ⁽²²⁾	31 ag ⁽¹¹⁾	219 en ⁽²⁴⁾	76 le´ ⁽⁴⁷⁾	10.96 cr ⁽²⁴⁾
99 (ai)	4351 oc´ ⁽⁶⁰⁾	15.2 bj ⁽¹²⁾	4.9 ag ⁽⁹⁾	15 bo ⁽⁶⁾	28 co ⁽⁷⁷⁾	247 bd ⁽⁶⁾	81 ef ⁽⁹⁾	5.13 pa´ ⁽⁸⁴⁾
20 (ai)	4333 oc´ ⁽⁶³⁾	14.7 br ⁽³⁹⁾	4.7 cp ⁽³²⁾	15 dv ⁽³⁵⁾	31 af ⁽⁹⁾	207 gz ⁽⁵⁴⁾	78 gq ⁽²³⁾	11.27 co ⁽²⁰⁾
52 (bc)	4456 ma´ ⁽⁵³⁾	14.9 bn ⁽²⁸⁾	4.6 es ⁽⁵⁰⁾	16 ak ⁽⁴⁷⁾	29 an ⁽⁵⁵⁾	205 gz ⁽⁶⁰⁾	84 cd ⁽⁶⁾	3.13 ya´ ⁽⁹⁶⁾
46 (ai)	4101 ue´ ⁽⁷²⁾	14.5 cv ⁽⁵⁰⁾	4.8 bm ⁽²⁷⁾	15 fx ⁽³⁸⁾	29 bn ⁽⁶⁷⁾	203 iz ⁽⁶⁵⁾	73 g´m´ ⁽⁸⁹⁾	12.61 bj ⁽¹⁰⁾
Dhs	766	1.42	0.32	1.59	3.85	18.74	2.56	6.13
Mínimo	1589	11.90	3.78	10.23	23.13	156.55	67.45	2.42
Media	4339	14.35	4.58	14.49	28.98	208.18	76.41	3.83
Máximo	6528	18.51	5.13	17.06	32.88	294.60	102.92	27.52

Pob: Población; Rto: Rendimiento de grano; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Hmz: Hileras por mazorca; Ghil: Granos por hilera; Dfm: Días a floración masculina; Ap: Altura de planta; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha=0.05$); Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Letras entre paréntesis representan el color de grano (ai=amarillo intenso, cl=amarillo claro); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó la población (1-100) en cada variable. Los valores mínimo, promedio y máximo corresponden al total de las 100 poblaciones.

CONCLUSIONES GENERALES

La diversidad agronómica, de mazorca y de rendimiento de grano expresada en las poblaciones de maíz amarillo evaluadas, permitió detectar aquéllas cuyo rendimiento y características de precocidad, de planta y de mazorca, tales como las poblaciones 100 (H-San Marcos), 68 (Grano café), 37 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H), 58 (Pue 6495 x Uruguay 177) y 40 (MMR-2 H x Pulga), 55 (Vs 202 x Ama Dulce) x (pta mor AE x Darío x EM am), 31 ((Vs 209 x Ama Dulce) x Pue 6654) y 96 (Bolita), 94 (Amarillo Juncaná (Comiteco), 44 (MMR-2 H x Pta Mor AE x Darío x EM gr am); que son factibles de aprovechamiento en programas de mejoramiento para la formación de variedades productivas y con ello contribuir a reducir la dependencia de la importación de este tipo de grano.

Las poblaciones formadas como compuestos y las de origen de Tlaxcala sobresalieron por su mayor potencial de rendimiento para buen temporal, mientras que en ambiente restrictivo las poblaciones con menor avance pueden ser aprovechadas para programas de fitomejoramiento, sobre todo por su precocidad, ya que en las regiones de valles altos el periodo libre de heladas conduce a explorar este tipo de materiales.

Se tuvieron poblaciones con rendimientos superiores a los promedios de las regiones de valles altos y de variedades de maíz amarillo, tales como las poblaciones 4 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x Huamantlita), 25 (Compuesto Alto rendimiento), 2 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x (Pue Amo x Huamantlita), 69 (Compuesto Sobresalientes), 44 (MMR-2 H x Pta Mor AE x Darío x EM gr am), 40 (MMR-2 H x Pulga), 58 (Pue 6495 x Uruguay

177), 37 ((Elotes Occ x Vandeño Negro) x MMR-2 H), 68 (Grano café) y 100 (H-San Marcos) que tuvieron rendimientos mayores a 7000 kg ha⁻¹, valores que resultan promisorios para el aprovechamiento del potencial de los recursos genéticos de los maíces nativos.

Se cuenta con maíces amarillos con posibilidades de ser aprovechados por su contenido de carotenoides totales. La población 96 (Bolita) y la línea 1 (derivada de San Marcos x Ver) tuvieron el mayor contenido de carotenoides totales y también más luteína, zeaxantina y carotenoides con actividad provitamina A.

La selección por color de grano es una estrategia factible de aplicar en las primeras etapas de mejoramiento orientado a la búsqueda de variedades de maíz amarillo con mayor contenido de carotenoides totales; el uso del método de espectroscopia NIRS puede facilitar y dar mayor certeza a los resultados, pero es preciso auxiliarse de métodos analíticos para la exploración del perfil de xantofilas y carotenos, lo cual dado su alto costo, podría ser considerado en las etapas finales del proceso de fitomejoramiento.

LITERATURA CITADA DE INTRODUCCION Y DISCUSIÓN GENERAL

- Adom K., K., R. H. Liu. 2002. Antioxidant activity of grains.** Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(21):6182-6187.
- AFP, El Economista. 2017. México pone en jaque a exportadores de maíz de EU.** <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-pone-en-jaque-a-exportadores-de-maiz-de-EU-20170320-0096.html>
- Blomhoff, R., H. Green, and K. Norum. 1992.** Vitamin A: Physiological and biochemical processing. Annual Revision Nutrition 12: 37-57
- Brenna O. V., and N. Berardo. 2004.** Application of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to the evaluation of carotenoids content in maize. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(18):5577-5582
- Buckner, B., D. Miguel, D. Janick-Buckner, and J. Bennetzen. 1996.** The Y1 gene of maize codes for phytoene synthase. Genetics 143: 479-488.
- Carpentier, S., M. Knaus, and M. Suh. 2009.** Associations between lutein, zeaxanthin, and age-related macular degeneration: an overview. Critical Reviews Food Science 49:313-326.
- Castañeda, J. 2011.** Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México. <http://www.sjsocial.org/crt/articulos/762castaneda.htm>
- Crossa J. 1990.** Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy 44:55-85.
- Damián-Huato, M. A., A. Cruz-León, B. Ramírez-Valverde, O. Romero-Arenas, S. Romero-Limón y L. Reyes-Muro. 2013.** Maíz, Alimentación y Productividad: Modelo Tecnológico Para Productores de Temporal de México. Agricultura Sociedad y Desarrollo 10: 157-156.
- De la Parra, C., S. O. Serna-Saldívar, R. H. Liu. 2007.** Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn production of masa, tortillas and tortilla chips. J. Agri. Food Chemical, 55: 4177-4183.
- Espinosa C. A., M. Tadeo R., A. Turrent F., M. Sierra M., N. Gómez M., y B. Zamudio G. 2013.** Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. Agronomía Mesoamericana 24(1) 93-99
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, J. Virgen-Vargas, A. Palafox-Caballero, F. Caballero-Hernández, G. Vázquez-Carrillo, F. A. Rodríguez-Montalvo, R. Valdivia-Bernal, I. Arteaga-Escamilla e I. González-Rojas. 2011.** V-55 A, Variedad de Maíz de Grano Amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34 (2): 149 – 150.
- Fassett, R. G., J. S. Coombes. 2012.** Astaxanthin in cardiovascular health and disease. Molecules 17:2030-2048
- Fernández, J. 2007.** Energía renovable. Editorial Sacal. Barcelona España. Pág.1-20

- Fraser, P. D., P. M. Bramley. 2004.** The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress Lipid Research* 43:228-265
- García S., J. A., y R. Ramírez J. 2014.** El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 37 (1):69-77
- Guild, G., E. Parkes, M. Nutti, N. Palacios-Rojas, and J. Stangoulis. 2017.** High-throughput measurement methodologies for developing nutrient–dense crops. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(2): 11941-11954.
- Hernández X., E. 1985.** Maize and man in the greater southwest. *Economic Botany* 39: 416-430.
- Howe, J. A., and S. A. Tanumihardjo. 2006.** Carotenoid-biofortified maize maintains adequate vitamin A status in Mongolian gerbils 1. *Journal of Nutrition* 136, 2562–2567
- Johannesen, C. L., M. R. Wilson, and W. A. Davenport. 1970.** The domestication of maize: process or event? *Geographical Review* 60(3): 393-413
- Krinsky, N.I., E. J. Johnson. 2005.** Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects Medicine* 26:459-516
- Lutz, W., W. Sanderson, S. Scherbov. 2001.** The end of world population growth. *Nature* 412: 543-545.
- Maida, J. M., K. Mathers, and C. Alley. 2008.** Pediatric ophthalmology in the developing world. *Current Opinion Ophthalmology* 19:403–408
- Molina G., J. D. 1990.** Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. En: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. pp. 344.
- Moros, E., D. Darnoko, M. Cheryan, E. Perkins, and J. Jerrel. 2002.** Analysis of xanthophylls in corn by HPLC. *Journal Agriculture Food Chemistry* 50: 587-590.
- Nuss, E. T., and S. A. Tanumihardjo. 2010.** Maize: a Paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive Reviews. Food Science and Food Safety* 9: 417–436
- Olson, J. A. 1994.** Needs and sources of carotenoids and vitamin A. *Nutrition Reviews* 52: S67-S73
- Ortiz M., J. I., N. Palacios R., E. Meng, K. Pixley, R. Trethowan, and R. J. Peña. 2007.** Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science* 46:293-307
- Perales R., H. R. 2009.** Maíz, riqueza de México. *Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México* 92-93: 46-55
- Pozo-Insfran, D., C. H. Brenes, S. O. S. Saldivar, and S. T. Talcote. 2006.** Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International* 39:696–703.

- Rao, A. V., and S. Agarwal. 2000.** Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 563-569
- Sánchez G., J. J., M. Goodman, and C. Stuber. 2000.** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- SIAP, Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2017.** Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap>
- Stylianopoulos, C., S. Serna, and G. Arteaga. 2002.** Effects of fortification and enrichment of maize tortillas on growth and brain development of rats throughout two generations. *Cereal Chemistry* 79(1): 85-91.
- Turrent F., A., T. A. Wise, y E. Garvey. 2012.** Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Mexican Rural Development Research Report No. 24. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 36 p
- USDA, United State Department of Agriculture. 2009.** National nutrient database for standard reference. Available from: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>
- Velázquez M., A. 2015.** Observatorio de precios, Comentario de Maíz Amarillo. (<http://observatoriodeprecios.com.mx/index.php/precios-productos/productos-agropecuarios/maiz/2651-crecen-las-importaciones-mexicanas-en-maiz-amarillo-en-45-durante-2014-en-comparacion-con-2013>)
- Weber, E. 1987.** Carotenoids and tocopherols of corn grain determined by HPLC. *Journal American Oil Chemist Society* 47: 337-339.
- Wellhausen, E. J., L. Roberts, y E. Hernández. 1951.** Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 223 p.
- WHO, World Health Organization. 2017.** Micronutrient deficiencies. Vitamin A deficiency. Disponible en: <http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en/>

APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables agronómicas y morfológicas de la evaluación de grupos de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Fuente	Gl	Vgr	As	Cua	Jor	Posmz	Id	Pmz	Pgmz	Do	Profg
A	1	0.0001 ns	0.0005 ns	7851.2 **	1298.0 **	0.003 ns	63.2 *	24664.2 **	21081.8 **	1.32 **	0.509 **
L	1	14.8873 **	9.5993 ns	4426.8 **	607.6 *	0.009 *	54.6 *	141138.7 **	106848.9 **	0.99 **	1.147 **
A*L	1	2.7730 **	0.8084 ns	2158.1 **	2293.0 **	0.000 ns	94.6 **	3221.3 *	1193.5 ns	0.34 **	0.008 ns
R(A*L)	12	2.0275 **	2.9433 ns	282.8 **	535.4 **	0.057 **	69.9 **	4638.9 **	4647.3 **	0.07 **	0.082 **
G	7	7.7632 **	31.4749 **	3514.2 **	6596.9 **	0.489 **	283.7 **	96132.5 **	75896.7 **	2.45 **	2.34 **
P(G)	93	0.7282 **	4.0318 **	484.8 **	250.4 **	0.014 **	35.6 **	2377.0 **	1852.3 **	0.29 **	0.066 **
A*G	6	0.2926 ns	15.1703 **	600.0 **	370.9 *	0.004 *	16.3 ns	884.0 ns	632.6 ns	0.03 ns	0.022 ns
L*G	7	1.1057 **	8.9587 **	703.0 **	277.6 *	0.004 *	37.6 **	3818.2 **	2670.2 **	0.03 ns	0.029 **
A*L*G	6	1.1133 **	5.4936 **	118.1 ns	307.4 *	0.002 ns	46.3 **	1499.7 **	1614.8 **	0.02 ns	0.059 **
A*P(G)	91	0.5258 **	1.9971 ns	197.9 **	198.6 **	0.005 **	13.2 ns	959.9 **	837.9 **	0.06 **	0.024 **
L*P(G)	93	0.4446 **	1.6983 ns	80.5 ns	182.3 *	0.002 **	11.0 ns	473.5 ns	383.8 ns	0.03 ns	0.011 ns
A*L*P(G)	91	0.3338 **	2.1114 ns	84.8 ns	157.1 ns	0.001 ns	9.8 ns	334.8 ns	264.8 ns	0.02 ns	0.015 *
Error ^{&}	1570	0.2129	1.8531	128.3	133.2	0.002	10.6	512.9	418	0.03	0.011
CV (%)		20.73	56.50	112.85	96.84	7.36	3.76	17.57	18.29	6.30	11.15

*, **, ns: significativo ($P \leq 0.05$, 0.01) y no significativo; Vgr: vigor; As: asincronía floral; Cua: cuateo; Jor: plantas jorras; Posmz: posición de la mazorca; Id: Índice de desgrane; Pmz: peso de mazorca; Pgmz: peso de grano de mazorca; Do: diámetro de olote; Profg: profundidad de grano; A: Años; L: Localidades; G: Grupos; P: Poblaciones; R: Repeticiones; CV: coeficiente de variación. [&]Gl del Error para As, Cua, Jor= 1576; y para Posmz, Id, Pmz, Pgmz, Do, Profg = 1573.

Cuadro 2A. Promedios de características agronómicas y morfológicas de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en dos localidades durante los años 2014 y 2015.

Año	Vgr	As Días	Cua %	Jor %	Posmz	Id %	Pmz g	Pgmz g	Do g	Profg cm
2014	2.2 a	2.5 a	6.0 b	12.6 a	0.6 a	86.2 a	122.4 b	105.6 b	2.8 a	0.9 b
2015	2.3 a	2.4 a	12.8 a	11.5 a	0.6 a	86.7 a	133.3 a	115.9 a	2.7 b	1.0 a
Dhs	0.14	0.2	1.7	2.3	0.02	0.8	6.8	6.8	0.03	0.03

Vgr: vigor; As: asincronía floral; Cua: cuateo; Jor: plantas jorras; Posmz: posición de la mazorca; Id: Índice de desgrane; Pmz: peso de mazorca; Pgmz: peso de grano de mazorca; Do: diámetro de olote; Profg: profundidad de grano; Dhs: diferencia honesta significativa.

