



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

**VALORACIÓN DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y
ANTOCIANINAS DE LOS MAÍCES MORADOS DE
IXTENCO, TLAXCALA**

CARMEN GABRIELA MENDOZA MENDOZA

T E S I S

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

D O C T O R A E N C I E N C I A S

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

Octubre de 2017

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 Carmen Gabriela Mendoza Mendoza, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe 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

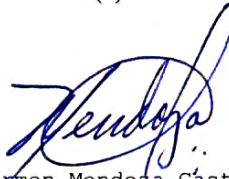
Valoración del rendimiento de grano y antocianinas de los maíces morados de Ixtenco, Tlaxcala

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 18 de Septiembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada “**Valoración del rendimiento de grano y antocianinas de los maíces morados de Ixtenco, Tlaxcala**”, realizada por la alumna: **Carmen Gabriela Mendoza Mendoza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESPECIALISTA EN

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. Takeo Angel Kato Yamakake

ASESOR


Dr. Serafín Cruz Izquierdo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 13 de Octubre de 2017

VALORACIÓN DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y ANTOCIANINAS DE LOS MAÍCES MORADOS DE IXTENCO, TLAXCALA

Carmen Gabriela Mendoza Mendoza, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2017

El presente estudio tuvo como objetivo conocer el comportamiento agronómico y el rendimiento de grano, así como valorar el potencial productivo de antocianinas en la capa de aleurona, pericarpio, grano y olote de 37 poblaciones de maíz morado originarias de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, México, y algunas derivadas del Programa de Maíces Pigmentados del Colegio de Postgraduados. El interés en este tipo de maíces radica en que se sabe que las antocianinas tienen propiedades bioactivas que pueden ayudar al control o tratamiento de las enfermedades del Siglo XXI (cardiovasculares, diabetes, obesidad, cáncer) y también a la demanda de los consumidores por productos naturales y menos procesados. El comportamiento agronómico y la productividad de los maíces morados fueron evaluados mediante ensayos de campo. El rendimiento (Rto) de las poblaciones fluctuó entre 4271 y 882 kg ha⁻¹; siendo de 2939 kg ha⁻¹ el valor de Rto promedio de los maíces morados de Ixtenco. Se determinó que bajo condiciones ambientales distintas a las de su localidad de origen, las poblaciones sufren desadaptación, dificultad para el establecimiento e incidencia de enfermedades en la mazorca. En cuanto a la valoración del potencial productivo de antocianinas, realizada mediante la determinación del contenido de antocianinas totales (CAT), se encontró que la magnitud de dicho potencial es amplio; CAT fluctuó entre 0.054 y 0.001 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa (en la capa de aleurona); 2.435 y 0.003 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; 0.212 y 0.001 g de AT • 100 g⁻¹ de grano; y 0.770 y 0.005 g de AT • 100 g⁻¹ de olote; asimismo, se detectaron dos grupos de poblaciones sobresalientes: el primero con potencial de aprovechamiento integral, el cual destacó en todas las variables evaluadas y tuvo los valores máximos de CAT y el segundo, incluyó a otras poblaciones nativas de Ixtenco que destacaron en cuatro o en tres variables de CAT estudiadas.

Palabras clave: *Zea mays* L., maíz morado, antocianinas, San Juan Ixtenco, maíz mexicano.

ASSESSMENT OF GRAIN YIELD AND ANTHOCYANIN CONTENT OF PURPLE CORN (MAICES MORADOS) FROM IXTENCO, TLAXCALA

Carmen Gabriela Mendoza Mendoza, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2017

The objectives of this study were to determine the agronomical behavior and grain yield, as well as to value the potential to produce anthocyanins in the aleurone layer, in pericarp, in grain and in corn cob of 37 purple corn populations from San Juan Ixtenco, Tlaxcala, Mexico, and some populations derived from the Pigmented Corn Program of Colegio de Postgraduados. The interest on this type of maize lies in that there is knowledge about the bioactive properties of anthocyanins that might help to control or to treat the diseases of the XXI century (cardiovascular diseases, diabetes, obesity, cancer) and also, due to the consumer's demand for natural and less processed products. The agronomical behavior and purple corn productivity were evaluated on field trials. The populations' grain yield (Rto) ranged from 4271 to 882 kg ha⁻¹. The mean value of Rto of purple corn populations from Ixtenco was 2939 kg ha⁻¹. When environmental conditions were different from the conditions of their place of origin, it was determined that populations didn't get adapted, moreover they had difficulties to get established and had incidence of ear diseases. On the other hand, the anthocyanins productive potential, valued by the quantification of total anthocyanin content (TAC), showed that the populations had great potential, TAC was from 0.054 to 0.001 g of TA • 100 g⁻¹ of biomass (in aleurone layer); from 2.435 to 0.003 g of TA • 100 g⁻¹ of pericarp; from 0.212 to 0.001 g of TA • 100 g⁻¹ of grain; and from 0.770 to 0.005 g of TA • 100 g⁻¹ of corn cob; also, two groups of outstanding populations were detected: the first one had potential for integral use, which highlighted in all of the evaluated traits and showed the highest values of TAC, while the second group, included other native populations from Ixtenco that were outstanding in four or three of the traits determined to study TAC.

Key words: *Zea mays* L., purple corn, anthocyanins, San Juan Ixtenco, Mexican maize.

DEDICATORIA

A la memoria de mi *maicero favorito*: **Moisés Mendoza Rodríguez**, quien en términos genéticos es “mi progenitor” y en términos de la vida: mi **querido PAPÁ**.

También, dedicada con todo mi corazón a mi **NÚCLEO FAMILIAR**: **Carmen** (*mi amá, mi pilar y mi gran ejemplo*), **Moy** (*mi hermano*), **Javier** (*mi esposo*) y **mi pequeño retoño** que pronto estará en mis brazos. Ustedes son fundamentales en mi vida.

A mis dos grandes familias: **Mendoza Castillo** y **Mendoza Rodríguez**, quienes siempre han demostrado su gran amor, apoyo y credibilidad en mí.

A mi país: **México**... porque algo mejor debe estar en camino para que renazcamos como la gran nación que somos.

A los **guardianes del maíz** que conservaron a los maíces morados, buscando sabor y belleza e indirectamente, resguardaron un tesoro genético para la humanidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por proporcionarme el soporte financiero que permitió realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo y Campus Puebla, por ser el espacio en el que pude desarrollar mi proyecto de investigación y en donde conté con la enseñanza y asesoría de excelentes académicos.