801

Cuadro 3A. Promedios de características agronómicas y morfológicas de la evaluación de poblaciones de maíz amarillo en Montecillo y Tecámac durante los años 2014 y 2015. Edo. Méx.

Localidad	Vgr	As Días	Cua %	Jor %	Posmz	Id %	Pmz g	Pgmz g	Do g	Profg cm
Montecillo	2.0 b	2.5 a	11.1 a	10.6 a	0.6 a	86.9 a	146.2 a	127.2 a	2.8 a	1.0 a
Tecámac	2.4 a	2.4 a	9.3 b	12.8 a	0.6 a	86.2 a	117.3 b	101.4 b	2.7 b	0.9 b
Dhs	0.14	0.2	1.7	2.3	0.02	0.8	6.8	6.8	0.03	0.03

Vgr: vigor; As: asincronía floral; Cua: cuateo; Jor: plantas jorras; Posmz: posición de la mazorca; Id: Índice de desgrane; Pmz: peso de mazorca; Pgmz: peso de grano de mazorca; Do: diámetro de olote; Profg: profundidad de grano; Dhs: diferencia honesta significativa.

Cuadro 4A. Promedios de grupos de poblaciones de maíz amarillo para variables agronómicas y morfológicas. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014-2015.

Grupo	<i>n</i>	Vgr	As Días	Cua %	Jor %	Posmz	Id %	Pmz g	Pgmz g	Do g	Profg cm
Ocampo	2	2.6 a	2.7 ab	15.9 bc	17.4 bc	0.6 b	85.9 bd	92.3 d	79.4 e	2.4 e	0.7 d
Chiapas	1	2.0 bc	2.6 ab	20.8 b	15.2 bcd	0.7 a	80.5 e	142.0 b	114.8 bc	2.9 b	0.7 d
Oaxaca	1	1.9 c	2.3 b	3.7 d	7.2 d	0.5 d	84.7 cd	115.1 c	97.5 d	3.1 a	0.8 c
Miquihuana	1	2.7 a	2.5 ab	35.3 a	8.3 d	0.6 c	84.1 d	95.5 d	80.4 e	2.6 d	0.8 d
Misceláneo	14	2.6 a	2.6 ab	7.8 d	11.5 cd	0.5 e	85.2 cd	89.4 d	76.4 e	2.6 d	0.8 d
Tlaxcala	6	1.9 c	3.3 a	6.4 d	21.2 ab	0.6 b	87.5 ab	160.7 a	140.7 a	2.7 c	1.1 a
Puebla	8	2.3 a	3.3 a	3.2 d	25.8 a	0.6 b	88.6 a	116.9 c	103.8 cd	2.5 d	1.1 a
CBS	68	2.2 bc	2.2 b	11.0 cd	9.6 cd	0.6 c	86.6 ac	136.4 b	118.3 b	2.8 c	0.9 b
Dhs		0.32	0.9	7.9	8	0.03	2.3	15.8	14.3	0.12	0.1

n: número de poblaciones contenidas en cada grupo Vgr: vigor; As: asincronía floral; Cua: cuateo; Jor: plantas jorras; Posmz: posición de la mazorca; Id: Índice de desgrane; Pmz: peso de mazorca; Pgmz: peso de grano de mazorca; Do: diámetro de olote; Profg: profundidad de grano; Dhs: diferencia honesta significativa.

Cuadro 5A. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables agronómicas y morfológicas de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz Cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
1	5085 fp	14.9 bk	4.7 dq	138.7 cu	16 al	29 am	73c'l'	73 c'l'	201 nd'	110 re'	86.4 ai
2	5714 bg	15.1 bj	4.8 bl	143.6 bo	15 bn	30 aj	77iu	77 iu	216 er	126 gq	84.8 ej
3	4498 mz	14.7 bp	4.8 ak	143.8 bo	16 ag	31 ag	76nc'	76 nc'	219 eo	127 fo	87.6 ai
4	5683 bh	14.7 bp	4.9 af	148.9 bk	17 a	29 al	77jv	77 jv	205 gb'	117 la'	85.5 ai
5	5375 ej	15.0 bk	5.0 ad	153.2 ai	16 aj	29 bm	74uk'	74 uk'	212 fw	121 hw	87.2 ai
6	4981 gr	15.2 bj	4.6 gv	145.4 bm	15 dt	31 ac	75sk'	75 sk'	215 eu	122 hv	87.2 ai
7	4430 ob'	14.2 et	4.7 dq	135.1 cv	15 cq	29 am	75tk'	75 tk'	218 ep	113 nc'	86.6 ai
8	4827 iv	13.5 lx	4.5 ky	126.9 jy	14 iz	28 bm	74xl'	74 xl'	204 hb'	106 vf'	86.4 ai
9	4562 lx	13.9 hv	4.8 bm	137.7 cu	15 bn	29 am	74xk'	74 xk'	196 wf'	112 oc'	86.7 ai
10	4559 lx	14.7 bp	4.8 bl	137.1 cu	16 ah	29 bm	74wk'	74 wk'	196 uf'	106 xf'	86.4 ai
11	4439 ob'	14.5 cs	4.7 dq	141.9 bp	15 bp	29 am	74a'l'	74 a'l'	193 yg'	105 yf'	85.4 bi
12	5502 di	14.8 bm	4.7 es	143.8 bo	15 cq	31 ae	74yl'	74 yl'	211 fy	120 iz	86.2 ai
13	4611 kx	14.6 cr	4.6 iv	132.4 ev	15 du	29 al	75sk'	75 sk'	208 ga'	122 hv	86.1 ai
14	2751 l'o'	13.9 hv	4.8 bl	129.0 hy	15 du	29 bm	76of'	76 of'	210 gy	108 te'	84.2 gj
15	4481 na'	14.3 cs	4.7 es	140.5 ct	14 gx	29 bm	76mz	76 mz	208 gb'	112 pd'	85.5 ai
16	5526 ci	15.5 be	4.9 af	154.7 ah	15 ds	30 al	76nd'	76 nd'	200 pe'	108 te'	85.7 ai
17	5311 fl	14.6 cr	4.7 ds	143.0 bp	14 iz	30 al	79fi	79 fi	231 ce	138 dg	89.4 ac
18	4972 gr	14.5 cs	4.7 es	135.4 cv	15 fw	30 al	76nd'	76 nd'	219 em	133 fi	86.6 ai
19	4901 it	14.9 bk	4.8 cn	142.7 bp	15 dt	31 ah	78gq	78 gq	215 eu	128 fo	87.0 ai
20	4333 pc'	14.7 bp	4.7 dp	141.1 br	15 dv	31 ae	78gr	78 gr	207 gb'	124 gs	85.4 bi
21	4572 lx	14.9 bk	4.6 iv	134.0 cv	14 qz	30 aj	75qh'	75 qh'	215 ev	121 ix	88.2 ai
22	4699 jv	14.6 cq	4.6 et	133.9 cv	14 iz	28 bm	75ri'	75 ri'	200 pe'	110 re'	85.5 ai
23	4334 pc'	14.0 gv	4.5 lz	124.1 kz	15 du	29 al	78gr	78 gr	222 ej	131 fm	85.4 ai

Continúa...

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz Cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
Cuadro 5A. Continuación...											
24	4626 jw	14.3 cs	4.6 jv	127.6 iy	15 dv	31 ai	74uk'	74 uk'	208 gb'	123 gt	87.1 ai
25	5688 bh	15.1 bj	4.7 co	151.5 bj	15 fw	31 ai	75ph'	75 ph'	212 fw	126 fq	88.0 ai
26	4939 hs	13.3 px	4.5 ky	117.7 pb'	14 gy	28 bm	75ri'	75 ri'	216 eq	128 fn	88.3 ah
27	1982 p'q'	13.3 ox	4.0 f'i'	82.4 f'h'	13 ya'	27 jr	68n'o'	68 n'o'	157 k'	75 n'o'	85.0 di
28	4840 iv	14.5 cr	4.7 es	132.0 ew	16 ag	31 ai	75rj'	75 rj'	194 wg'	107 uf'	84.2 gj
29	4442 oa'	14.7 bp	4.6 et	136.5 cv	15 fx	30 al	73j'm'	73 j'm'	203 lb'	119 iz	87.8 ai
30	4243 rd'	13.8 hw	4.5 ma'	115.5 rc'	15 dt	30 al	76mb'	76 mb'	216 er	131 fm	86.3 ai
31	2220 o'q'	12.8 tx	4.3 wf'	87.1 e'h'	13 wa'	26 mr	68o'	68 o'	174 hk'	83 l'n'	84.6 fj
32	1912 q'	13.1 rx	4.1 b'h'	86.3 e'h'	13 xa'	26 lr	68o'o'	68 o'o'	177 gj'	87 h'n	85.0 di
33	4254 rd'	14.1 ft	4.7 ds	133.8 dv	16 ai	28 cn	76nf'	76 nf'	205 gb'	120 iy	85.6 ai
34	4181 sd'	14.3 cs	4.7 es	133.2 dv	14 rz	28 eo	76ly	76 ly	210 fy	124 gs	87.7 ai
35	4335 pc'	13.8 iw	4.9 aj	140.7 cs	15 bo	28 do	75sk'	75 sk'	210 gy	118 iz	85.8 ai
36	5083 fp	14.9 bm	4.8 bm	142.2 bp	15 bp	30 al	74zl'	74 zl'	200 oe'	109 se'	85.9 ai
37	6271 ac	15.5 be	4.8 bm	153.3 ai	15 ev	31 af	78go	78 go	221 el	128 fn	86.5 ai
38	5003 gr	15.4 bg	4.7 es	141.4 bq	14 iz	30 al	77iu	77 iu	212 fw	127 fp	86.6 ai
39	5344 fk	14.9 bm	4.9 ai	147.6 bl	14 gx	31 ae	78gr	78 gr	222 eh	132 fl	87.4 ai
40	6119 ae	15.3 bh	4.8 al	152.3 bj	15 cr	30 al	75og'	75 og'	196 wf'	102 a'g'	85.8 ai
41	4492 mz	14.5 cs	4.5 ky	132.7 dv	14 hz	29 al	73d'l'	73 d'l'	198 re'	101 b'h'	85.7 ai
42	4735 jv	15.1 bj	4.6 kw	130.1 gx	14 gy	30 al	80eg	80 eg	219 en	122 hu	85.1 ci
43	4438 ob'	14.6 cq	4.5 kx	124.0 kz	15 ev	30 al	76mz	76 mz	211 fy	120 iy	87.0 ai
44	5836 af	16.0 b	4.6 et	147.5 bl	14 iz	31 ah	77kw	77 kw	221 el	120 iy	86.5 ai
45	4103 vf'	13.8 jw	4.5 nb'	114.6 tc'	15 du	29 bm	77ju	77 ju	211 gy	117 la'	85.1 ci
46	4101 vf'	14.5 cs	4.8 cn	136.1 cv	15 fx	29 bm	73f'm'	73 f'm'	203 kb'	118 iz	88.1 ai
47	4321 qc'	14.3 cs	4.4 ob'	122.4 lz	14 nz	30 al	75tk'	75 tk'	197 se'	101 b'i'	86.7 ai
48	4621 jx	14.3 cs	4.5 nb'	126.6 jy	14 pz	28 bm	74wk'	74 wk'	200 oe'	106 wf'	87.8 ai
49	4085 vf'	14.5 cs	4.5 nb'	122.2 lz	14 kz	30 al	76of'	76 of'	208 gz	111 qe'	87.8 ai
50	3678 bj'	14.8 bm	4.3 ve'	113.3 ud'	13 va'	30 al	76mz	76 mz	207 gb'	122 hv	85.8 ai

Continúa...

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz Cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
Cuadro 5A. Continuación...											
51	4803 iv	14.6 bq	4.5 kx	133.1 dv	14 mz	28 bm	76ne'	76 ne'	204 ib'	106 wf'	84.9 ej
52	4456 oa'	14.9 bl	4.6 et	135.7 cv	16 ak	29 am	84cd	84 cd	205 gb'	108 te'	85.1 ci
53	4872 iu	14.0 gv	4.7 co	136.5 cv	15 fw	29 bm	77kw	77 kw	222 eg	133 fj	89.3 ad
54	1848 q'	12.6 vx	4.1 e'i'	76.0 g'h'	13 za'	24 or	68 n'o'	68 n'o'	179 gj'	88 g'n'	85.1 ci
55	2677 l'p'	13.2 qx	4.2 xf'	88.3 d'h'	14 lz	28 bn	71 m'n'	71 m'n'	172 ik'	79 n'o'	87.2 ai
56	4570 lx	14.8 bm	4.3 te'	120.9 ma'	14 iz	29 bm	75 tk'	75 tk'	199 qe'	108 te'	84.1 hj
57	4523 my	13.6 kw	4.5 na'	120.8 ma'	15 bm	30 al	74 vk'	74 vk'	209 gz	122 hu	87.6 ai
58	6152 ad	15.0 bk	4.9 ae	155.1 ag	16 af	31 ag	75 ph'	75 ph'	206 gb'	118 jz	88.9 af
59	4263 rd'	13.6 kw	4.6 hv	119.0 nb'	14 kz	26 kr	76 ma'	76 ma'	203 jb'	126 fq	87.7 ai
60	4650 jw	15.1 bj	4.8 bm	149.3 bk	15 cr	30 al	76 ly	76 ly	217 eq	122 hu	85.3 bi
61	5088 fp	14.3 cs	4.8 bn	141.4 bq	15 cq	30 aj	73 i'm'	73 i'm'	206 gb'	117 ka'	88.5 ah
62	4114 uf'	15.2 bi	4.6 jv	137.9 cu	14 iz	30 al	74 vk'	74 vk'	200 oe'	104 zf'	86.1 ai
63	5305 fl	13.8 iw	4.4 sd'	115.8 qc'	14 iz	30 al	77 ht	77 ht	221 el	130 fm	88.3 ah
64	4404 ob'	15.0 bj	4.7 dq	144.7 bn	15 ds	31 ad	77 jv	77 jv	207 gb'	116 mb'	89.1 ae
65	4876 it	13.9 hv	4.4 pb'	124.9 kz	15 fv	31 ai	78 gm	78 gm	229 df	132 fk	87.8 ai
66	4966 gr	15.1 bj	4.8 bm	155.5 ag	16 ae	32 ab	75 tk'	75 tk'	211 fy	125 gr	88.2 ai
67	5218 fn	14.2 ds	4.8 bm	140.9 bs	16 al	30 al	77 ju	77 ju	208 ga'	120 iy	86.6 ai
68	6317 ab	14.8 bm	4.5 ky	130.4 gx	15 fw	32 ab	79 fj	79 fj	215 et	127 fo	85.9 ai
69	5828 af	15.7 bc	4.7 dr	156.7 af	15 dt	31 ae	76 mz	76 mz	220 em	126 gq	87.3 ai
70	2206 o'q'	12.2 x	3.8 i'	66.4 h'	13 za'	24 nr	72 l'm'	72 l'm'	170 jk'	66 o'	86.7 ai
71	3726 ai'	14.5 cs	4.3 ue'	103.2 yf'	13 ua'	29 bm	79 fl	79 fl	184 dj'	86 j'n'	86.8 ai
72	3790 yg'	14.6 cq	4.2 zf'	106.2 wf'	14 sz	30 ak	73 h'm'	73 h'm'	183 dj'	86 i'n'	86.0 ai
73	3404 el'	13.8 iw	4.2 a'g'	100.1 zg'	13 tz	28 eo	73 g'm'	73 g'm'	182 ej'	83 m'n'	84.3 gj
74	2203 o'q'	12.8 tx	3.9 h'i'	74.4 g'h'	14 kz	24 pr	77 lx	77 lx	191 zh'	84 k'n'	86.7 ai
75	3754 zh'	14.8 bn	4.4 rc'	118.2 ob'	14 qz	31 ag	75 tk'	75 tk'	189 ai'	96 e'l'	85.2 ci
77	3904 wf'	13.5 mx	4.1 c'h'	95.5 a'g'	12 a'b'	27 gq	81 ef	81 ef	202 mc'	113 nc'	84.1 gj
78	2716 l'p'	13.4 nx	4.7 es	110.8 ve'	16 ag	27 ir	74 yl'	74 yl'	205 gb'	116 mb'	86.1 ai

Continúa...