A los integrantes de mi **Consejo Particular**:

Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, por dejarme continuar con esta fascinante línea de investigación, así como por la acertada y constante asesoría académica y profesional.

Dr. Fernando Castillo González, por la orientación brindada durante el desarrollo de mi investigación.

Dra. Adriana Delgado Alvarado, por la asesoría y facilidades ofrecidas para el desarrollo del trabajo de laboratorio, gracias por darme la oportunidad de trabajar con Usted.

Dr. Takeo Ángel Kato Yamakake, por compartir conmigo sus opiniones y perspectiva sobre el trabajo desarrollado.

Dr. Serafín Cruz Izquierdo, por su disponibilidad en la realización y revisión de esta investigación.

A la Asociación Dignidad, Ética y Desarrollo Social A. C. de la Comunidad de Ixtenco por proporcionarme el germoplasma de maíz morado en estudio.

Al gran equipo de trabajo que me apoyó en las diferentes fases de campo y de laboratorio: Dr. Agapito Pecina Martínez, Dr. Javier Sánchez Ramírez, Antrop. Cornelio Hernández Rojas, C. Miguel Gutiérrez Hernández, C. José Aguilar Cortés, Ing. Cristian Villaseñor y M. C. Laura Delgado Sánchez.

A mis queridas amigas: Magda, Laura, Bere, Deyxi, porque en esta etapa han sido un apoyo increíble e invaluable.

A Dalila, Paty, Gaby y Leonor, por su gran apoyo brindado durante mi estancia en el posgrado de Genética.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos Específicos.....	12
1.3. Hipótesis General.....	12
1.4. Literatura Citada.....	13
CAPÍTULO II. VALORACIÓN AGRONÓMICA Y DE RENDIMIENTO DE GRANO DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA	17
2.1. Resumen.....	17
2.2. Abstract.....	18
2.3. Introducción.....	19
2.4. Materiales y Métodos.....	26
2.4.1. Material genético.....	26
2.4.2. Diseño y manejo experimental.....	27
2.4.3. Comportamiento agronómico y rendimiento de grano.....	28
2.4.4. Análisis estadístico.....	30
2.5. Resultados y Discusión.....	30
2.5.1. Exploración y valoración de 53 poblaciones.....	30
2.5.1.1. Análisis de varianza.....	30
2.5.1.2. Rendimiento y sus componentes.....	32
2.5.1.3. Variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas.....	42
2.5.1.4. Poblaciones con características sobresaliente y con potencial de aprovechamiento para la obtención de antocianinas.....	47
2.5.2. Evaluación de 18 poblaciones de maíz morado: versión original y con selección.....	51
2.5.2.1. Análisis de varianza.....	51
2.5.2.2. Rendimiento de grano y sus componentes.....	51
2.5.2.3. Variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas.....	57
2.6. Conclusiones.....	61
2.7. Literatura Citada.....	62
CAPÍTULO III. VALORACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN GRANO Y OLOTE DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA	68
3.1. Resumen.....	68
3.2. Abstract.....	69
3.3. Introducción.....	70
3.4. Materiales y Métodos.....	77

3.4.1. Material genético.....	77
3.4.2. Preparación de la muestra, extracción y cuantificación de antocianinas totales.....	79
3.4.3. Frecuencia de color de las mazorcas.....	81
3.4.4. Análisis estadístico.....	81
3.5. Resultados y Discusión.....	82
3.5.1. Contenido de antocianinas totales en 37 poblaciones de maíz morado.....	82
3.5.1.1. Análisis de varianza.....	82
3.5.1.2. Contenido de antocianinas totales (CAT) y Análisis de Componentes Principales.....	82
3.5.1.3. Contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona (ATal)...	92
3.5.1.4. Contenido de antocianinas totales en pericarpio (ATper).....	99
3.5.1.5. Contenido de antocianinas totales en grano (ATgr).....	104
3.5.1.6. Contenido de antocianinas totales en olote (ATolo).....	108
3.5.1.7. Frecuencia de color de las mazorcas en 37 poblaciones de maíz morado.....	113
3.5.1.7.1. Análisis de varianza.....	113
3.5.1.7.2. Frecuencia de color de las mazorcas y Análisis de Componentes Principales.....	114
3.6. Conclusiones.....	117
3.7. Literatura Citada.....	119
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ MORADO CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINAS.....	127
4.1. Resumen.....	127
4.2. Abstract.....	128
4.3. Introducción.....	129
4.4. Materiales y Métodos.....	131
4.4.1. Material genético.....	131
4.4.2. Preparación de muestras, extracción y cuantificación de antocianinas totales.....	132
4.4.3. Clasificación de líneas, orden jerárquico y selección de líneas élite....	133
4.4.4. Evaluación visual del color de grano y parámetros de color.....	133
4.4.5. Análisis estadístico.....	134
4.5. Resultados y Discusión.....	134
4.5.1. Contenido de antocianinas totales (CAT).....	135
4.5.2. Antocianinas totales en grano (ATgr).....	135
4.5.3. Antocianinas totales en pericarpio (ATper).....	137
4.5.4. Antocianinas totales en aleurona (ATal).....	138
4.5.5. Líneas élite: por alto contenido de antocianinas en grano, pericarpio y aleurona.....	139
4.5.6. Parámetros de color.....	141
4.6. Conclusiones.....	142
4.7. Literatura Citada.....	142

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL.....	147
5.1 Literatura Citada.....	157
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	162
APÉNDICE.....	164

ÍNDICE DE CUADROS

Título	Pág.
CAPÍTULO II. VALORACIÓN AGRONÓMICA Y DE RENDIMIENTO DE GRANO DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA	
Cuadro 1. Material genético establecido en el ciclo P-V 2013 y 2014 para evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento de grano de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento.....	27
Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado para rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.....	31
Cuadro 3. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	33
Cuadro 4. Promedio por ambiente de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas, y valores máximos y mínimos de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.....	36
Cuadro 5. Promedio de rendimiento, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.....	38
Cuadro 6. Promedio de días a floración masculina y femenina, sanidad de mazorca e índice de desgrane por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.....	43
Cuadro 7. Características de rendimiento y comportamiento agronómico de poblaciones pigmentadas sobresalientes evaluadas en tres localidades de Valles Altos.....	49