Pob	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz Cm	Pmz g	Hmz #	Ghil #	Dfm días	Dff días	Ap cm	Amz cm	Id %
Cuadro 5A. Continuación ...											
79	2988 i'n'	13.2 qx	4.6 kw	116.0 qc'	15 dt	29 bm	77 hs	77 hs	222 ek	136 eh	88.5 ag
80	4613 kx	14.0 gu	4.6 et	126.5 jy	14 qz	27 hq	73 b'l'	73 b'l'	184 cj'	99 c'k'	87.3 ai
81	5145 fo	14.7 bn	4.8 bl	142.7 bp	17 ab	30 al	78 gp	78 gp	193 xg'	111 pd'	85.0 di
82	2858 k'o'	13.9 hv	4.6 kw	123.6 kz	14 qz	28 eo	75 tk'	75 tk'	216 es	128 fn	88.8 af
83	3058 gm'	13.3 px	4.7 es	120.7 ma'	14 oz	27 fp	75 sk'	75 sk'	209 gz	121 ix	89.7 ab
84	3011 h'n'	13.4 nx	4.6 eu	113.3 ud'	15 ev	27 ep	73 e'l'	73 e'l'	203 lb'	124 gs	88.5 ah
85	2281 n'q'	12.1 x	4.6 et	105.4 xf'	17 ac	23 r	74 uk'	74 uk'	222 ei	136 eh	87.9 ai
86	4144 te'	13.2 qx	4.7 cp	124.6 kz	15 dt	27 gq	75 tk'	75 tk'	212 fx	122 hu	89.4 ad
87	2584 m'q'	12.6 ux	4.1 d'i'	81.5 f'h'	14 jz	26 lr	77 it	77 it	189 bi'	92 f'm'	86.2 ai
88	2932 j'o'	14.7 bo	4.2 yf'	103.3 yf'	14 gx	28 co	78 gn	78 gn	172 hk'	73 n'o'	79.3 k
89	4443 oa'	14.3 cs	4.6 fv	131.0 fx	15 bm	29 bm	77 gs	77 gs	196 vf'	97 d'l'	83.9 ij
90	4833 iv	15.0 bk	4.7 et	140.8 cs	15 fx	30 al	73 k'm'	73 k'm'	197 tf'	113 nc'	89.0 af
91	5078 fq	15.2 bi	5.1 ab	166.7 ab	15 du	29 bm	82 de	82 de	244 bd	150 be	86.0 ai
92	3382 fl'	13.1 sx	4.7 dq	121.4 mz	14 mz	26 lr	76 mb'	76 mb'	220 em	141 cf	89.8 a
93	4673 jv	15.5 bf	4.9 ag	158.4 ad	16 ad	30 ak	85 c	85 c	250 bc	155 bc	88.7 af
94	4882 it	18.5 a	4.4 qc'	142.0 bp	11 b'c'	33 a	98 b	98 b	295 a	201 a	80.5 jk
96	3908 wf'	12.4 wx	4.8 cn	115.1 sc'	12 a'b'	23 qr	67 o'	67 o'	194 wg'	100 c'j'	84.7 fj
97	5250 fm	15.6 be	5.1 a	178.3 a	15 ds	31 ai	85 c	85 c	248 bd	160 b	88.4 ah
98	3864 xf'	15.0 bk	5.0 ac	159.7 ac	14 iz	28 bm	80 fh	80 fh	249 bc	155 bc	85.9 ai
99	4351 pc'	15.2 bi	4.9 ah	157.8 ae	15 bm	28 cn	81 ef	81 ef	247 bd	152 bd	86.6 ai
100	6528 a	15.6 bd	4.8 ak	157.0 ae	15 ev	30 ak	79 fk	79 fk	219 eo	113 nc'	85.2 ci
101	3520 dk'	14.4 cs	3.8 h'i'	93.7 b'g'	10 b'c'	30 aj	103 a	103 a	246 bd	149 be	85.5 ai
102	3622 cj'	14.2 ds	3.9 g'i'	91.0 c'h'	10 b'c'	30 al	103 a	103 a	252 b	155 bc	86.2 ai
Dhs	761.0	1.4	0.3	25.9	1.6	3.8	2.5	2.8	18.6	15.4	4.4

Pob: Población; Rto: Rendimiento de grano; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Pmz: Peso de mazorca; Hmz: Hileras por mazorca; Ghil: Granos por hilera; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días floración femenina; Ap: Altura de planta; Amz: Altura de la mazorca; Id: Índice de desgrane; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha=0.05$). Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales.

Cuadro 6A. Promedio de rendimiento, longitud de mazorca y diámetro de mazorca de poblaciones de maíz amarillo en los cinco ambientes de evaluación. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Pob	Rto kg ha ⁻¹					Lmz (cm)					Dmz (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
1	5942 an	3963 cs	7002 ap	4872 gw	3648 bs	15.8 ad	13.3 ak	15.4 bj	16.33 bg	13.7 aj	4.7 aj	4.5 bn	4.8 an	4.8 ai	4.7 ag
2	7390 ab	4798 ai	5928 hv	5871 bl	4583 bd	16.3 ac	13.9 ai	15.2 bl	16.10 bh	13.9 aj	5.1 ad	4.6 am	4.7 ap	4.9 ai	4.7 ah
3	4706 iz	4089 cq	5807 iw	4158 kc'	3730 br	15.7 ad	13.1 bk	16.1 bg	15.22 bj	13.3 bj	5.0 ah	4.6 bn	5.0 aj	5.0 ag	4.6 ah
4	6528 ah	3324 jx	7130 am	7296 ab	4136 bn	16.0 ad	13.9 ai	15.6 bj	15.86 bi	12.2 cj	5.1 ae	4.6 bn	5.2 ad	5.1 ab	4.7 ae
5	6419 ai	5073 af	6245 dt	5806 bm	3330 cu	15.9 ad	14.1 ag	15.8 bi	15.64 bj	13.4 bj	5.3 ac	4.9 ad	5.1 ah	5.2 a	4.6 ah
6	5271 dt	4696 ak	6774 ar	3943 ne'	4224 bk	14.9 be	14.6 ac	15.4 bk	16.40 ag	14.5 af	4.7 aj	4.5 bq	4.8 an	4.5 ao	4.5 ak
7	4094 pe'	4357 an	6740 ar	3528 qg'	3431 cu	14.7 be	13.2 ak	15.2 bl	14.80 bj	13.0 bj	4.9 ai	4.8 af	4.7 aq	4.7 al	4.5 ak
8	6332 ak	4078 cr	5957 hv	5086 ct	2683 ja'	15.0 be	13.7 aj	14.1 cm	12.47 jk	12.1 cj	4.7 aj	4.5 bp	4.7 aq	4.3 do	4.3 ak
9	4752 iy	3719 eu	5904 hv	5323 cq	3113 dx	14.8 be	12.8 bk	14.6 bm	15.16 bj	12.2 cj	4.7 aj	4.6 an	4.9 al	5.0 ag	4.7 af
10	5408 cs	3714 fu	6296 dt	4422 kz	2954 ea'	16.0 ad	13.6 aj	15.8 bi	16.15 bh	12.0 dj	5.0 af	4.6 an	5.0 ah	4.9 ah	4.5 ak
11	3997 pf'	4232 ap	6051 ev	5097 ct	2817 ia'	15.3 ad	13.0 bk	15.4 bk	15.40 bj	13.4 bj	4.9 ai	4.6 bn	4.8 an	4.9 ah	4.5 ak
12	6092 am	4232 ap	6465 bs	6424 ai	4297 bi	15.1 be	14.6 ad	15.1 bl	15.15 bj	14.2 ah	4.7 aj	4.5 bn	4.6 cq	4.8 ai	4.8 ae
13	4661 jz	2847 oz	5528 jz	6754 af	3263 cu	14.7 be	12.8 bk	16.0 bh	15.50 bj	13.8 aj	4.8 aj	4.3 fv	4.7 aq	4.7 an	4.5 ak
14	3637 th'	3072 mz	4519 tf'	645 i'	1881 ud'	14.5 be	13.7 aj	15.0 bl	14.55 bk	11.7 ej	4.9 ah	4.8 ai	4.7 ao	4.8 ai	4.7 ae
15	3722 rh'	4277 ao	5917 hv	5605 bp	2885 ga'	14.4 be	13.4 ak	15.4 bj	14.50 bk	13.8 aj	4.7 aj	4.5 bn	4.8 an	4.7 al	4.6 ah
16	5712 bp	4738 aj	7883 ae	5894 bk	3402 cu	15.3 ad	14.1 ah	17.0 b	16.53 ae	14.9 ae	5.0 ae	4.7 aj	5.1 af	5.0 af	4.8 ad
17	6732 ag	5307 ac	6009 fv	6512 ah	1994 td'	16.6 ac	14.1 ag	14.9 bl	15.19 bj	11.9 dj	5.0 ah	4.8 ai	4.8 an	4.9 ag	4.0 hn
18	6723 ag	4801 ai	5375 la'	5823 bl	2136 sd'	15.1 be	13.9 ai	16.0 bh	14.67 bj	12.9 bj	4.8 ai	4.7 aj	4.9 al	4.6 an	4.4 ak
19	5202 eu	4316 an	6109 dv	4706 hx	4172 bl	15.3 ad	13.3 ak	15.7 bj	16.11 bh	14.3 ag	4.8 ai	4.5 cq	4.9 am	4.8 ai	4.8 ae
20	3390 vh'	3804 dt	5454 ja'	5835 bl	3183 cw	14.5 be	13.2 ak	15.8 bj	15.76 bj	14.4 ag	4.6 aj	4.6 bn	4.9 am	4.8 ak	4.7 ae
21	5695 bp	4102 cq	5244 nc'	4055 ld'	3767 br	14.8 be	13.6 aj	16.2 bg	16.59 ad	13.3 bj	4.5 bk	4.3 fv	4.8 an	4.8 ai	4.4 ak
22	5035 fv	4357 an	6463 bs	3983 me'	3656 bs	15.9 ad	13.7 aj	15.4 bk	14.90 bj	13.2 bj	4.9 ai	4.5 bp	4.7 an	4.7 an	4.3 ak
23	4078 pe'	3942 cs	5560 jy	5278 cq	2810 ia'	14.3 be	12.1 ck	15.8 bj	14.35 bk	13.5 bj	4.5 aj	4.4 es	4.8 an	4.7 an	4.2 cl
24	5421 cr	4079 cr	5612 jx	5360 cq	2658 ka'	14.3 be	14.0 ai	14.8 bl	15.07 bj	13.5 bj	4.6 aj	4.4 es	4.7 aq	4.9 ai	4.4 ak
25	5916 an	4176 bp	7265 ak	6557 ag	4523 be	16.2 ad	13.7 aj	16.0 bi	15.33 bj	14.5 af	5.0 af	4.6 bn	4.8 an	4.6 an	4.7 ag

Continúa...

Pob	Rto kg ha ⁻¹					Lmz (cm)					Dmz (cm)																			
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2															
Cuadro 6A. Continuación...																														
26	6084	am	3781	et	5533	jz	5065	dt	4230	bj	13.8	be	11.9	ek	14.0	dm	13.64	ck	13.3	bj	4.6	aj	4.3	gv	4.6	cq	4.5	ao	4.6	aj
27	2562	d'i'	1784	ya'	842	i'	3224	uh'	1495	ye'	14.4	be	12.2	ck	12.6	km	14.75	bj	12.7	bj	4.2	fk	3.8	ux	4.0	oq	3.9	no	4.0	jn
28	5193	eu	4110	bq	6328	ct	5638	bo	2931	fa'	15.2	ae	14.0	ai	15.8	bi	13.84	ck	13.9	aj	5.0	ah	4.5	bn	4.9	am	4.4	ao	4.6	aj
29	5333	dt	3207	ly	6075	dv	4603	ix	2992	ez	15.0	be	13.2	ak	16.8	bc	15.77	bj	12.8	bj	4.7	aj	4.5	bn	4.9	am	4.8	ai	4.4	ak
30	5167	eu	4003	cs	4281	vg'	5009	eu	2753	ia'	15.0	be	13.4	ak	14.5	bm	14.13	bk	12.2	cj	4.7	aj	4.3	eu	4.5	eq	4.5	an	4.3	ak
31	3090	yi'	2700	qa'	2568	g'i'	2099	f'i'	644	d'e'	14.3	be	12.4	ck	13.2	im	13.10	fk	11.0	hj	4.5	ck	4.3	iv	4.4	gq	4.0	jo	4.2	dm
32	1527	i'	1293	a'	2800	f'h'	2328	c'i'	1613	xe'	13.4	be	12.4	ck	13.2	im	13.94	ck	12.8	bj	4.4	ck	4.0	ox	4.2	mq	4.1	io	4.0	hn
33	4892	hw	3832	dt	5235	nd'	4605	ix	2704	ja'	15.5	ad	13.4	ak	15.7	bj	13.08	gk	13.0	bj	4.9	ah	4.7	aj	5.0	al	4.4	ao	4.4	ak
34	4544	lb'	3730	eu	5566	jy	3784	pf'	3279	cu	14.8	be	12.6	bk	15.6	bj	15.34	bj	13.2	bj	5.0	ag	4.4	dr	4.7	aq	4.8	ai	4.5	ak
35	5463	cq	4472	am	5696	jx	3042	wh'	3003	ez	15.2	ad	13.1	bk	14.5	bm	14.27	bk	12.0	dj	5.2	ad	4.8	ag	5.0	ai	4.8	ai	4.7	ae
36	5005	gv	3619	gu	6066	ev	6331	aj	4395	bh	15.8	ad	13.2	ak	15.4	bj	15.71	bj	14.2	ah	5.0	ae	4.5	bo	5.0	ai	4.7	am	4.7	ae
37	7608	a	5562	ab	7877	af	6263	aj	4044	bo	17.0	ab	14.1	ah	16.5	bd	15.45	bj	14.7	ae	5.1	ad	4.7	am	5.0	ak	4.5	ao	4.7	af
38	7124	ac	3859	ct	6200	dt	4838	gw	2994	ez	16.2	ad	14.0	ah	16.5	be	15.21	bj	15.0	ae	4.9	ai	4.6	bn	4.8	an	4.8	aj	4.5	ak
39	6250	al	4792	ai	6177	du	5352	cq	4151	bm	15.3	ad	14.6	ac	15.3	bk	16.03	bh	13.1	bj	5.1	ae	4.8	ae	5.0	ai	5.0	ag	4.6	ai
40	6731	ag	4627	al	8244	ab	6550	ag	4444	bg	15.4	ad	14.4	af	15.8	bj	16.47	af	14.3	ag	4.7	aj	4.6	an	5.0	ai	4.9	ah	4.8	ad
41	5846	bo	4091	cq	5260	mc'	5042	eu	2220	rc'	15.5	ad	14.0	ai	14.3	bm	16.12	bh	12.6	bj	4.8	aj	4.2	jw	4.6	bq	4.7	am	4.2	cl
42	5891	an	2996	nz	5702	jx	5659	bn	3427	cu	15.7	ad	13.4	ak	15.6	bj	16.90	ac	14.0	ai	4.7	aj	4.4	es	4.7	bq	4.5	an	4.5	ak
43	5341	dt	2793	pz	6695	ar	5038	eu	2323	qc'	15.7	ad	12.9	bk	16.0	bi	16.07	bh	12.5	cj	4.9	ah	4.4	dq	4.5	eq	4.4	bo	4.5	ak
44	6798	ae	4434	an	7672	ai	6826	ae	3450	cu	16.5	ac	14.5	ae	16.9	bc	16.55	ae	15.7	ab	5.2	ad	4.6	bn	4.5	dq	4.5	ao	4.4	ak
45	4093	pe'	3021	mz	6134	dv	4686	hx	2584	ma'	13.3	ce	13.2	ak	15.1	bl	15.19	bj	12.1	cj	4.4	dk	4.4	et	4.6	cq	4.6	an	4.3	ak
46	4818	hy	3715	fu	5615	jx	3292	th'	3064	dy	15.3	ad	13.5	ak	14.9	bl	15.12	bj	13.7	aj	5.0	ae	4.5	bn	4.8	an	4.9	ag	4.5	ak
47	5015	gv	3324	jx	5138	pe'	5210	cr	2918	fa'	15.1	ae	13.7	aj	14.7	bl	14.84	bj	13.4	bj	4.7	aj	4.3	gv	4.4	fq	4.6	an	4.2	dn
48	4139	od'	4002	cs	5823	iw	5253	cq	3888	bq	14.0	be	13.7	aj	15.2	bl	15.32	bj	13.3	bj	4.4	dk	4.3	fv	4.7	ap	4.5	ao	4.4	ak
49	5036	fv	3135	mz	5025	qe'	4408	kz	2822	ia'	15.6	ad	13.7	aj	16.0	bi	13.86	ck	13.3	bj	4.8	aj	4.2	kw	4.6	cq	4.3	do	4.4	ak
50	4268	nd'	2088	wa'	5987	gv	4381	kz	1668	ve'	15.4	ad	12.8	bk	16.3	bf	16.32	bg	13.4	bj	4.5	aj	4.0	ox	4.7	bq	4.3	eo	4.0	fn
51	4411	mc'	4809	ai	6312	ct	4667	ix	3814	bq	14.5	be	13.8	ai	15.6	bj	15.67	bj	13.6	bj	4.9	ai	4.5	bp	4.5	fq	4.5	an	4.4	ak
52	3683	sh'	3871	ct	7287	aj	5462	bp	1979	td'	15.5	ad	13.9	ai	15.9	bi	16.12	bh	13.0	bj	4.7	aj	4.4	et	5.1	ah	4.7	am	4.5	ak

Continua...

Pob	Rto kg ha ⁻¹					Lmz (cm)					Dmz (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 6A. Continuación...															
53	5677 bp	4315 an	5654 jx	5269 cq	3445 cu	14.4 be	13.8 aj	14.5 bm	13.75 ck	13.5 bj	4.9 ah	4.7 al	4.7 ap	4.7 al	4.7 af
54	2254 g'i	2000 wa'	2479 g'i	2250 d'i	258 e'	12.6 de	11.7 gk	12.5 lm	13.67 ck	12.6 bj	4.2 gk	3.8 vx	4.0 pq	3.9 mo	4.4 ak
55	2212 g'i	2291 ua'	3431 c'h'	3817 of'	1636 we'	13.3 ce	12.5 bk	13.6 fm	14.57 bk	12.2 cj	4.5 bk	3.9 sx	4.4 gq	4.4 ao	4.0 gn
56	4850 hx	2601 sa'	6034 ev	6394 ai	2972 ez	14.6 be	12.1 ck	16.4 bf	15.82 bj	15.3 ac	4.6 aj	4.0 qx	4.6 cq	4.3 bo	4.3 ak
57	5603 cq	3940 cs	4923 re'	4943 fu	3207 cv	14.5 be	13.3 ak	13.7 em	14.34 bk	12.3 cj	4.6 aj	4.4 dr	4.5 cq	4.5 an	4.2 cl
58	6757 af	4851 ai	8170 ac	6279 aj	4703 ac	16.4 ac	13.3 ak	15.6 bj	15.29 bj	14.2 ag	5.0 ag	4.8 ae	5.1 ag	4.9 ah	4.9 ab
59	4879 hx	4385 an	6650 as	2260 d'i	3140 cx	15.0 be	12.4 ck	14.3 bm	13.41 dk	12.9 bj	4.9 ah	4.6 an	4.5 cq	4.4 ao	4.5 ak
60	5953 an	4906 ah	5675 jx	3360 sg'	3356 cu	15.8 ad	14.7 ac	16.3 bf	15.02 bj	13.9 aj	4.9 ah	4.5 bq	5.0 ai	4.9 ah	4.6 ah
61	5489 cq	4783 ai	6836 aq	4926 fv	3405 cu	15.7 ad	13.4 ak	15.0 bl	15.09 bj	12.4 cj	5.1 ad	4.6 an	4.8 an	4.8 ai	4.5 ak
62	5338 dt	2420 ta'	6528 bs	3097 vh'	3185 cw	15.6 ad	13.5 ak	16.1 bh	15.70 bj	15.1 ad	4.9 ai	4.4 dr	4.7 an	4.5 ao	4.4 ak
63	5292 dt	3954 cs	7179 al	6902 ac	3198 cw	14.1 be	13.9 ai	14.7 bm	13.30 dk	13.1 bj	4.7 aj	4.2 jw	4.4 hq	4.3 bo	4.3 bk
64	4058 pf'	2145 va'	7106 an	4834 gw	3879 bq	15.6 ad	13.8 ai	16.5 bd	15.38 bj	13.9 aj	4.7 aj	4.3 gv	5.0 ai	4.8 ai	4.7 af
65	6002 am	4854 ai	6020 ev	4818 gw	2685 ja'	15.2 ae	13.3 ak	14.3 bm	14.16 bk	12.7 bj	4.7 aj	4.3 hv	4.3 kq	4.7 an	4.2 dn
66	4707 iz	5172 ae	6571 bs	4497 jy	3883 bq	15.7 ad	14.1 ah	15.9 bi	15.42 bj	14.3 ag	5.0 ah	4.8 ag	4.8 an	4.7 al	4.6 ah
67	6025 am	4386 an	6669 as	5897 bk	3114 dx	15.5 ad	13.9 ai	14.5 bm	14.35 bk	12.9 bj	4.9 ai	4.5 cq	4.9 al	5.0 af	4.7 af
68	5558 cq	5635 a	7715 ah	6412 ai	6267 a	15.5 ad	14.4 ae	15.3 bk	14.69 bj	14.1 ah	4.5 ck	4.6 am	4.8 an	4.4 bo	4.4 ak
69	6943 ad	3453 hw	7856 ag	6407 ai	4482 bf	16.5 ac	13.8 aj	16.6 bd	16.50 ae	15.2 ad	4.7 aj	4.4 dq	4.9 am	4.8 ai	4.7 ae
70	2371 e'i	1948 xa'	2756 f'h'	2471 b'i'	1482 ze'	11.6 e	11.8 fk	13.2 im	13.70 ck	10.7 j	3.7 k	3.7 wx	4.0 q	3.9 lo	3.6 mn
71	5153 eu	3303 jx	3712 yh'	3281 th'	3180 cx	15.3 ad	13.8 ai	14.8 bl	14.42 bk	14.1 ah	4.6 aj	4.2 mw	4.3 kq	4.1 ho	4.4 ak
72	4149 od'	3169 my	4819 se'	4328 ka'	2483 oc'	15.4 ad	13.4 ak	15.5 bj	15.30 bj	13.6 bj	4.5 ck	4.0 px	4.4 iq	4.2 go	4.0 in
73	2336 f'i	3089 mz	4512 ff'	4073 kd'	3013 ez	13.2 ce	12.9 bk	14.8 bl	14.69 bj	13.4 bj	4.0 jk	4.2 lw	4.3 kq	4.3 do	4.1 en
74	3003 zi'	1690 za'	2281 h'i'	3057 wh'	985 be'	14.0 be	12.0 dk	13.2 im	13.83 ck	10.8 ij	4.2 hk	3.6 x	4.0 q	4.0 ko	3.5 nn
75	2896 a'i	2449 ta'	5326 lb'	4668 ix	3429 cu	14.5 be	13.4 ak	16.0 bh	16.22 bh	13.7 aj	4.1 ik	3.8 ux	4.7 ao	4.8 ai	4.5 ak
77	3524 uh'	3138 mz	5414 ka'	5050 eu	2393 pc'	14.1 be	12.7 bk	14.1 cm	14.26 bk	12.1 cj	4.3 ek	3.9 tx	4.3 jq	4.2 go	3.9 jn
78	3894 qg'	2127 va'	3325 e'h'	2752 yh'	1482 ze'	14.3 be	12.8 bk	13.7 em	14.24 bk	12.0 dj	4.8 ai	4.6 am	4.7 ao	4.7 an	4.6 aj
79	2224 g'i	3664 fu	3984 wh'	4101 kc'	968 c'e'	14.1 be	11.9 ek	14.4 bm	14.68 bj	11.2 gj	4.7 aj	4.4 dr	4.7 ap	4.8 ai	4.2 cl
80	6367 aj	3273 kx	5350 la'	5523 bp	2553 ob'	15.4 ad	12.3 ck	15.1 bl	15.89 bi	11.4 fj	5.0 ah	4.4 dq	4.6 cq	4.8 ai	4.5 ak

Continua...

Pob	Rto kg ha ⁻¹					Lmz (cm)					Dmz (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 6A. Continuación...															
81	5844 bo	3648 fu	6449 bs	5885 bl	3896 bp	14.8 be	13.3 ak	16.0 bh	16.18 bh	13.4 bj	4.8 ai	4.6 an	4.9 al	5.0 af	4.6 ah
82	3153 xi'	3452 iw	3367 d'h'	1459 h'i'	2534 oc'	13.2 ce	13.4 ak	15.6 bj	13.57 ck	12.3 cj	4.7 aj	4.5 cq	4.7 ap	4.4 ao	4.5 ak
83	3018 zi'	3724 eu	3475 b'h'	2542 a'h'	2507 oc'	13.8 be	12.5 bk	14.3 bm	13.74 ck	13.5 bj	4.6 aj	4.7 ak	4.8 an	4.9 ai	4.5 ak
84	2887 b'i'	2630 ra'	3651 a'h'	3381 rg'	2621 la'	13.7 be	12.4 ck	13.3 hm	13.91 ck	12.1 cj	4.7 aj	4.6 bn	4.7 ao	4.6 an	4.7 ae
85	2775 c'i'	2146 va'	2300 h'i'	1902 g'i'	1462 ze'	12.6 de	11.4 ik	13.0 jm	11.22 k	12.0 dj	4.8 aj	4.6 am	5.0 ak	4.2 fo	3.9 kn
86	4628 ka'	4172 bp	5440 ja'	3862 nf'	1886 ud'	13.9 be	12.9 bk	14.5 bm	12.93 hk	13.8 aj	4.9 ai	4.8 ah	4.7 ao	4.6 an	4.0 in
87	3706 rh'	1907 xa'	3681 zh'	2161 d'i'	3445 cu	13.9 be	11.5 hk	13.4 gm	12.53 ik	13.0 bj	4.5 ck	3.9 rx	4.2 nq	3.9 lo	4.4 ak
88	3306 vh'	2684 qa'	3845 xh'	2939 xh'		15.8 ad	14.0 ai	14.9 bl	15.26 bj		4.4 dk	4.1 nx	4.3 lq	4.4 ao	
89	5291 dt	4118 bq	5076 qe'	4285 kb		15.4 ad	14.3 af	14.9 bl	14.10 bk		4.7 aj	4.4 dq	4.8 an	4.7 al	
90	5000 gv	4082 cr	6202 dt	4922 fv	3959 bp	14.9 be	13.4 ak	16.6 bd	15.71 bj	14.2 ah	4.7 aj	4.5 bn	4.9 al	4.7 an	4.5 ak
91	4058 pf'	5256 ad	7019 ao	6600 ag	2459 pc'	15.4 ad	13.5 ak	16.4 bf	16.90 ac	13.8 aj	5.1 ad	5.1 a	5.2 ae	5.2 ab	4.9 ac
92	2144 h'i'	2629 ra'	4327 ug'	5697 bn	2114 sd'	13.6 be	11.2 jk	15.2 bl	13.96 ck	11.7 ej	4.7 aj	4.8 ai	4.8 an	4.9 ah	4.4 ak
93	6161 al	4690 ak	5232 od'	5191 cs	2089 sd'	16.0 ad	14.1 ag	16.4 bf	17.41 ab	13.5 bj	5.0 ae	4.9 ac	5.0 ai	5.1 ad	4.5 ak
94	6286 ak	2137 va'	6186 du	6302 aj	3502 ct	18.8 a	15.7 a	21.4 a	19.76 a	16.9 a	4.9 ai	4.0 qx	4.6 cq	4.3 co	4.3 bk
96	5522 cq	3054 mz	4292 vg'	3803 of'	2870 ha'	14.1 be	10.9 k	11.9 m	13.21 ek	12.0 dj	5.0 ah	4.5 bn	4.7 an	4.9 ah	4.7 af
97	3229 wi'	4699 ak	7944 ad	6808 ae	3571 cs	16.3 ac	14.3 ag	16.4 bf	16.10 bh	14.9 ae	5.3 a	5.0 ab	5.3 a	5.1 ae	4.9 a
98	4822 hy	3810 dt	5929 hv	2183 d'i'	2577 na'	16.3 ac	13.4 ak	16.5 be	15.53 bj	13.4 bj	5.3 ab	4.8 ae	5.3 ab	5.0 ag	4.7 ae
99	3490 uh'	3577 hv	5180 oe'	6899 ad	2610 la'	14.6 be	13.8 ai	16.7 bd	16.82 ac	13.9 aj	4.9 ai	5.0 ac	5.2 ac	5.1 ac	4.4 ak
100	6049 am	5069 ag	8461 a	7874 a	5189 ab	16.4 ac	15.1 ab	16.1 bh	16.14 bh	14.4 ag	4.9 ah	4.6 bn	5.0 ai	4.9 ag	4.7 af
101			5816 iw	2603 zh'	2141 sd'			16.3 bf	14.55 bk	12.5 cj			4.3 lq	3.7 o	3.6 ln
102			5679 jx	3801 of'	1385 a'e'			16.3 bf	14.07 bk	12.2 cj			4.2 nq	3.9 no	3.6 ln
Dhs	1732	1454	1871	1836	1570	3.7	2.6	2.8	3.38	3.2	0.8	0.5	0.7	0.8	0.7

Pob: Población; Rto: Rendimiento de grano; Lmz: Longitud de mazorca; Dmz: Diámetro de mazorca; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha=0.05$).

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales.

Cuadro 7A. Promedio de peso de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera de poblaciones de maíz amarillo en cinco ambientes de evaluación. Montecillo y Tecámac, Edo Méx. 2014 y 2015.