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para 18 poblaciones nativas de maíz morado originarias de Ixtenco, evaluadas en su ciclo original y su ciclo con selección y estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México, 2014.....	52
Cuadro 9. Promedio por ambiente de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas durante 2014.....	53
Cuadro 10. Promedio por ambiente y por ciclo de rendimiento de grano, días a floración masculina y altura de planta de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas durante 2014.....	53
Cuadro 11. Promedio por ciclo y por población de rendimiento de grano y días a floración masculina de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas en 2014.....	54
Cuadro 12. Promedio de la interacción CicloxAmbientexPoblación de la sanidad de mazorca y rendimiento en 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos de México en 2014.....	56
Cuadro 13. Promedio de componentes de rendimiento, variables fenológicas y agronómicas de 18 poblaciones nativas de maíz morado, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2014.....	58
Cuadro 14. Promedio por ciclo de altura de planta, posición de mazorca y sanidad de mazorca de 18 poblaciones nativas de maíz morado, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2014.....	59
 CAPÍTULO III. VALORACIÓN DE POTENCIAL PRODUCTIVO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN GRANO Y OLOTE DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA	
Cuadro 1. Material genético establecido en el ciclo P-V 2013 y 2014 para valorar la magnitud del potencial productivo de antocianinas totales de poblaciones de maíz morado.....	78
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para contenido de antocianinas en aleurona, pericarpio, grano y olote para 37 poblaciones pigmentadas de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.....	82

Cuadro 3. Promedio del contenido de antocianinas totales de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado y otras con pigmentación distinta al morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	83
Cuadro 4. Contenido de antocianinas totales en distintas especies vegetales.....	85
Cuadro 5. Coeficientes de correlación y de determinación del análisis de componentes principales para la caracterización y valoración de poblaciones de maíz, por su contenido de antocianinas totales.....	87
Cuadro 6. Promedio por ambiente del contenido de antocianinas y valores máximos y mínimos de 37 poblaciones de maíz morado, estudiadas durante 2013 y 2014.....	97
Cuadro 7. Promedio del contenido de antocianinas totales en capa de aleurona y pericarpio, por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	98
Cuadro 8. Promedio del contenido de antocianinas totales en grano y olote, por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	108
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para frecuencia de color de las mazorcas para 37 poblaciones de maíz morado, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.....	113
Cuadro 10. Coeficientes de correlación y de determinación del análisis de componentes principales para la caracterización de poblaciones de maíz por la frecuencia de color de las mazorcas.....	115
 CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ MORADO CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINAS	
Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de antocianinas totales y parámetros de color en líneas S ₂ de maíz morado...	135
Cuadro 2. Orden, contenido de antocianinas totales en grano, pericarpio, aleurona y parámetros de color de una muestra de un total de 124 líneas S ₂ de maíz morado.....	140

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL

Cuadro 1. Rendimiento de grano, frecuencia de mazorcas de grano morado y valores estimados de contenido de antocianinas por unidad de superficie de 35 poblaciones de maíz morado.....	153
Cuadro 2. Kilogramos de grano morado, aleurona, pericarpio, olote e ingresos económicos por unidad de superficie de 35 poblaciones de maíz morado....	156

CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para la evaluación de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.....	165
Cuadro 2A. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	166
Cuadro 3A. Promedio de rendimiento, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.....	169
Cuadro 4A. Promedio de días a floración masculina, días a floración femenina y altura de planta por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.....	172
Cuadro 5A. Promedio de sanidad de mazorca e índice de desgrane por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.....	175
Cuadro 6A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para la evaluación de 18 poblaciones moradas nativas de Ixtenco (versión original y con mejoramiento genético) estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México, 2014.....	177
Cuadro 7A. Promedio de contenido de antocianinas totales de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	178

Cuadro 8A. Promedio de contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona y pericarpio, de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	180
Cuadro 9A. Promedio de contenido de antocianinas totales en grano y olote, de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	182
Cuadro 10A. Promedio de la frecuencia de mazorcas de color morado, azul, rojo, pinto y blanco, de 37 poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Pág.
CAPÍTULO III. VALORACIÓN DE POTENCIAL PRODUCTIVO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN GRANO Y OLOTE DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA	
Figura 1. Ruta de biosíntesis de antocianinas en maíz.....	74
Figura 2. Distribución gráfica de 52 poblaciones de maíz en función de los primeros dos componentes principales.....	89
Figura 3. Distribución gráfica de 35 poblaciones de maíz morado en función de los primeros dos componentes principales.....	91
Figura 4. Coloración de la capa de aleurona de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento.....	96
Figura 5. Coloración del pericarpio de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento.....	102
Figura 6. Coloración del grano de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento.....	107
Figura 7. Coloración de olote de algunas poblaciones de maíz estudiadas.....	110
Figura 8. Distribución gráfica de 37 poblaciones de maíz morado en función de los primeros dos componentes principales.....	116
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ MORADO CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINAS	
Figura 1. Escala de color de grano utilizada para evaluar visualmente el color de grano de líneas S ₂ de maíz morado.....	134

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En el transcurso del siglo XXI la humanidad deberá hacer frente a una serie de retos ambientales, sociales y económicos¹, en algunos casos derivados del progreso humano, la modernización y las políticas de desarrollo que se han implementado. Hoy, ante la crisis por la que se transita, se ha determinado que hay mucho que aprender, enmendar e inclusive en algunos casos remendar (Cordera, 2016a). Tal vez, la sociedad moderna tendrá que volver a lo básico, simple y natural, puesto que junto con el advenimiento de la industrialización, el mejoramiento económico y el ascenso de las condiciones urbanas que ocurrieron durante la transición del siglo XIX al siglo XX, hubo incremento exponencial de la población, cambios en los hábitos de consumo y acentuado sedentarismo que hoy son el motor de una creciente demanda de alimentos, la expresión de “nuevos tipos” de enfermedades, el deterioro ambiental y la pérdida de gran cantidad de recursos naturales (Nascimento, 2016). Por lo que una vez más y ahora, en este siglo, la sociedad tendrá que dar prueba de su capacidad para sobreponerse a la adversidad y tratar de afirmar la idea del desarrollo mediante formas diferentes de crecer. Es un hecho que el rápido crecimiento poblacional ha ocasionado tensión en el sistema global de alimentos, resultando ineludiblemente en la necesidad de incrementar 70 % su producción para el año 2050, con el fin de proveer suficiente comida saludable, segura y nutritiva para una población que en ese entonces se estima será de 9.1 mil millones de habitantes, equivalente a 17.6 % más que la población actual². Además, los productores de alimentos tendrán que afrontar los efectos del cambio climático, la incidencia de nuevas plagas, enfermedades y estrés por disponibilidad de agua, y los cambios del uso de suelo; asimismo, deberán encontrar los medios o prácticas que conlleven al aumento de la productividad por unidad de superficie y a la par, será obligatorio hacer frente al hambre, la pobreza y al crecimiento de la clase media y de la población urbana, pues se

¹ <https://21stcenturychallenges.org/challenges/> Consultada 21 de marzo de 2017

² <http://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/> Consultada 1 de diciembre de 2016

especula que los ingresos económicos serán superiores y 70 % de la población será urbana.