Pob	Pmz (g)					Hmz (#)					Ghil (#)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
1	148 ao	104 bp	155 br	165 ae	123 ak	15 ai	16 ad	15 aj	16 af	16 ag	29 af	25 af	31 aj	32 ac	28 ae
2	181 ae	115 am	149 bs	147 am	126 aj	16 ag	15 ag	15 ak	16 ae	15 bi	32 ad	28 ae	32 ai	33 ac	27 ae
3	154 al	110 ao	179 aj	154 ai	122 al	16 af	16 ae	16 ag	16 ae	16 ah	32 ad	28 ae	34 ag	32 ac	29 ae
4	179 af	110 ao	189 ae	167 ad	100 ap	17 ab	16 ae	16 ah	18 a	19 a	31 ae	29 ad	32 ai	31 ac	24 af
5	187 ac	136 ad	178 aj	155 ai	110 ao	16 af	16 ae	15 ak	16 ae	16 ag	31 ae	29 ad	30 bk	30 ac	24 af
6	147 ap	125 aj	175 ak	151 aj	129 aj	15 aj	14 bi	15 aj	14 ai	16 af	32 ae	29 ad	32 ai	34 ab	31 ab
7	151 am	129 ai	154 br	137 am	105 ao	16 ah	16 ae	14 bm	16 af	15 bi	31 af	28 ad	31 ak	31 ac	25 af
8	153 am	119 am	141 cs	117 cm	105 ao	15 aj	13 bi	14 bl	14 bj	15 bi	30 af	28 ae	29 bk	29 ad	25 af
9	141 aq	110 ao	164 bo	159 ag	114 an	15 ai	15 ag	16 ag	15 ag	15 ai	30 af	27 ae	30 bk	32 ac	26 af
10	156 al	103 bp	172 am	165 ae	90 eq	17 ad	15 ag	16 ag	16 ae	16 ag	31 ae	28 ae	34 ag	29 ac	23 af
11	153 am	108 ap	164 bo	170 ad	115 an	16 ag	16 ad	14 bk	15 ag	15 ai	30 af	28 ae	31 aj	31 ac	26 af
12	141 aq	114 am	148 bs	172 ac	144 ad	15 ai	15 bh	14 bm	16 ae	16 af	31 ae	29 ad	33 ah	32 ac	30 ac
13	139 aq	97 du	162 bo	150 am	115 an	16 ag	14 bi	14 bk	15 af	16 ah	29 af	27 af	32 ai	33 ac	26 af
14	149 an	118 am	136 du	150 am	92 dq	16 ae	15 bh	14 cn	14 cj	16 af	30 af	29 ad	32 ai	29 ac	25 af
15	139 aq	121 aj	167 bo	154 ai	121 al	15 aj	14 bi	15 bk	15 ah	15 bi	29 af	26 af	32 ai	29 ac	27 ae
16	158 al	123 ak	191 ad	171 ac	130 ai	15 ai	15 bg	15 aj	15 ag	15 bi	30 af	26 af	34 ae	32 ac	26 af
17	167 ai	135 ae	164 bo	164 ae	84 gq	15 aj	14 bi	14 bk	15 ah	13 fl	34 ac	28 ae	32 aj	32 ac	24 af
18	143 ap	124 aj	171 am	143 am	95 cp	15 aj	14 bi	15 ak	15 ah	15 ai	31 af	28 ae	33 ah	31 ac	25 af
19	140 aq	103 bp	167 bo	162 ag	142 af	16 af	15 bh	15 bk	15 af	15 bi	31 ae	27 af	33 ah	30 ac	32 a
20	129 aq	107 ap	168 bn	158 ag	143 ae	15 aj	16 ae	14 bm	14 ai	15 ai	30 af	27 af	33 ai	37 a	29 ae
21	136 aq	102 bp	159 bp	162 ag	110 ao	13 dj	14 bi	14 cn	14 ai	14 bi	30 af	28 ae	34 ag	34 ab	27 ae
22	159 al	115 am	158 bp	140 am	98 ap	15 aj	14 bi	14 bl	14 ai	14 bj	29 af	27 ae	29 bk	31 ac	25 af
23	127 aq	99 cs	158 bp	132 am	105 ao	15 aj	16 ae	15 aj	15 ag	14 bi	31 ae	28 ae	30 bk	31 ac	26 af
24	134 aq	106 ap	156 bp	147 am	95 cp	14 aj	14 bi	15 ak	16 ae	15 bi	31 af	29 ad	33 ah	33 ac	28 ae
25	173 ag	117 am	179 aj	155 ai	134 ah	16 ai	14 bi	15 ak	14 ai	15 bi	31 af	28 ad	34 af	31 ac	29 ae

Continúa...

	Pob		Pmz (g)				Hmz (#)				Ghil (#)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 7A. Continuación...															
26	126 aq	95 fu	129 hu	124 bm	114 an	16 ai	14 bi	14 bm	14 cj	15 bi	29 af	28 ae	28 bk	30 ac	27 ae
27	99 lr	61 rv	93 su	86 im	72 kq	12 hj	12 gj	14 eo	13 ej	14 dl	28 af	25 bf	26 ek	30 ac	24 af
28	157 al	112 an	166 bo	111 cm	113 ao	16 af	16 ae	17 ac	14 ai	17 ae	32 ae	28 ae	33 ah	31 ac	29 ae
29	135 aq	109 ap	173 ak	161 ag	105 ao	14 bj	14 bi	15 ak	15 ah	16 ah	28 af	28 ae	35 ad	33 ac	25 af
30	131 aq	99 cs	121 ku	129 am	97 bp	15 ai	14 bi	14 bl	15 af	16 ag	32 ae	29 ad	33 ah	29 ad	26 af
31	108 hr	85 kv	99 ru	79 mm	64 nq	13 ej	13 dj	13 eo	12 fj	14 bi	28 af	24 bf	26 fk	28 ad	22 bf
32	85 nr	58 uv	117 lu	95 em	76 jq	14 bj	12 fj	13 go	14 cj	13 gl	28 af	25 af	26 gk	28 ad	24 af
33	164 ak	109 ap	170 an	120 bm	106 ao	16 ag	15 ag	15 ak	16 af	17 ad	30 af	26 af	31 aj	26 bd	26 af
34	150 am	98 ct	155 br	152 aj	111 ao	14 aj	13 dj	14 dn	14 cj	14 ck	29 af	24 cf	30 bk	30 ac	25 af
35	171 ah	116 am	159 bp	145 am	114 an	16 ae	15 bg	15 ak	15 af	15 bi	30 af	25 af	30 bk	30 ac	25 af
36	164 ak	95 fv	173 al	153 aj	126 aj	16 ai	15 bg	15 aj	15 af	15 ai	29 af	25 af	32 ai	32 ac	29 ae
37	188 ab	123 ak	175 ak	134 am	146 ac	15 aj	15 bh	15 ak	14 ai	15 ai	35 ab	29 ad	33 ah	30 ac	29 ae
38	161 al	114 am	172 am	145 am	116 an	15 aj	14 bi	14 cn	15 ah	14 bi	31 af	27 af	33 ah	29 ac	28 ae
39	158 al	132 ag	165 bo	171 ac	111 ao	15 aj	15 bi	14 bm	14 ai	14 bi	30 af	29 ad	34 ae	35 ab	28 ae
40	149 ao	123 ak	184 ah	171 ac	135 ah	15 ai	14 bi	15 ak	16 af	16 ag	31 af	29 ad	32 ai	30 ac	28 ae
41	147 ap	104 bp	148 bs	160 ag	104 ao	14 aj	14 bi	14 bk	14 ai	14 bi	30 af	30 ac	29 bk	33 ac	26 af
42	146 ap	97 dt	150 br	145 am	112 ao	14 aj	15 bi	14 bm	14 ai	15 bi	31 af	27 ae	32 ai	32 ac	26 af
43	154 am	96 fu	149 bs	124 bm	98 ap	16 ai	15 bh	14 bm	14 cj	16 ag	32 ad	27 af	31 aj	33 ac	27 ae
44	168 ai	118 am	162 bo	157 ah	133 ah	15 ai	14 bi	13 fo	14 aj	14 bj	32 ae	28 ad	32 ai	33 ac	28 ae
45	104 ir	99 cs	146 bs	136 am	88 gq	15 aj	14 bi	15 aj	16 af	15 bi	27 cf	28 ae	33 ah	31 ac	25 af
46	153 am	110 ao	156 bq	143 am	119 al	15 aj	14 bi	14 bm	15 af	14 bi	28 af	26 af	30 ak	32 ac	27 ae
47	135 aq	98 ct	136 du	142 am	101 ap	14 aj	14 bi	14 eo	14 ai	14 bj	31 ae	28 ae	32 ai	30 ac	28 ae
48	133 aq	99 ct	152 br	137 am	113 ao	13 fj	14 bi	14 bm	14 ai	14 dl	29 af	27 ae	30 bk	29 ac	27 ae
49	144 ap	93 gv	148 bs	111 cm	114 an	15 aj	13 bi	14 bm	13 dj	15 bi	31 ae	27 ae	33 ai	31 ac	27 ae
50	124 bq	81 lv	153 br	118 cm	90 eq	14 bj	14 bi	13 ho	13 dj	13 el	31 af	27 ae	33 ah	32 ac	25 af
51	137 aq	125 aj	158 bp	134 am	112 ao	15 aj	14 bi	14 bm	14 cj	14 dl	29 af	27 af	31 aj	29 ac	26 af
52	132 aq	109 ap	181 ai	153 aj	105 ao	16 ai	14 bi	17 ae	15 af	16 ag	30 af	28 ad	32 ai	31 ac	25 af

Continúa...

	Pob		Pmz (g)				Hmz (#)				Ghil (#)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
53	144 ap	118 am	154 br	137 am	130 aj	15 aj	13 bi	15 aj	14 ai	15 bi	30 af	28 ae	31 ak	29 ad	26 af
54	83 pr	60 sv	84 tu	81 km	72 kq	13 gj	12 ej	13 io	13 ej	14 cl	25 df	23 df	24 jk	27 bd	21 cf
55	84 or	72 ov	99 qu	109 cm	76 jq	14 aj	13 dj	15 bk	14 ai	14 dl	27 af	26 af	32 aj	31 ac	25 af
56	114 gr	94 gv	151 br	137 am	109 ao	16 ai	14 bi	14 dn	14 cj	15 bi	30 af	24 bf	32 aj	31 ac	26 af
57	134 aq	105 bp	126 iu	136 am	103 ao	15 aj	14 bi	16 ah	17 ad	15 bi	30 af	29 ad	30 bk	33 ac	27 ae
58	162 al	127 ai	184 ah	160 ag	143 af	15 aj	15 bi	17 ad	16 ae	18 ab	31 ae	27 ae	33 ah	32 ac	32 a
59	142 aq	105 bp	132 fu	110 cm	106 ao	15 aj	14 bi	14 dn	14 bj	13 dl	28 af	24 cf	29 bk	25 bd	26 af
60	153 am	117 am	187 ag	163 ag	126 aj	15 ai	15 bh	15 aj	15 ag	16 ah	30 af	29 ad	31 aj	33 ac	26 af
61	170 ah	119 am	157 bp	150 al	111 ao	16 ai	15 bi	16 aj	15 af	15 bi	32 ae	29 ad	32 ai	34 ac	25 af
62	156 al	103 bp	164 bo	141 am	126 aj	15 aj	14 bi	15 bk	14 ai	14 dl	31 ae	28 ae	30 bk	31 ac	28 ae
63	118 dr	101 bq	142 cs	113 cm	105 ao	16 ai	13 ci	14 eo	14 ai	15 bi	30 af	29 ad	32 ai	30 ac	28 ae
64	145 ap	94 gv	190 ae	159 ag	136 ag	16 ai	15 bg	15 bk	16 ae	14 bi	31 ae	27 ae	36 ab	33 ac	30 ac
65	146 ap	108 ap	134 eu	143 am	93 cq	15 aj	14 bi	15 bk	15 ag	15 bi	32 ae	31 ab	32 aj	32 ac	27 af
66	169 ah	137 ac	168 bo	166 ad	137 ag	16 ai	18 a	15 aj	16 ae	16 ag	31 ae	30 ab	35 ac	32 ac	30 ad
67	152 am	115 am	163 bo	156 ai	118 am	16 ai	15 ag	16 ai	16 af	15 ai	31 ae	29 ad	32 aj	30 ac	26 af
68	138 aq	125 aj	139 ct	126 bm	125 ak	15 aj	15 bg	15 aj	14 cj	15 bi	31 ae	31 a	32 aj	34 ac	32 a
69	166 aj	107 ap	187 af	174 ac	150 ab	16 ai	15 bi	15 bk	15 af	15 bi	32 ae	27 ae	34 ag	32 ac	31 a
70	58 r	59 tv	80 u	86 im	49 pq	12 hj	13 dj	13 io	13 dj	13 fl	23 f	26 af	25 hk	28 ad	20 ef
71	125 aq	90 iv	103 pu	93 gm	105 ao	14 cj	13 dj	13 fo	13 dj	14 dl	31 af	29 ad	28 ck	29 ad	28 ae
72	122 dr	80 mv	128 hu	111 cm	90 dq	14 aj	13 dj	14 eo	13 dj	14 dl	32 ae	27 af	33 ah	31 ac	28 ae
73	78 qr	81 lv	123 ju	116 cm	102 ap	14 aj	14 bi	13 eo	13 dj	13 fl	29 af	27 af	29 bk	29 ad	24 af
74	100 kr	56 v	83 tu	93 fm	40 q	15 aj	14 bi	14 cn	15 ah	13 dl	27 bf	22 ef	25 ik	28 ad	17 f
75	89 mr	70 pv	158 bp	154 ai	120 al	14 cj	13 dj	14 bk	14 ai	13 dl	30 af	29 ad	32 ai	35 ab	28 ae
77	104 ir	73 nv	115 nu	108 cm	77 iq	13 fj	11 ij	12 ko	11 gj	12 hl	30 af	27 af	27 dk	29 ac	24 af
78	123 cq	100 cr	128 hu	114 cm	89 fq	16 af	17 ab	16 ai	15 af	16 ah	28 af	26 af	30 bk	27 ad	23 af
79	132 aq	96 eu	131 gu	149 am	72 kq	15 ai	14 bi	15 aj	15 af	15 bi	31 af	26 af	30 bk	33 ac	25 af
80	151 am	92 hv	143 cs	155 ai	91 dq	14 aj	14 bi	13 eo	13 ej	14 ck	30 af	25 af	30 bk	29 ac	21 cf

Continúa...