Ante esta necesidad de alimento se busca que la producción anual de cereales alcance las 3.0 mil millones de toneladas, superando las 2.6 mil millones actuales³. Dentro de este grupo de semillas, el maíz (*Zea mays* L.) es sin duda uno de los que mayor demanda tiene en el mundo; inclusive, es uno de los tres granos básicos que alimentan a la humanidad (Tadeo *et al.*, 2015). A la fecha, esta especie se ha posicionado como el cereal más importante a nivel mundial, cultivándose en más de 168 países y se ha destacado por su volumen de producción, rendimiento por unidad de superficie así como por su utilidad como alimento humano, alimento para ganado o como materia prima para la elaboración de un gran número de productos industriales (FAOSTAT, 2015; FAO, 2017). En el ciclo 2015/2016 la producción mundial de maíz fue de 967.8 a 978.1 millones de toneladas (FIRA, 2015; NCGA, 2016) y se pronostica que para el ciclo 2016/2017 sean 1037.9 millones de toneladas (NCGA, 2017), ya que además de ser demandado como alimento, su contribución a los usos industriales ha ido aumentando y seguirá haciéndolo en los próximos decenios (ASERCA, 2016a).

Como alimento humano representa la principal fuente de carbohidratos, pues de 100 g de maíz se tienen 74.3 g de carbohidratos, mientras que de 100 g de lechuga (*Lactuca sativa* L.) o de zanahoria (*Daucus carota* L.) solamente se tienen 3.3 y 9.6 g de carbohidratos, respectivamente. Es un grano que forma parte de la canasta básica de la población de países en vías de desarrollo y aporta otros compuestos como proteínas, hierro, vitamina B, minerales, etc.; inclusive, es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta (jilotes en salmuera, elotes, granos y sus derivados, hojas para tamal, rastrojo, etc.), y ya sea en forraje o grano se utiliza para alimentar al ganado. Por lo anterior, el maíz es una especie imprescindible para propiciar la seguridad alimentaria de la población, la cual se alcanza cuando la población en todo momento tiene acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en

³ <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> Publicado 2 de marzo de 2017. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. Consultada 10 de marzo de 2017

cuanto a los alimentos, con el fin de llevar una vida sana y activa (ASERCA, 2016b). La seguridad alimentaria es un asunto serio, ya que en el año 2013 la FAO señaló que más de 840 millones de personas sufrieron de subalimentación profunda (el requerimiento diario de calorías es de 2362 kcal por persona), teniendo insuficiente disponibilidad de energía alimentaria y siendo incapaces de cubrir las necesidades mínimas de un estilo de vida aceptable (Urquía-Fernández, 2014).

En cuanto a la problemática sanitaria del siglo XXI; es decir, la alta incidencia de “nuevas enfermedades” de tipo crónico degenerativo como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad, entre otras, que científicamente se ha evidenciado que están relacionadas con los hábitos alimenticios y de comportamiento social, irónicamente, en gran parte son resultado del progreso y de la modernización, que si bien en los siglos pasados lograron incrementar la esperanza de vida, promover una vida “moderna y práctica” así como un destacado control de enfermedades infecciosas que ocasionaban siniestras epidemias; ahora, se tiene como efecto colateral el aumento de la mortalidad por la incidencia de enfermedades, tanto crónicas como de algunas emergentes (de etiología infecciosa que incluyen las bacterianas) y la persistencia de una mala nutrición, por la alta disponibilidad de alimentos industrializados (Soto, 2014; Nacimiento, 2016).

El 6 de abril de 2017, Countrymeters⁴ señaló como las 20 principales causas de muerte en el mundo las siguientes: enfermedades de las arterias coronarias (2.3 millones de habitantes), accidente cerebrovascular (1.6 millones de habitantes), infecciones del tracto respiratorio inferior (867 mil habitantes), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (861 mil habitantes), cáncer de pulmón, tráquea y bronquios (460 mil habitantes), Diabetes mellitus (430 mil habitantes), Alzheimer y otras demencias (419 mil habitantes), diarrea (377 mil habitantes), tuberculosis (373 mil), accidentes de tráfico (364 mil habitantes), cirrosis hepática (315 mil habitantes), enfermedades renales (307 mil habitantes), SIDA (287 mil habitantes), complicaciones en el parto (287 mil habitantes), enfermedades cardíacas hipertensivas (255 mil habitantes), cáncer hepático (214 mil habitantes), suicidio (214 mil habitantes), cáncer de colon rectal (210 mil habitantes),

⁴ <http://countrymeters.info/es/World> Consultada 6 de abril de 2017

cáncer de estómago (204 mil habitantes) y asfixia o trauma de nacimiento (187 mil habitantes). En 2009, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indicó que el principal riesgo de mortalidad a nivel global es la hipertensión arterial (responsable de 13 % de la mortalidad global), que a nivel mundial causa 7.5 millones de muertes por año. También se resaltó que otros riesgos de mortalidad son el uso de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) (9 %), alta glucosa en sangre (6 %), inactividad física (6 %), sobrepeso y obesidad (5 %); estos riesgos son responsables del incremento de la probabilidad de padecer enfermedades crónicas las cuales afectan a todos los países en todos los niveles (Pandey *et al.*, 2010).

Bajo estas consideraciones y sobre todo con el impulso de una sociedad más consciente e informada que demanda productos con bajo impacto ambiental (Lobell *et al.*, 2008), naturales, menos procesados, con menores o nulos efectos secundarios sobre la salud (Mateus y Freitas, 2009), está creciendo un nuevo enfoque para cuidar de ella; en esta nueva forma de vida se busca alimentarse balanceadamente, mantenerse activo y reducir o eliminar el consumo de alimentos altamente procesados, para evitar la expresión de las enfermedades crónicas previamente mencionadas. Asimismo, se ha difundido el consumo de alimentos funcionales y productos nutraceuticos que contienen sustancias bioactivas (como los antioxidantes naturales) que pueden fungir como un tratamiento preventivo y/o terapéutico de dichos padecimientos sanitarios. La tendencia en la actualidad es que el tratamiento médico sea más profiláctico y menos invasivo, pues al retardar o prevenir una enfermedad se tiene una estrategia costo-ganancia más efectiva en el área médica (Shoji y Nakashima, 2004; Bhowmik *et al.*, 2013).

En este sentido, en diversos estudios científicos realizados en maíz y reportados por Serna-Saldívar *et al.* (2013) se ha encontrado que algunas sustancias bioactivas presentes en el grano tienen efectos positivos sobre la salud; por ejemplo, las antocianinas actúan contra el estrés oxidativo, las enfermedades crónico degenerativas y el cáncer; los fitoesteroles y policosanoles poseen efecto hipocolesterolémico y ayudan a prevenir los padecimientos cardiovasculares; la fibra dietética de tipo insoluble puede prevenir el cáncer de colon y la diabetes; los fitatos poseen propiedades anticarcinogénicas, etc. De la Parra *et al.* (2007) señalan que los granos de maíz tienen

alta capacidad antioxidante que inclusive, supera a la de otros cereales como el trigo (*Triticum spp.*), avena (*Avena sativa* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.).

Otro asunto relevante ocurre en la industria de los alimentos, farmacéutica, cosmetológica y textil, en donde durante los últimos 161 años se ha utilizado masivamente a los colorantes artificiales, pues confieren una gran variedad de tonos llamativos y tipos de color altamente atractivos para el consumidor (traslúcido, aperlado y fosforescente, entre otros). Además, se ha encontrado que los colorantes sintéticos son compuestos fáciles de producir y de mezclar con otras sustancias, baratos y estables⁵, que resultan más atractivos para la industria que los colorantes naturales que no tienen estas características. Los pigmentos sintéticos que fueron descubiertos en 1856, se volvieron muy populares, de manera que para la década de 1980s se ofertaban aproximadamente 10×10^4 colorantes comerciales, con una producción anual de más de 7×10^5 ton (Zollinger, 1987). Tan pronto como comenzaron a utilizarse se crearon reglamentos para su manejo, ya que había preocupación por la seguridad de consumirlos (Downham y Collins, 2000); sin embargo, no fue hasta las cuatro décadas pasadas que las inquietudes incrementaron notoriamente, esto como resultado de la difusión de estudios científicos que mostraron que los colorantes artificiales tienen efectos negativos, especialmente en la salud humana y en el ambiente.

Por lo anterior, a partir de 1970 los científicos así como los consumidores “conscientes e informados”, han exigido una mayor regulación de la producción de los colorantes artificiales y su comercialización; también el manejo adecuado de este residuo industrial así como el rescate y revaloración de los colorantes naturales, con el fin de minimizar el daño ambiental, proteger a los usuarios y consumidores y cooperar con el gobierno por las preocupaciones del público sobre el impacto toxicológico de tales productos artificiales. En respuesta a ello se ha logrado tener una legislación más restrictiva, especialmente en los países desarrollados, en donde se trabaja para remover a los colorantes artificiales de los efluentes industriales, pues su alta estabilidad en variadas condiciones de pH, temperatura y radiación solar han ocasionado estragos en el ambiente, ya que su estructura química evita que se desvanezcan cuando se exponen a

⁵ <http://www.preparedfoods.com/articles/108373-coloring-options> Consultada 5 de diciembre de 2016

la luz solar, agua u otros químicos (Robinson *et al.*, 2001; Eremektar *et al.*, 2007). En el ámbito de la salud humana, se ha cuestionado la inocuidad de los colorantes sintéticos, se ha reportado que el consumo de colorante amarillo 6 (amarillo Sunset), rojo 40 (rojo Allura), rojo 2 (Amaranth), ponceau 4R, carmoisina (azorrubina), entre otros, está asociado con el desarrollo de hiperactividad en niños; además, se sospecha que el colorante amarillo 5 ocasiona reacciones alérgicas como asma y urticaria, por mencionar algunos (Robinson *et al.*, 2001; Eremektar *et al.*, 2007; Amchova *et al.*, 2015).

Ante la duda de que los colorantes sintéticos son seguros, aunado al renovado interés de los consumidores por colores naturales, como parte de una tendencia a tener ingredientes cero-industrializados, y la cercanía por alcanzar los límites de la ingesta diaria aceptable de colorantes sintéticos; en EUA y Europa⁵ se ha retomado el estudio y uso de colorantes naturales. En el caso del maíz, se ha encontrado que este cultivo sintetiza y almacena en los granos que produce, dos grupos de pigmentos de importancia industrial en las áreas de los alimentos, textiles, farmacéutica, cosmetológica y nutracéutica; dichos pigmentos son las antocianinas y los carotenoides, los primeros le confieren color azul, rosa, rojo, morado o negro y los segundos, color amarillo, anaranjado o rojo. Estos compuestos del maíz se pueden utilizar por su efecto de colorear, pero también pueden ser adicionados a los productos comercializables para agregar o incrementar el valor nutricional, o bien, para actuar como un alimento funcional, pues existe evidencia de que estos componentes tienen funciones benéficas adicionales en el cuerpo humano y animal. También, es posible que estos pigmentos naturales se utilicen como aditivos (tienen la función de cargar algo o ser el solvente), para impartir funcionalidad como dispersor en agua o aceite, mejorar la estabilidad en la aplicación y mejorar la vida de anaquel (Downham y Collins, 2000; Tafoya y García, 2013).