	Pob		Pmz (g)				Hmz (#)					Ghil (#)			
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 7A. Continuación...															
81	143 ap	103 bp	175 ak	172 ac	121 al	17 a	16 ae	16 ag	18 ab	17 ac	29 af	28 ae	33 ah	34 ac	27 ae
82	134 aq	112 an	149 bs	100 dm	108 ao	14 bj	13 ci	14 bk	13 dj	15 bi	26 cf	28 ae	31 ak	25 bd	25 af
83	116 fr	115 am	135 du	129 am	99 ap	14 bj	14 bi	12 jo	14 ai	14 bi	28 af	27 af	29 bk	28 ad	26 af
84	120 dr	104 bp	124 iu	118 cm	111 ao	15 ai	15 bg	14 dn	15 ag	16 ag	27 af	27 ae	28 bk	29 ac	26 af
85	113 gr	96 eu	130 hu	83 jm	65 mq	17 ac	17 ac	18 a	15 af	14 dl	24 ef	24 cf	26 ek	19 d	20 df
86	137 aq	120 al	144 cs	111 cm	81 hq	15 aj	16 ae	14 bk	14 ai	15 bi	28 af	26 af	30 bk	27 bd	24 af
87	102 jr	63 qv	99 ru	79 m	106 ao	15 aj	15 bh	14 cn	14 bj	15 bi	29 af	25 af	30 bk	28 ad	26 af
88	117 er	87 jv	117 mu	115 cm		15 aj	14 bi	15 ak	14 ai		30 af	27 af	29 bk	29 ad	
89	134 aq	113 am	157 bp	145 am		16 af	15 bi	16 ai	16 ae		31 af	28 ae	31 ak	29 ac	
90	140 aq	114 am	175 ak	151 ak	124 ak	15 aj	14 bi	15 ak	14 ai	14 bi	29 af	27 af	33 ag	33 ac	27 ae
91	163 al	140 ab	201 ab	197 a	134 ah	15 aj	15 af	15 bk	15 ah	15 bi	29 af	26 af	30 bk	33 ac	25 af
92	107 hr	107 ap	145 bs	147 am	101 ap	13 cj	14 bi	14 cn	15 af	13 el	25 df	23 df	30 bk	29 ac	25 af
93	188 ac	134 af	179 aj	190 ab	101 ap	15 ai	16 ad	17 ab	17 ac	16 ag	30 af	30 ac	32 ai	35 ab	24 af
94	174 ag	81 lv	187 af	148 am	119 al	12 j	10 j	11 lo	11 hj	10 kl	35 a	28 ae	38 a	35 ab	28 ae
96	140 aq	87 jv	112 ou	133 am	104 ao	12 ij	12 hj	11 mo	13 ej	12 il	27 af	21 f	23 k	24 cd	23 af
97	182 ad	145 a	225 a	189 ab	151 a	15 aj	15 af	15 ak	15 ag	16 ah	30 af	27 ae	33 ag	31 ac	30 ac
98	189 a	131 ah	200 ab	164 af	114 an	15 aj	15 bi	15 bk	14 cj	14 ck	31 af	25 af	31 ak	32 ac	24 af
99	155 al	130 ai	196 ac	196 a	112 ao	15 aj	16 ae	17 af	16 af	15 bi	28 af	26 af	30 bk	32 ac	23 af
100	167 ai	125 aj	187 ag	175 ac	131 ai	15 aj	14 bi	15 aj	15 ah	15 bi	30 af	29 ad	33 ah	32 ac	27 ae
101			133 eu	80 lm	68 lq			11 no	10 j	10 l			35 ad	30 ac	26 af
102			126 iu	87 hm	60 oq			10 o	11 ij	10 jl			34 af	31 ac	24 af
Dhs	65	40	56	70	54	3	3	3	4	4	8	6	8	10	9

Pob: Población; Pmz: Peso de mazorca; Ghil: Granos por hilera; Hmz: Hileras por mazorca; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha= 0.05$). Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales.

Cuadro 8A. Promedio de días a floración masculina, floración femenina y altura de planta de poblaciones de maíz amarillo en los cinco ambientes de evaluación. Montecillo y Tecámac, Edo. Méx. 2014 y 2015.

Pob	Dfm					Dff					Ap (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
1	70.8 ns	75 gq	71 pv	76 hp	75 lv	73.3 kp	77 iv	73 nw	78 hs	77 ht	243.0 iu	202 gu	202 hr	192 dn	165 gp
2	80.3 cf	78 cn	74 ht	78 fn	76 ju	83.8 be	79 ds	76 hu	79 gr	78 hr	270.4 dm	221 bk	204 hr	205 cl	182 dl
3	75.8 ep	77 cn	74 ht	79 en	75 lv	77.5 fm	80 cq	77 gt	80 fp	78 ht	254.8 fr	217 bn	222 cm	207 cj	193 dj
4	75.0 ep	77 cn	75 rq	79 dn	78 fq	77.5 fm	78 ft	77 fr	81 ep	81 gp	250.8 gs	203 gu	213 ep	192 dn	168 gp
5	72.5 jr	78 cn	73 lv	76 hp	74 ow	75.3 jo	79 ds	75 iv	77 is	76 kt	263.4 fp	218 bm	212 er	188 dn	178 en
6	70.5 os	78 cn	74 gs	78 fn	75 lv	72.3 mq	79 ds	77 gs	79 gr	77 it	263.8 fp	214 dr	222 cm	186 dn	188 dk
7	74.3 gq	76 dp	72 mv	78 fn	73 pw	76.8 gm	78 gu	74 lv	80 gq	75 lt	267.9 dn	218 bm	228 bk	190 dn	184 dl
8	70.5 os	76 eq	71 pv	78 fn	75 jv	73.0 lq	77 iv	73 nw	79 gq	77 ht	247.0 ht	204 fu	208 er	186 dn	173 ep
9	73.5 jr	73 mt	71 rv	79 en	75 ju	76.5 gn	76 mw	73 ox	80 fp	78 hr	243.8 iu	196 hu	198 hr	180 go	160 hq
10	73.8 iq	74 js	71 pv	78 fn	74 mv	76.8 gm	76 mw	72 sy	80 fp	77 it	251.4 fs	201 gu	193 hr	173 jo	165 gp
11	71.0 ms	77 cn	72 ov	74 kq	74 mv	74.0 jp	78 gu	73 ox	75 ou	77 it	250.0 gs	186 ku	197 hr	173 jo	159 hq
12	72.5 jr	76 eq	72 ov	75 jp	76 ju	74.0 jp	78 ft	73 ox	76 mu	77 it	258.7 fq	201 gu	218 cn	197 dn	179 dn
13	70.3 ps	80 bh	71 rv	78 fn	76 iu	73.0 lq	82 bl	73 qy	80 gq	78 hr	264.3 ep	211 er	209 er	179 go	176 eo
14	71.8 kr	78 cn	71 pv	78 fn	79 dn	74.3 jp	79 ds	73 qy	80 gq	81 fn	257.0 fr	205 et	229 bj	188 dn	169 gp
15	73.8 iq	77 cn	75 fp	79 en	77 gt	76.5 gn	79 ds	78 ep	80 fp	79 hq	250.3 gs	206 et	199 hr	198 cn	185 dl
16	73.3 jr	78 cn	73 ju	78 fn	77 gt	76.5 gn	80 cr	76 gu	81 ep	79 hq	249.8 gs	197 hu	200 hr	185 dn	168 gp
17	79.5 ch	79 bk	77 ei	81 ck	80 dk	82.0 bh	82 bk	80 dh	83 cm	83 dk	290.1 bh	234 bg	226 bm	213 bi	192 dj
18	71.0 ms	78 cn	74 gt	80 cn	76 ht	74.0 jp	81 bo	77 gt	82 co	80 gp	270.0 dm	220 bk	221 cm	203 cm	184 dl
19	76.5 em	80 bj	76 fm	80 cn	77 gs	79.0 ek	82 bk	78 en	81 cp	80 hq	267.4 do	205 et	220 cn	190 dn	192 dj
20	75.3 ep	80 bi	74 gs	82 cj	77 gt	77.5 fm	82 bk	77 gt	84 cj	78 hr	262.7 fp	207 et	207 er	192 dn	166 gp
21	72.3 jr	79 bk	74 hu	79 en	73 pw	76.0 in	82 bm	76 gu	80 fp	76 kt	266.9 do	210 er	221 cm	200 cm	175 eo
22	73.0 jr	75 fq	74 gs	78 fn	75 jv	75.8 io	78 gu	77 fr	80 fp	78 hr	244.8 it	198 gu	209 er	173 io	174 eo
23	73.0 jr	79 bm	77 ek	81 ck	78 fp	75.5 jo	81 bo	78 en	84 ck	81 go	269.2 dm	206 et	229 bj	207 cj	199 ci
24	71.8 kr	76 dp	72 mv	77 fn	75 lv	74.5 jo	78 gu	74 kv	79 gq	77 ht	251.7 fs	196 hu	208 er	196 dn	186 dl
25	74.3 gq	77 cn	72 mv	79 en	75 lv	76.8 gm	79 ft	75 iv	80 fp	77 ht	268.2 dn	207 es	210 er	195 dn	180 dm

Continúa...

Pob	Dfm					Dff					Ap (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 8A. Continuación...															
26	72.3 jr	78 cn	73 lv	78 fn	75 jv	75.0 jo	79 ds	74 kv	80 fp	78 hr	258.0 fr	217 bn	219 cn	199 cm	189 dj
27	71.3 lr	68 su	66 xy	69 pr	69 w	74.3 jp	72 ux	68 xz	71 su	71 st	193.5 wx	149 v	171 or	145 o	125 q
28	73.8 iq	76 dp	74 hu	77 fn	75 kv	76.5 gn	79 ft	76 gu	78 gr	77 ht	233.3 kx	189 iu	192 hr	179 go	175 eo
29	73.8 iq	74 jr	70 sv	74 mr	72 sw	76.3 hn	77 iv	73 nw	75 nu	75 mt	245.3 it	191 iu	213 ep	190 dn	176 eo
30	72.0 jr	77 cn	76 fo	81 cl	75 kv	74.5 jo	79 es	77 fq	83 cn	78 hs	269.9 dm	207 et	216 co	199 cn	191 dj
31	64.0 t	69 ru	66 wy	70 or	70 vw	67.3 q	73 tx	69 wz	73 qu	72 rt	213.5 rx	180 pv	175 nr	164 mo	137 oq
32	65.5 st	70 qu	65 y	67 r	72 tw	68.5 pq	74 sx	67 z	69 u	74 pt	203.2 tx	169 uv	182 mr	171 jo	159 iq
33	73.3 jr	78 cn	74 gt	77 fn	76 iu	76.0 in	81 cp	76 gu	80 fp	79 hq	251.0 gs	202 gu	199 hr	195 dn	178 en
34	74.5 gq	78 cn	73 iu	80 cn	77 gt	77.5 fm	80 cp	76 hu	81 fp	79 hq	255.5 fr	199 gu	213 dp	195 dn	189 dj
35	71.0 ms	78 cn	72 mv	77 fn	76 it	74.0 jp	81 cp	74 kv	79 gr	80 gp	262.1 fp	196 hu	210 er	197 dn	183 dl
36	72.5 jr	78 cn	72 nv	73 nr	75 lv	74.0 jp	79 ft	74 mw	74 pu	77 jt	250.5 gs	190 iu	196 hr	185 dn	179 dn
37	74.8 fq	81 bg	76 fn	80 cm	79 eo	78.0 em	82 bj	78 eo	82 co	81 go	259.6 fp	215 dq	232 bi	201 cm	196 cj
38	75.0 ep	77 cn	73 ju	82 ci	78 gq	77.5 fm	79 ds	76 hu	85 ch	80 hq	265.8 do	204 gu	207 er	192 dn	192 dj
39	73.5 jr	79 cn	77 ek	81 cj	78 fq	75.5 jo	80 cp	80 dj	84 ck	81 go	270.1 dm	222 bj	222 cm	203 cm	194 dj
40	72.3 jr	78 cn	74 hu	80 dn	74 nw	75.0 jo	81 bo	76 gu	81 dp	76 kt	232.7 kx	194 hu	194 hr	185 do	174 eo
41	72.3 jr	77 cn	70 ux	76 hp	72 rw	73.8 jp	79 ft	72 tz	77 is	75 lt	248.5 hs	196 hu	196 hr	188 dn	161 hq
42	75.5 ep	81 bf	77 el	85 be	81 ci	78.8 el	84 bf	79 el	87 bf	83 dj	274.8 bk	217 bm	216 co	202 cm	186 dl
43	75.5 ep	75 gq	78 eh	82 ch	72 sw	77.5 fm	78 gu	79 dk	84 ci	74 pt	253.8 fs	206 et	225 cm	200 cm	171 gp
44	74.0 hq	80 bj	73 lv	79 en	79 eo	76.5 gn	81 bo	75 iv	81 dp	84 ci	250.2 gs	227 bh	223 cm	208 cj	196 cj
45	76.8 el	78 cn	76 fo	79 dn	75 jv	78.8 el	81 cp	77 fq	81 cp	78 ht	257.7 fr	199 gu	225 cm	187 dn	184 dl
46	72.0 jr	76 eq	71 qv	75 jp	73 qw	74.8 jo	78 gu	73 px	76 lu	75 nt	244.9 it	205 et	207 er	182 go	177 eo
47	72.3 jr	75 hr	74 ht	78 fn	75 lv	74.8 jo	78 ft	77 gt	80 gq	77 jt	236.9 jw	191 iu	193 hr	190 dn	177 eo
48	73.8 iq	74 hr	70 tw	79 en	74 mv	76.3 hn	77 jv	72 ry	80 gq	77 it	248.9 hs	198 gu	193 hr	189 dn	172 fp
49	74.5 gq	77 cn	73 lv	79 en	75 kv	76.3 hn	80 cq	75 iv	81 ep	77 ht	244.5 it	207 et	212 eq	197 dn	180 dm
50	72.8 jr	78 cn	75 fq	80 cn	77 gt	75.0 jo	80 cp	77 fr	82 co	79 hq	244.0 iu	201 gu	220 cn	190 dn	180 dn
51	73.0 jr	78 cn	71 pv	81 ck	76 iu	75.3 jo	79 ft	74 lv	82 co	78 hs	256.6 fr	203 gu	203 hr	184 eo	171 fp
52	86.0 b	78 cn	87 c	83 cg	86 c	85.3 bd	80 cr	84 bd	84 ck	88 be	251.2 gs	210 er	193 hr	192 dn	178 en

Continúa...

Pob	Dfm					Dff					Ap (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2
Cuadro 8A. Continuación...															
53	74.3 gq	78 cn	76 fo	79 dn	77 gt	76.0 in	78 ft	77 fr	81 ep	79 hr	259.6 fp	223 bi	231 bi	202 cm	196 cj
54	68.0 rt	66 xy	66 xy	70 or	72 rw	70.0 oq	70 x	68 yz	72 ru	74 ot	209.9 sx	190 iu	185 jr	175 io	134 pq
55	71.8 kr	66 u	71 pv	74 lr	71 uw	73.8 jp	70 wx	73 px	76 mu	73 qt	196.4 vx	180 qv	167 qr	168 jo	147 lq
56	74.0 hq	76 dp	72 mv	77 fn	74 mv	76.8 gm	78 gu	75 jv	79 gq	77 jt	242.0 iu	199 gu	208 er	181 go	163 gq
57	74.5 gq	74 jr	72 mv	76 go	75 lv	76.5 gn	76 lv	75 jv	78 hs	77 jt	266.2 do	205 ft	203 hr	197 dn	171 fp
58	75.0 ep	77 cn	73 lv	77 go	76 ju	77.5 fm	79 ds	75 iv	79 gr	80 gq	250.2 gs	201 gu	205 gr	193 dn	179 en
59	73.3 jr	78 cn	74 hu	80 dn	76 ju	75.3 jo	79 ds	76 gu	81 ep	79 hq	260.2 fp	201 gu	205 gr	182 go	169 gp
60	73.0 jr	80 bj	74 hu	81 ck	75 jv	75.8 io	82 bm	75 iv	83 cl	77 it	255.8 fr	220 bk	228 bl	193 dn	187 dl
61	72.5 jr	71 pu	71 pv	76 go	73 pw	75.5 jo	74 rx	74 lv	77 is	75 mt	243.5 iu	209 er	211 er	191 dn	175 eo
62	74.3 gq	75 hr	73 iu	76 hp	73 ow	76.5 gn	76 kv	76 gu	78 gr	75 mt	239.6 iv	197 hu	207 er	181 go	176 eo
63	74.3 gq	79 bk	74 gt	82 ch	76 iu	76.8 gm	81 cp	76 gu	83 cl	78 ht	263.3 fp	217 bm	232 bi	206 ck	186 dl
64	74.3 gq	75 hr	77 ej	80 cm	78 gq	76.8 gm	77 hu	80 dj	81 cp	80 gp	250.5 gs	203 gu	203 hr	193 dn	183 dl
65	77.0 ek	78 cn	78 eh	81 ck	79 dn	79.5 dj	81 cp	80 dh	82 co	82 dl	279.7 bj	223 bi	229 bj	203 cm	212 be
66	73.3 jr	75 fq	73 kv	78 fn	75 jv	76.8 gm	78 gu	75 iv	80 gq	77 ht	262.3 fp	203 gu	216 cn	188 dn	185 dl
67	74.8 fq	81 bg	74 gt	78 fn	76 ht	76.8 gm	83 bi	76 gu	80 gq	79 hq	248.8 hs	203 gu	222 cm	184 do	182 dl
68	77.5 dj	82 be	77 ek	81 cl	80 dl	79.5 dj	83 bg	79 el	81 ep	83 dj	272.3 cl	220 bk	213 dp	191 dn	180 dn
69	75.8 ep	79 bm	73 iu	78 fn	76 iu	77.3 fm	81 cp	75 hu	80 fp	78 hr	282.2 bi	207 et	218 cn	207 cj	188 dk
70	72.5 jr	70 qu	69 vy	75 ip	72 sw	75.8 io	74 qx	70 vz	76 lt	74 ot	189.0 x	179 rv	167 r	165 lo	148 kq
71	76.5 em	79 bl	78 eh	81 cj	80 cj	78.8 el	81 cp	80 dj	83 cm	84 ch	222.7 ox	181 ov	184 jr	165 lo	165 gp
72	72.0 jr	70 pu	71 pv	77 fn	74 ow	74.5 jo	74 rx	73 ox	78 gr	76 kt	224.2 nx	183 mv	180 mr	166 ko	160 hq
73	73.5 jr	73 nt	69 vy	77 fn	73 qw	76.3 hn	76 nx	71 uz	78 hs	76 lt	214.0 qx	190 iu	189 ir	169 jo	148 kq
74	74.5 gq	78 cn	77 ek	77 gn	77 gt	77.8 fm	79 ds	79 em	80 fp	79 hq	236.8 jw	199 gu	183 lr	177 ho	157 jq
75	72.8 jr	73 nt	74 hu	80 cn	74 mv	75.0 jo	77 iv	76 hu	83 cn	77 jt	199.2 ux	172 sv	216 co	186 dn	174 ep
77	83.0 bd	80 bh	78 eg	82 cj	83 cf	85.3 bd	82 bj	80 di	83 cl	87 bg	241.4 iu	182 nv	215 co	192 dn	180 dm
78	75.5 ep	74 ir	71 pv	77 fn	72 rw	78.8 el	77 hu	74 kv	80 gq	75 lt	258.3 fr	211 er	207 er	182 go	164 gq
79	79.3 ci	77 co	77 el	78 fn	76 iu	81.5 ci	82 bk	78 en	82 co	82 dl	258.9 fp	223 bj	229 bj	217 bh	182 dl
80	72.3 jr	73 ks	71 qv	77 go	75 lv	74.8 jo	76 mw	73 nw	77 is	77 ht	229.1 lx	187 ju	183 kr	179 go	140 nq