Específicamente, sobre el maíz pigmentado por antocianinas se considera que además de tener el potencial para producirlas, posee características que pueden convertirlo en un pigmento de amplio interés comercial a nivel internacional, pues en comparación con otras fuentes del colorante antociánico, como la piel de uva (*Vitis vinífera* L.) y el arándano (*Vaccinium myrtillus* L.), entre otros, los extractos de antocianinas de maíz, que pueden ser del tipo acilado, tienen mayor estabilidad bajo diversas condiciones de radiación solar y calor (Bakowzka-Barezak, 2005); asimismo, pueden desplegar una

amplia variedad de tonalidades, si se maneja apropiadamente el pH del medio y su asociación con otros aditivos que puedan evitar su degradación. Además, el maíz morado es un grano que puede ser abastecido a lo largo del año, pues no es perecedero como las frutillas (del género *Rubus*) o la col morada (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) y, bajo un ligero control de las condiciones de humedad y temperatura, puede ser preservado con facilidad (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). El maíz morado como materia prima, posee la ventaja de que al momento de cumplir con los reglamentos de uso como pigmento natural, se trata de una fuente de color que no ocasiona alergias como la leche, huevo, pescado, crustáceos, nueces, trigo, cacahuates (*Arachis hypogaea* L.), soya (*Glycine max* L.) y grana cochinilla (*Dactylopius coccus* L.)⁶.

Bajo el contexto general planteado, en el caso particular de México también se tiene una seria problemática en los ámbitos previamente descritos. Una parte considerable de la población se encuentra en situaciones críticas de salud, vivienda y alimentación, con pocas oportunidades de acceso a la educación, capacitación y empleo, lo que reduce el nivel de bienestar y minimiza la confianza personal y familiar, ocasionando que el desarrollo humano efectivo sea imposible, al vivir con insalubridad y hambre; asimismo, tampoco es posible fortalecer las capacidades de las personas que se encuentran en pobreza extrema y demandar que sean autosuficientes a quienes luchan por subsistir (Cordera, 2016a; Turrent *et al.*, 2016).

Acorde con Population Reference Bureau (PRB) (2016), México se encuentra entre los diez países más poblados del mundo con 130.2 mil habitantes; es decir, 4.58 veces la población mexicana en 1951⁷ y a pesar del progreso social que revelan las cifras macroeconómicas reportadas por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, en la actualidad 55.3 millones de mexicanos viven en condiciones de pobreza (CONEVAL, 2015), lo cual afecta profundamente la vida de las personas que la padecen y trae consecuencias negativas para el país, dado que incide en fenómenos complejos como la falta de crecimiento económico, violencia, inseguridad, etc.

⁶ <http://www.preparedfoods.com/articles/108373-coloring-options> Coloring options. Julio 2010, Laurie C. Dolan and Ray A. Matulka. Consultada 15 de noviembre de 2016

⁷ http://countrysmeters.info/en/Mexico#historical_population Consultada 6 de abril de 2017

(Rodríguez, 2016). El patrón de desarrollo económico se concentra alrededor de algunas ciudades metropolitanas, mientras que la mayor pobreza se ubica afuera de las áreas de alto crecimiento (Cazzuffi *et al.*, 2017).

Además de las carencias económicas de la población también se padece insuficiencia alimentaria, puesto que con la adopción del modelo neoliberal se implementaron políticas que desarrollaron una crisis alimentaria, al reducir la producción de alimentos que conforman la canasta básica, incrementar la producción de productos agrícolas comercializables en el extranjero, como las frutillas y aguacate (*Persea americana* Mill.), así como la importación de productos a menor precio, que impiden la competencia de los pequeños productores locales con los productores de élite de los países desarrollados que cuentan con subsidios compensatorios para la producción. Como consecuencia, la soberanía y la autosuficiencia alimentaria se han resquebrajado, tal como lo muestra Rubio (2009) al indicar que al inicio de la crisis alimentaria del año 2008, México dependía del abasto exterior de maíz (26 %), trigo (52 %), arroz (75 %) y soya (98 %); Turrent-Fernández *et al.* (2016) explican que durante el periodo 1995-2014, las tasas anuales de incremento de la producción de maíz, trigo, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y arroz (granos básicos) fueron inferiores a las del crecimiento poblacional total (1.37 % entre el año 2016 y 2017): +0.95 %, +0.28 %, -0.45 % y -0.36 %, respectivamente. Aparte de la insuficiente producción de alimentos, ASERCA (2016b) señala que en México 37 % de los alimentos se desaprovechan por pérdidas y desperdicio en el curso de la producción, manejo y almacenamiento.

En relación con la salud y la nutrición de los mexicanos, la alimentación juega un papel fundamental para que ambas condiciones sean óptimas: población sana y nutrida. En los últimos 50 años, el progreso, la industrialización y la apertura de los mercados han ocasionado una profunda transformación en la alimentación de los mexicanos; la dieta se ha occidentalizado y en su mayoría se basa en comida procesada, lácteos y carnes, así como en grandes cantidades de azúcares y grasas, y nulas, o pocas, porciones de frutas, verduras y granos enteros (Vázquez, 2015). El Instituto Nacional de Salud Pública indica que más de la cuarta parte de los mexicanos tiene acceso deficiente a la alimentación; casi 1.5 millones de menores de cinco años presentan baja talla para la

edad, y de la población indígena 33.1 % se encuentra en esta condición (Gutiérrez *et al.*, 2012).

En tan solo cuatro décadas, el perfil epidemiológico de México ha cambiado de una situación de desnutrición y de enfermedades infecciosas, a uno marcado por la obesidad y sus consecuentes morbilidades: diabetes, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas no transmisibles, con grandes costos directos e indirectos para las familias y la sociedad. De las enfermedades crónicas, la diabetes se ubica como la primer causa de mortalidad en México (Escobedo *et al.*, 2011; Rivera *et al.*, 2012; Zárate, 2012). Respecto a la malnutrición se tienen tres condiciones: la desnutrición, las carencias nutricionales y el sobrepeso; se ha reportado que en México 18 % de los menores de cinco años presentan desnutrición crónica (Gutiérrez *et al.*, 2012), 70 % de los adultos tienen sobrepeso, de ellos 32.8 % son obesos y 33 % de niños y jóvenes en edades de 5 a 19 años (alrededor de 12 millones) presentan peso excesivo (Rivera *et al.*, 2012).

Ante tal situación, el maíz es una especie que desde antaño había representado una opción para enfrentar los problemas señalados, en los diversos sectores mencionados; sin embargo, la desincentivación de su producción, inducida por las políticas gubernamentales, evitó que el maíz pudiera ser aprovechado en su máxima capacidad para hacer frente a estos aspectos. No obstante, el maíz que se originó y diversificó en México (Kato *et al.*, 2009) aún se reconoce como un cultivo de suma importancia económico-social; 60 % de su producción se destina al consumo humano, representando un ingrediente clave de la canasta básica en la mayoría de los hogares rurales y urbanos. En el ciclo agrícola 2016, México produjo 27.6 millones de toneladas³, de las cuales 89 % fueron de maíz de grano blanco, 10.4 % de maíz amarillo y 0.6 % de otros tipos de maíz (ASERCA, 2016a); la producción de México fue equivalente a tan solo 2.4 % de la producción global de maíz (NCGA, 2017). Se establecieron 8.2 millones de hectáreas (75 % con poblaciones de maíz nativo) y se cosecharon 7.7 millones de hectáreas (SIAP, 2015), con un rendimiento estimado de 7.9 y 2.4 toneladas en condiciones de riego y temporal, respectivamente (FIRA, 2015). En el ciclo 2014, 80 % de la producción de grano de maíz se concentró en diez estados, principalmente en Sinaloa (15.8 %), Jalisco (14.9 %) y Michoacán (8.3 %). Además, 15 municipios aportaron 22.1 % del total de la

producción: Guasave, Ahome, Culiacán, Navolato, Sinaloa, Elota y Angostura de Sinaloa; Cuauhtémoc y Namiquipa de Chihuahua; La Barca y San Martín Hidalgo de Jalisco; Holpechén de Campeche; Durango de Durango; Vista Hermosa de Michoacán y Pénjamo de Guanajuato (FIRA, 2015).

De acuerdo con NCGA, el consumo nacional en 2016 fue de 34.3 millones de toneladas, de las cuales 64 % correspondieron a maíz blanco y 36 % a maíz amarillo. Dado que la producción de maíz amarillo fue menor que la demanda, hubo necesidad de importar este grano; en el año 2014 se importaron 10.3 millones de toneladas; el volumen de maíz más alto de la historia (FIRA, 2015). ASERCA (2016a) señala que México seguirá siendo el tercer país importador mayoritario, para alcanzar una participación de más de 30 % de las importaciones para el consumo interno 2015-2024; sin embargo, Turrent *et al.* (2016) mencionan que México cuenta con los recursos naturales, la tecnología agrícola y los recursos humanos necesarios para recuperar su soberanía alimentaria, especialmente en este cultivo que, por su origen, diversificación y arraigo sociocultural, debe ser rescatado y revalorado.

Asimismo, al reutilizar la riqueza genética disponible en el territorio nacional, es y será posible alimentar y nutrir mejor a los mexicanos, dado que su contribución a la seguridad alimentaria se dará mediante una ganancia en la calidad y cantidad de la alimentación familiar. De acuerdo con Agronegocios y Desarrollo Rural⁸, el maíz aporta de 43 a 55 % de la ingesta calórica y 22 % de la proteína diaria, teniendo un consumo *per cápita* anual de 134 kg por habitante⁹. Se ha reconocido que México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, en donde 94 % de la población la consume. Según Escalante¹⁰, el volumen de producción y consumo es de 12 millones de toneladas de tortilla al año; aproximadamente 110 kg anuales por persona u 11 tortillas diarias de 25 g que aportan 588.5 kilocalorías¹¹. Además de la tortilla, existe una gran variedad de platillos culinarios elaborados a base de granos de maíz, en donde por cada 100 g de grano se tienen 365 kilocalorías.

⁸ www.agroder.com Consultada 18 octubre de 2013

⁹ <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/07/22/impulso-las-actividades-red-maiz-mexico-i> Consultada 6 de abril de 2017

¹⁰ <http://rafagueta.blogspot.mx/2012/09/economia-de-la-tortilla.html> Escalante L. R. 20 de septiembre de 2012. Economía de la tortilla. Economía Mexicana. Consultada 3 de abril de 2017

¹¹ <http://erickestrada.com/gaicalorico.htm> Consultada 15 de abril de 2017

Aunque principalmente se ha reconocido que el maíz es una fuente de carbohidratos, dada su constitución química, también en él se pueden aprovechar diferentes tipos de almidón, aceite, proteínas, fibras, minerales (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn), aminoácidos (triptófano, treonina, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, tirosina y valina) y pigmentos naturales (antocianinas, carotenoides y flobafenos). Inclusive, en las tres últimas décadas, una serie de estudios científicos han mostrado que los fitoquímicos contenidos en los granos de maíz y otras estructuras de la planta, pueden ser útiles para mejorar la salud y nutrición humana; asimismo, se ha descrito que es posible obtener nuevos productos que pueden brindarle valor agregado al maíz y ser una herramienta que aporte a la reducción de la pobreza en el país (Serna *et al.*, 2013).

En México la industria demanda principalmente maíces blancos y amarillos; no obstante, dentro del germoplasma nativo, también existen importantes variantes de color azul, rojo, morado, púrpura o negro que son sobresalientes en el ámbito culinario, cultural, artesanal y religioso de la nación; y que deben su pigmentación a la presencia de antocianinas (Yang y Zhai, 2010; Mendoza, 2012), los cuales son flavonoides que cuando provienen de este cereal, tienen actividad antioxidante (Cuevas *et al.*, 2008), actividad antimicrobiana y capacidad antiproliferativa de células cancerígenas (Zhao *et al.*, 2009), así como efectos antiobesidad y de reducción y control de la hiperglucemia (Yang *et al.*, 2008).

Actualmente existe fuerte interés de la industria en los maíces pigmentados, por lo que partiendo del hecho de que México es centro de origen y diversidad genética del maíz, se realizó el presente estudio en poblaciones nativas de maíz pigmentado originarias de la comunidad de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, las cuales se conocen como “Maíces Morados” y que por su aspecto (coloración de grano) se sabe que acumulan y producen antocianinas; sin embargo, no se conoce con precisión cuánto pigmento pueden producir. Por lo anterior, se exploraron poblaciones nativas de dicha comunidad, con la finalidad de determinar su comportamiento agronómico y de rendimiento de grano, así como de valorar el potencial productivo de antocianinas en el olote, el grano completo y sus estructuras (pericarpio y capa de aleurona).