Continúa...

	Pob		Dfm					Dff					Ap (cm)				
	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2	Mt'14	Tc'14	Mt'15	Tc'15-1	Tc'15-2		
Cuadro 8A. Continuación...																	
81	73.8 iq	79 bk	77 el	81 cl	79 dm	76.8 gm	82 bm	79 el	82 co	84 ch	229.7 lx	191 iu	192 hr	183 fo	171 gp		
83	72.3 jr	73 nt	74 gt	80 cm	73 qw	75.8 io	75 ox	77 fq	82 co	76 kt	254.4 fs	215 dp	206 fr	187 dn	172 ep		
84	76.0 eo	73 ls	73 kv	80 cm	73 qw	78.8 el	76 kv	76 gu	83 cm	76 kt	272.3 cl	206 et	212 er	182 go	163 gq		
86	72.8 jr	75 gq	71 pv	75 jp	73 ow	75.8 io	78 ft	74 lv	76 kt	78 hr	245.2 it	207 et	204 hr	195 dn	182 dl		
87	74.0 hq	74 ir	72 mv	78 fn	77 gr	76.5 gn	77 iv	75 jv	80 fp	82 em	262.9 fp	204 fu	215 co	206 ck	164 gq		
88	73.0 jr	76 dq	74 hu	78 fn	77 gt	75.8 io	78 ft	76 gu	82 co	80 gq	273.3 cl	219 bl	204 hr	180 go	141 mq		
89	76.0 eo	75 fq	77 el	80 cm	78 fq	78.3 el	78 ft	79 el	82 co	82 dl	226.0 mx	183 mv	195 hr	178 ho	172 ep		
88	76.3 en	79 bm	77 el	82 ch		78.5 el	81 bn	79 em	85 ch		221.0 px	172 tv	169 pr	158 no			
89	75.5 ep	78 cn	76 fm	80 cn		77.5 fm	80 ds	78 eo	81 dp		233.1 kx	196 hu	199 hr	181 go			
90	73.0 jr	71 ou	72 mv	75 jp	72 sw	75.3 jo	75 px	75 hu	77 jt	75 lt	253.8 fs	184 lv	205 gr	179 go	162 hq		
91	80.5 be	83 bc	80 ed	87 bc	82 cg	82.8 bf	86 bc	83 ce	88 be	88 bf	294.3 bg	239 bf	251 af	224 bf	211 bf		
92	73.8 iq	78 cn	73 kv	80 dn	76 ht	76.3 hn	81 bn	76 hu	82 co	81 go	296.1 bf	214 dr	215 co	194 dn	182 dl		
93	86.0 b	85 b	84 cd	86 bd	84 ce	87.8 b	87 b	86 bc	89 bc	91 b	315.6 ac	251 bc	258 ad	224 bf	199 bh		
94	103.0 a	95 a	96 b	100 a	99 b	105.5 a	97 a	98 a	102 a	103 a	357.0 a	294 a	287 a	271 a	264 a		
96	69.3 qt	67 tu	65 y	68 qr	69 w	70.8 nq	71 vx	67 z	70 tu	71 t	249.7 gs	183 mv	184 jr	186 dn	166 gp		
97	84.5 bc	83 bc	86 c	91 b	84 cd	86.5 bc	85 bd	88 b	94 b	90 bc	310.1 bd	248 bd	237 bh	224 be	219 bd		
98	75.3 ep	82 bd	79 eg	83 ch	80 dm	77.5 fm	86 bc	82 cf	85 cg	84 ch	318.8 ab	252 b	252 ae	219 bg	203 bg		
99	79.8 cg	82 be	79 ef	84 bf	82 ch	82.3 bg	85 be	81 dg	88 bd	89 bd	309.1 be	240 be	250 ag	224 bd	211 bf		
100	75.0 ep	81 bf	77 ei	81 cj	81 ci	76.3 hn	83 bh	79 dk	84 cj	83 dj	257.9 fr	216 co	236 bh	194 dn	191 dj		
101			100 a	105 a	104 a			102 a	109 a	107 a			259 ac	239 ac	239 ab		
102			100 a	105 a	104 ab			102 a	108 a	106 a			271 ab	249 ab	236 ac		
Dhs	5.6	6	4	7	5	5.8	6	5	7	7	44.8	35	45	41	40		

Pob: Población; Dfm: Días a floración masculina; Dff: Días floración femenina; Ap: Altura de planta; Dhs: Diferencia honesta significativa ($\alpha = 0.05$). Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales.

Cuadro 9A. Contenido de carotenoides en poblaciones y líneas S₃ de maíz amarillo obtenidos por UPLC.

	CT	Luteína	Zeaxantina	β-CriX	13-cis-βC	β-Caroteno	9-cis-βC	Prov A
	(μg g ⁻¹ de peso seco de grano)							
Poblaciones								
1 (in)	4.65 (39)	0.74 (37)	1.82 (36)	0.30 (37)	0.44 (33)	0.81 (34)	0.54 (27)	1.93 (35)
16 (in)	8.66 (14)	1.84 (11)	4.35 (12)	0.53 (24)	0.47 (26)	0.95 (23)	0.53 (28)	2.21 (24)
17 (cl)	4.54 (40)	0.79 (34)	1.93 (33)	0.30 (39)	0.39 (40)	0.66 (39)	0.46 (41)	1.67 (42)
20 (in)	5.87 (24)	1.08 (24)	2.51 (23)	0.36 (34)	0.44 (29)	0.90 (27)	0.58 (22)	2.10 (30)
25 (cl)	4.45 (41)	0.79 (35)	1.89 (34)	0.35 (35)	0.35 (45)	0.63 (44)	0.43 (45)	1.59 (44)
32 (cl)	6.92 (19)	0.93 (29)	2.32 (28)	0.59 (21)	0.65 (4)	1.57 (3)	0.87 (4)	3.38 (5)
34 (in)	5.75 (25)	0.58 (45)	1.45 (44)	0.43 (28)	0.47 (24)	0.92 (25)	0.59 (19)	2.19 (25)
35 (cl)	4.43 (42)	0.64 (40)	1.63 (40)	0.58 (22)	0.40 (37)	0.68 (38)	0.51 (34)	1.88 (36)
36 (in)	5.04 (34)	0.68 (39)	1.70 (38)	0.29 (42)	0.46 (28)	0.85 (33)	1.07 (1)	2.52 (19)
37 (cl)	5.73 (28)	1.12 (23)	2.64 (21)	0.40 (32)	0.42 (34)	0.71 (37)	0.44 (43)	1.78 (38)
40 (cl)	6.31 (20)	1.14 (22)	2.83 (19)	0.56 (23)	0.48 (22)	0.88 (31)	0.42 (47)	2.06 (31)
44 (in)	5.52 (31)	0.72 (38)	1.84 (35)	0.43 (27)	0.50 (17)	1.04 (17)	0.99 (3)	2.75 (15)
58 (in)	5.75 (26)	0.98 (28)	2.38 (26)	0.42 (29)	0.48 (21)	0.95 (22)	0.53 (29)	2.17 (26)
68 (Café)	3.43 (50)	0.51 (49)	1.27 (49)	0.23 (48)	0.37 (44)	0.62 (45)	0.42 (48)	1.53 (47)
69 (in)	5.35 (32)	0.81 (32)	2.07 (32)	0.44 (26)	0.48 (20)	0.98 (20)	0.57 (24)	2.25 (23)
94 (in)	11.47 (8)	1.56 (16)	4.41 (11)	3.01 (3)	0.56 (6)	1.27 (8)	0.66 (13)	4.00 (4)
96 (in)	26.84 (1)	5.71 (1)	14.28 (1)	3.86 (2)	0.68 (3)	1.53 (4)	0.77 (5)	4.91 (3)
101 (Rojo)	11.49 (7)	1.95 (10)	5.32 (10)	2.08 (5)	0.51 (16)	1.13 (12)	0.51 (32)	3.18 (6)
102 (in)	17.12 (4)	2.56 (6)	7.35 (5)	3.95 (1)	0.74 (2)	1.76 (2)	0.75 (6)	5.23 (1)
Líneas S₃								
1 (ai)	20.89 (2)	4.42 (2)	10.72 (2)	1.58 (9)	0.92 (1)	2.23 (1)	1.02 (2)	4.95 (2)
2 (ai)	11.22 (9)	2.70 (5)	6.61 (6)	0.71 (16)	0.30 (50)	0.56 (46)	0.33 (49)	1.55 (45)
6 (ai)	8.34 (15)	1.65 (13)	4.19 (13)	0.73 (14)	0.42 (35)	0.91 (26)	0.44 (44)	2.13 (29)
7 (ai)	11.16 (10)	1.82 (12)	5.43 (8)	1.70 (7)	0.51 (15)	1.08 (15)	0.63 (15)	3.06 (10)
8 (ai)	14.14 (5)	2.88 (4)	8.61 (4)	1.28 (10)	0.40 (39)	0.65 (40)	0.33 (50)	2.01 (33)
10 (ai)	12.52 (6)	2.44 (7)	5.87 (7)	2.27 (4)	0.49 (19)	0.94 (24)	0.51 (33)	3.07 (9)
12 (ai)	17.52 (3)	3.88 (3)	10.01 (3)	1.67 (8)	0.50 (18)	1.00 (18)	0.47 (40)	2.79 (13)
16 (ai)	7.58 (16)	1.17 (21)	2.92 (18)	0.66 (18)	0.63 (5)	1.45 (5)	0.75 (7)	3.16 (7)

Continúa...

	CT	Luteína	Zeaxantina	β -CriX	13-cis- β C	β -Caroteno	9-cis- β C	Prov A
	(µg g ⁻¹ de peso seco de grano)							
Cuadro 9A. Continuación...								
17 (ai)	7.09 (17)	1.42 (17)	3.42 (17)	0.42 (30)	0.44 (30)	0.89 (28)	0.50 (36)	2.04 (32)
21 (ai)	6.20 (21)	1.01 (27)	2.41 (25)	0.50 (25)	0.52 (13)	1.05 (16)	0.70 (10)	2.52 (18)
22 (ai)	5.57 (30)	0.90 (30)	2.19 (30)	0.65 (19)	0.47 (25)	0.86 (32)	0.50 (35)	2.16 (27)
24 (ai)	4.36 (43)	0.63 (41)	1.44 (45)	0.30 (38)	0.48 (23)	0.89 (30)	0.62 (17)	2.13 (28)
26 (ai)	4.16 (48)	0.59 (44)	1.53 (42)	0.20 (49)	0.44 (32)	0.89 (29)	0.51 (31)	1.94 (34)
27 (ai)	6.04 (22)	1.32 (18)	3.54 (15)	0.25 (46)	0.31 (49)	0.35 (51)	0.27 (51)	1.05 (51)
28 (ai)	4.16 (47)	0.61 (43)	1.69 (39)	0.28 (43)	0.38 (41)	0.64 (41)	0.57 (25)	1.73 (40)
29 (ai)	7.05 (18)	1.23 (19)	2.74 (20)	0.62 (20)	0.55 (9)	1.23 (10)	0.67 (11)	2.77 (14)
30 (ai)	4.22 (46)	0.79 (33)	1.81 (37)	0.25 (45)	0.31 (48)	0.44 (48)	0.61 (18)	1.49 (48)
32 (ai)	5.97 (23)	1.01 (26)	2.38 (27)	0.29 (40)	0.52 (12)	1.11 (13)	0.64 (14)	2.42 (21)
34 (ai)	5.29 (33)	1.20 (20)	2.57 (22)	0.30 (36)	0.32 (47)	0.41 (49)	0.48 (39)	1.36 (49)
41 (cl)	4.74 (38)	0.55 (47)	1.44 (46)	0.73 (13)	0.46 (27)	0.97 (21)	0.58 (21)	2.38 (22)
52 (cl)	9.38 (12)	1.65 (14)	4.08 (14)	1.10 (11)	0.56 (7)	1.28 (7)	0.72 (9)	3.11 (8)
55 (cl)	4.35 (44)	0.50 (50)	1.20 (50)	0.37 (33)	0.52 (11)	1.13 (11)	0.63 (16)	2.47 (20)
56 (cl)	9.07 (13)	1.59 (15)	3.50 (16)	2.01 (6)	0.44 (31)	0.99 (19)	0.54 (26)	2.98 (11)
57 (cl)	4.86 (37)	0.84 (31)	2.22 (29)	0.24 (47)	0.33 (46)	0.48 (47)	0.74 (8)	1.68 (41)
60 (cl)	4.26 (45)	0.76 (36)	2.09 (31)	0.29 (41)	0.28 (51)	0.38 (50)	0.45 (42)	1.26 (50)
61 (cl)	5.57 (29)	1.05 (25)	2.51 (24)	0.40 (31)	0.40 (38)	0.73 (36)	0.48 (38)	1.81 (37)
66 (cl)	5.73 (27)	2.41 (8)	1.49 (43)	0.17 (51)	0.41 (36)	0.73 (35)	0.53 (30)	1.75 (39)
68 (cl)	10.69 (11)	2.11 (9)	5.42 (9)	1.00 (12)	0.52 (14)	1.09 (14)	0.57 (23)	2.67 (17)
70 (Blanco)	4.98 (35)	0.53 (48)	1.34 (47)	0.71 (15)	0.55 (10)	1.26 (9)	0.59 (20)	2.75 (16)
81 (Rojo)	4.97 (36)	0.63 (42)	1.07 (51)	0.70 (17)	0.56 (8)	1.35 (6)	0.67 (12)	2.92 (12)
96 (Café)	3.31 (51)	0.41 (51)	1.27 (48)	0.20 (50)	0.38 (42)	0.64 (43)	0.43 (46)	1.54 (46)
97 (Café)	3.89 (49)	0.57 (46)	1.56 (41)	0.25 (44)	0.38 (43)	0.64 (42)	0.49 (37)	1.63 (43)
Mínimo	3.31	0.41	1.07	0.17	0.28	0.35	0.27	1.05
Media	7.62	1.38	3.40	0.82	0.47	0.94	0.58	2.40
Máximo	26.84	5.71	14.28	3.95	0.92	2.23	1.07	5.23

CT=carotenoides totales; Lut = luteína; Zea = zeaxantina; β -CriX = β criptoxantina; 13-cis- β C = 13-cis- β caroteno; β car = β caroteno; 9-cis- β C = 9-cis- β caroteno; Prov A = provitamina A; Letras entre paréntesis representan el color de grano como se identificó visualmente (ai=amarillo intenso, cl=amarillo claro); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó cada genotipo (1-51) en cada variable.

Cuadro 10A. Contenido de carotenoides ($\mu\text{g g}^{-1}$) en poblaciones de maíz analizadas con espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS).

Carotenoides totales							
# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$
1 (ai)	9.53 cx (41)	26 (ai)	7.49 ga' (68)	51 (ac)	7.38 ga' (70)	77 (ai)	10.81 cs (25)
2 (ai)	10.43 cu (30)	27 (ac)	7.54 ga' (65)	52 (ac)	3.13 ya' (96)	78 (ac)	9.35 dx (47)
3 (ai)	10.96 cr (24)	28 (ac)	6.78 ha' (76)	53 (ac)	7.51 ga' (67)	79 (ai)	12.58 bj (11)
4 (ac)	8.58 ez (52)	29 (ai)	9.37 dx (45)	54 (ac)	9.76 cv (38)	80 (ac)	2.77 za' (99)
5 (ac)	8.29 ea' (54)	30 (ac)	6.91 ga' (74)	55 (ac)	11.16 cp (21)	81 (ai)	10.35 cu (34)
6 (ac)	2.89 ya' (98)	31 (ai)	9.39 dx (43)	56 (ai)	11.34 bo (19)	82 (ac)	2.42 a' (100)
7 (ac)	10.06 cv (35)	32 (ac)	12.78 bi (9)	57 (ai)	4.03 va' (93)	83 (ac)	3.55 wa' (94)
8 (ac)	8.18 ea' (57)	33 (ac)	6.88 ha' (75)	58 (ai)	12.89 bh (8)	84 (ac)	4.71 sa' (88)
9 (ai)	9.48 cx (42)	34 (ai)	10.41 cu (32)	59 (ac)	3.51 xa' (95)	85 (ai)	7.92 fa' (61)
10 (ac)	7.85 fa' (63)	35 (ac)	9.35 dx (46)	60 (ac)	5.52 na' (82)	86 (ac)	5.68 ma' (81)
11 (ai)	7.08 ga' (73)	36 (ai)	11.91 bl (15)	61 (ac)	7.36 ga' (71)	87 (in)	10.51 ct (28)
12 (ai)	4.56 ta' (89)	37 (ac)	10.51 ct (29)	62 (ai)	9.67 cw (39)	88 (ac)	13.04 bg (7)
13 (ac)	8.76 ez (51)	38 (ac)	11.57 bn (18)	63 (ac)	8.09 ea' (60)	89 (ac)	6.34 ka' (79)
14 (ac)	8.13 ea' (58)	39 (ac)	8.57 ez (53)	64 (ac)	4.89 ra' (87)	90 (ac)	5.96 la' (80)
15 (ai)	11.11 cq (22)	40 (ac)	10.40 cu (33)	65 (ai)	15.54 bc (3)	91 (ai)	12.00 bl (13)
16 (ai)	11.93 bl (14)	41 (ai)	7.51 ga' (66)	66 (ai)	7.46 ga' (69)	92 (ai)	8.99 ey (49)
17 (ac)	9.39 dx (44)	42 (ac)	11.87 bl (16)	67 (ac)	7.72 fa' (64)	93 (ai)	10.71 cs (26)
18 (ai)	8.94 ey (50)	43 (ai)	12.43 bk (12)	68 (cf)	9.79 cv (36)	94 (ai)	15.35 bd (4)
19 (ac)	7.30 ga' (72)	44 (ai)	14.15 be (5)	69 (ai)	10.99 cr (23)	96 (ai)	27.52 a (1)
20 (ai)	11.27 co (20)	45 (ac)	11.70 bm (17)	70 (ac)	9.59 cx (40)	97 (ac)	4.36 ua' (90)
21 (ai)	5.02 qa' (85)	46 (ai)	12.61 bj (10)	71 (ac)	4.17 va' (91)	98 (ac)	5.28 oa' (83)
22 (ac)	5.01 qa' (86)	47 (ac)	6.61 ja' (78)	72 (ac)	8.11 ea' (59)	99 (ai)	5.13 pa' (84)

Continúa...

Carotenoides totales							
# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$	# Pob	$\mu\text{g g}^{-1}$
Cuadro 10A. Continuación...							
23 (ac)	6.75 ia' (77)	48 (ac)	7.91 fa' (62)	73 (ac)	9.77 cv (37)	100 (ac)	8.28 ea' (55)
24 (ac)	4.13 va' (92)	49 (ac)	8.24 ea' (56)	74 (ai)	9.28 dx (48)	101 (rj)	13.82 bf (6)
25 (ac)	10.41 cu (31)	50 (ac)	3.11 ya' (97)	75 (ai)	10.54 ct (27)	102 (ai)	17.41 b (2)
Dhs				6.13			
Mínimo				2.42			
Media				3.83			
Máximo				27.52			

Dhs = Diferencia honesta significativa; letras entre paréntesis representan el color de grano como se identificó visualmente (ai=amarillo intenso, cl=amarillo claro); celdas con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes (Tukey $\alpha \leq 0.05$); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó la población (1-100).

Cuadro 11A. Contenido de carotenoides ($\mu\text{g g}^{-1}$) en líneas S₃ de maíz, analizadas con espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS).

Carotenoides totales							
# Línea S ₃	$\mu\text{g g}^{-1}$						
1 (ai)	17.15 af (6)	19 (ai)	11.14 eo (34)	41 (ac)	13.20 bj (18)	59 (ac)	9.94 gp (40)
2 (ai)	13.81 bh (14)	20 (ai)	13.19 bj (19)	42 (ac)	12.14 dl (24)	60 (ac)	11.20 eo (32)
3 (ai)	5.35 lt (59)	21 (ai)	13.15 bj (20)	43 (ac)	10.55 fp (36)	61 (ac)	10.73 ep (35)
4 (ai)	11.52 en (31)	22 (ai)	12.07 dl (25)	44 (ac)	6.97 it (55)	62 (ac)	9.05 hr (45)
5 (ai)	10.54 fp (37)	24 (ai)	9.19 hq (42)	45 (ac)	11.67 dn (29)	63 (ac)	6.65 jt (57)
6 (ai)	16.53 ag (7)	25 (ai)	9.94 gp (41)	46 (ac)	10.52 fp (38)	64 (ac)	14.11 bh (12)
7 (ai)	16.29 ag (8)	26 (ai)	11.18 eo (33)	47 (ac)	8.04 hs (52)	65 (ac)	13.70 bi (16)
8 (ai)	19.33 ac (3)	27 (ai)	8.96 hr (46)	48 (ac)	4.07 pt (64)	66 (ac)	8.42 hs (49)
9 (ai)	13.96 bh (13)	28 (ai)	12.14 dl (23)	50 (ac)	5.40 kt (58)	67 (ac)	13.58 bi (17)
10 (ai)	17.52 ae (5)	29 (ai)	13.81 bh (15)	51 (ac)	5.23 mt (60)	68 (ac)	19.96 ab (2)
12 (ai)	22.32 a (1)	30 (ai)	9.10 hr (43)	52 (ac)	10.08 gp (39)	70 (bc)	2.35 rt (66)
13 (ai)	6.92 it (56)	32 (ai)	14.35 bh (9)	53 (ac)	11.86 dn (27)	72 (bc)	2.54 qt (65)
14 (ai)	12.61 cj (21)	33 (ai)	7.70 ht (53)	54 (ac)	11.57 dn (30)	75 (bc)	1.09 t (68)
15 (ai)	18.34 ad (4)	34 (ai)	12.19 dk (22)	55 (ac)	8.60 hr (48)	81 (rj)	1.74 st (67)
16 (ai)	14.25 bh (10)	36 (ai)	14.17 bh (11)	56 (ac)	9.09 hr (44)	96 (cf)	5.12 nt (62)
17 (ai)	12.03 dm (26)	38 (ac)	7.53 ht (54)	57 (ac)	8.10 hs (51)	97 (cf)	8.66 hr (47)
18 (ai)	11.76 dn (28)	39 (ac)	8.16 hs (50)	58 (ac)	5.16 nt (61)	100 (cf)	4.53 ot (63)
Dhs				6.82			
Mínimo				1.09			
Media				10.64			
Máximo				22.32			

Dhs = Diferencia honesta significativa; letras entre paréntesis representan el color de grano como se identificó visualmente (ai=amarillo intenso, cl=amarillo claro); celdas con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes (Tukey $\alpha \leq 0.05$); el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó la línea (1-68).

Cuadro 12A. Líneas S₃ de maíz evaluadas por su contenido de carotenoides por UPLC y NIRS.

Nº Línea	Genealogía	Origen
1	San Marcos x Arrocillo auto	3125-2-3
2	Huamantlita Ama x Uruguay 177	3093-1-4
3	Huamantlita Ama x Uruguay 177	3142-1-1
4	Am MMR-1 M x Ver 311 (114)	3126-1-1
6	San Marcos	3132-1-3
7	San Marcos x Ver 311 (114)	3125-2-2
8	COMP- PTA MORADA GRANO AMARILLO	3156-1-3
9	MGMM	3152-1-1
10	MMR-1 M x Tam Gpo 1	3127-2-1
12	COMP- PTA MORADA GRANO AMARILLO	3156-1-1
13	(Pue Amo x Huamantlita) x Pulga	3110-3-3
14	Am MMR-1 M x Tam Gpo 2	3121-1-1
15	MGMM	3153-2-2
16	Pulga x Cuapiaxtla	3115-1-1
17	MGMM	3152-1-2
18	Pue 6770	3107-1-3
21	MGMM	3152-1-3
22	Tucel 60 x Pulga	3118-5-3
24	Ixtlahuaca	3158-1-1
25	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue Amo	3123-2-1
26	Tucel 60 x Pulga	3118-2-1
27	MMR-1 M x Ver. 311 (114) S1	3126-1-2
28	MGMM	3152-2-3
29	Pue 6770	3107-1-4
30	Uruguay 177 x Ver 311 (114)	3122-2-1
32	Am MMR-1 M x Tam Gpo 2	3128-1-1
34	(Puebla amo x Huamantlita) x Huamantlita	3117-2-1
39	(Pue Amo x Huamantlita) x Pulga	3110-2-2
41	Huamantlita x Pue 6770	3100-1-1
42	Tucel 60 x Pulga	3118-5-2
43	MMR-2 H	3133-2-1
44	Tam Gpo 2 x Uruguay 177	3081-2-2
45	Tucel 60 x Pulga	3118-5-4
46	Pue 6495 x Am MMR-1 M	3096-1-1
47	Pue 6763 x Pulga	3087-3-1
48	Pue 6496 x Uruguay 177	3144-2-1
50	(Pta morada x Dario) x Pulga	3116-1-2
51	Pulga 6770 x Pulga	3099-1-1
52	Uruguay 177 x Ver 311 (114)	3122-2-5
53	Pue 6770	3107-1-2
54	Huamantlita x Pue 6770	3100-1-2
55	Pue 6770	3107-1-1

Continúa...

N° Línea	Genealogía	Origen
Cuadro 12A. Continuación...		
56	(Pue Amo x Huamantlita) x Pulga	3110-1-1
57	Pue 6643 x Pulga	3085-2-1
60	Uruguay 177 x Ver 311 (114)	3122-2-4
61	Ixtlahuaca	3158-2-1
63	COMP- PTA MORADA GRANO AMARILLO	3156-1-2
64	Pue 6643 x Pulga	3088-3-1
66	Pue 6643 x Pulga	3135-2-1
67	Am MMR-1 M x Tam Gpo 2	3128-1-3
68	Am MMR-1 M x Tam Gpo 2	3128-1-4
70	Am Ixtenco (don Manuel y Doña Toña)	3151-3-2
72	D-2060	3098-1-2
75	Pue 6496 x Uruguay 177	3144-2-2
79	Am Ixtenco (don Manuel y Doña Toña)	3151-1-2
81	Pue 6763 x Pulga	3087-3-2
82	Pue 6643 x Pulga	3088-4-1
91	Pue 6496 x Uruguay 177	3102-1-1
92	Pue 6496 x Uruguay 177	3102-1-2
96	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-3-4
97	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-3-5
100	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-3-6

Cuadro 12A. Líneas S₃ de maíz no seleccionadas para análisis bioquímico.

N° Línea	Genealogía	Origen
5	Pue 6643 x Pulga	3135-2-3
11	MGMM	3153-1-1
19	MMR-2 H	3133-2-2
20	San Marcos	3132-1-1
23	Tam Gpo 2 x Uruguay 177	3081-2-3
31	MGMM	3152-3-1
33	Pulga x Cuapiaxtla	3115-1-2
35	Huamantlita x Pue 6770	3100-2-2
36	Huamantlita x Pue 6770	3100-2-1
37	H-precoz-estrada	3101-2-2
38	(Pue Amo x Huamantlita) x Pulga	3110-2-1
40	(Pue Amo x Huamantlita) x Pue Amo	3145-2-1
49	Pulga 6770 x Pulga	3099-1-2
58	(Puebla amo x Huamantlita) x Huamantlita	3117-2-2
59	(Pue Amo x Huamantlita) x Pulga	3110-3-2
62	Pue 6643 x Pulga	3088-3-4
65	Tucel 60 x Pulga	3118-5-1
69	Am Ixtenco (don Manuel y Doña Toña)	3151-2-1
71	D-2060	3098-1-1
73	Am Ixtenco (don Manuel y Doña Toña)	3151-3-1
74	D-2060	3098-1-3
76	Huamantlita Ama x Uruguay 177	3093-1-2
77	Am Ixtenco (don Manuel y Doña Toña)	3151-1-1
78	San Marcos x Arrocillo auto	3125-2-4
80	Pue 6763 x Pulga	3087-1-1
83	Tam Gpo 2 x Uruguay 177	3081-1-1
84	Tam Gpo 2 x Uruguay 177	3081-1-1
85	Pue 6643 x Pulga	3085-1-3
86	(Elotes Occ x Vandeño Negro) x Pue Amo	3141-1-1
87	Pue 6496 x Uruguay 177	3084-2-1
88	Huamantlita Ama x Uruguay 177	3093-2-1
89	Pue 6763 x Pulga	3087-1-2
90	Pue 6643 x Pulga	3085-2-2
93	Tam Gpo 2 x MMR-2 H	3149-1-1
94	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-3-3
95	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-1-3
98	Am MMR-1 M x Tam Gpo 2	3121-1-4
99	Pue 6495 x Tam Gpo 2	3147-1-1