La expectativa fue identificar algunas poblaciones nativas con potencial genético para la obtención de poblaciones mejoradas (variedades sintéticas e híbridos) que sintetizen una

mayor cantidad de antocianinas, que en el futuro, además de ser aprovechados en la industria nacional como fuente de pigmentos naturales, pudieran incorporarse en la industria de los alimentos, y también que puedan ser utilizados en la industria nutracéutica, con mayor aprovechamiento.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Valorar el potencial de uso y aprovechamiento de los maíces morados de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, México, como fuente de pigmentos y de compuestos nutracéuticos, a través de la determinación del rendimiento de grano y del contenido de antocianinas totales en grano y olote.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el comportamiento agronómico de los maíces morados de San Juan Ixtenco, así como determinar su potencial de rendimiento y componentes.
- Cuantificar el contenido de antocianinas totales en el grano y sus estructuras (capa de aleurona y pericarpio), así como en el olote de maíces morados de Ixtenco, Tlaxcala.
- Determinar qué órgano o estructura del grano posee el mayor potencial productivo de antocianinas.
- Identificar entre los maíces morados de Ixtenco, a aquéllas poblaciones que tengan atributos deseables y amplia capacidad de aprovechamiento integral.

1.3. HIPÓTESIS

- Debido a su potencial para acumular antocianinas en grano y en olote, se considera que los maíces morados de Ixtenco son una fuente rica en este compuesto; sin embargo, el potencial de acumular antocianinas será mayor en algunas poblaciones de la diversidad genética explorada.
- La diversidad genética existente en los maíces morados de Ixtenco permitirá la identificación de poblaciones sobresalientes, con características de interés para los programas de mejoramiento genético de maíces pigmentados.

1.4. LITERATURA CITADA

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) (2016a) Perspectivas agrícolas 2015-2024: cereales. *Claridades Agropecuarias* 269:3-11.

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) (2016b) Garantizar la seguridad alimentaria...es una prioridad estratégica, a la que tenemos que responder con visión de futuro y sin poner en riesgo el planeta. *Claridades Agropecuarias* 272:3-6.

Amchova P., H. Kotolova and J. Ruda-Kucerova (2015) Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 73(3):914-922.

Bakowzka-Barezak A. (2005) Acylated anthocyanins, as stable natural food colorants. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 14/55(2):107-116.

Bhowmik D., H. Gopinath, B. P. Kumar, S. Duraivel and K. P. Sampath K. (2013) Nutraceutical- A bright scope and opportunity of Indian healthcare market. *The Pharma Innovation* 1:29-41.

Cazzuffi C., M. Pereira-López and I. Soloaga (2017) Local poverty reduction in Chile and Mexico: The role of food manufacturing growth. *Food Policy* 68:160-185.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2015) Medición de la pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010-2014. México: CONEVAL. http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2014.aspx

Cordera C. R. (2016a) El desarrollo ayer y hoy: idea y utopía. *ECONOMIAUNAM* 11(33):3-25.

Cordera C. R. (2016b) La pobreza en México: escenarios hacia el 2030. <http://www.rolandocordera.org.mx/>

Cuevas M. E., A. Antezana y P. Winterhalter (2008) Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz boliviano. Memorias Red-Alpha-Lagrotech. Comunidad Europea. Cartagena. pp: 79-95.

De la Parra C., C. O. Serna S. and R. Hai L. (2007) Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortilla and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:4177-4183.

Downham A. and P. Collins (2000) Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology* 35:5-22.

Eremektar G., H. Selcuk and S. Meric (2007) Investigation of the relation between COD and the toxicity in a textile finishing industry wastewater: Effect of preozonation. *Desalination* 211:314-320.

Escobedo-de la Peña J., L. V. Buitrón-Granados, J. C. Ramírez-Martínez, R. Chavira-Mejía, Herman Schargrotsky y B. Marcet Champagne. 2011. Diabetes en México. Estudio CARMELA. *Cirugía y Cirujanos* 79(5):424-432.

Escribano-Bailón M. T., C. Santos-Buelga and J. C. Rivas-Gonzalo (2004) Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A* 1054:129-141.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) (2015) Panorama agroalimentario: dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2015.pdf

Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) (2015) Estadísticas de producción mundial de maíz 1961-2013. <http://faostat.fao.org/>. (Julio de 2015).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017) Crop prospects and food situation. 1:1-39 <http://www.fao.org/3/a-i6903e.pdf>

Gutiérrez J.P., J. Rivera-Dommarco, T. Shamah-Levy, S. Villalpando-Hernández, A. Franco, L. Cuevas-Nasu, M. Romero-Martínez y M. Hernández-Ávila (2012) Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. México. http://ensanut.insp.mx/doctos/ENSANUT2012_Sint_Ejec-24oct.pdf

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.

Lobell D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon and R. L. Naylor (2008) Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607-610.

Mateus N. and V. de Freitas (2009) Anthocyanins as food colorants. *In: Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications*. K. Gould, K. Davies, C. Winefield (eds.) Ed. Springer. New York. EUA. pp: 283-298.

Mendoza M. C. G (2012) Las antocianinas del maíz: Su distribución en la planta y producción. Tesis de Maestría en Ciencias. Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 117p.

Nascimento B. M. (2016) Infectious diseases in the XXI century. *Acta Paulista de Enfermagem* 29(2): <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0194201600018>

National Corn Growers Association (NCGA) (2017) World of corn 2017. p. 12. www.ncga.com

OMS (World Health Organization) (2009) Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. World Health Organization Press. <http://www.who.int/healthinfo/>

Pandey M., R. K. Verma and S. A. Saraf (2010) Nutraceuticals: new era of medicine and health. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 3:11-15.

Population Reference Bureau (PRB) (2016) 2016 World Population Data Sheet: with a special focus on human needs and sustainable resources. <http://www.prb.org/pdf16/prb-wpds2016-web-2016.pdf>

Rivera D. J, A., M. Hernández A., C. A. Aguilar S., F. Vadillo O. y C. Murayama R. (2012) Síntesis Ejecutiva del libro *Obesidad en México: Recomendaciones para una política de Estado*. UNAM 1-17. <http://www.oda-alc.org/documentos/1365120227.pdf>

Robinson T., G. McMullan, R. Marchant and P. Nigam (2001) Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology* 77:247-255.

Rodríguez G. K. (2016) El análisis dinámico de la pobreza en México como nueva agenda de investigación: un estado de la cuestión como base para futuras indagaciones. *Revista Mexicana de Análisis Político y Administración Pública* 5(2):29-52.

Rubio B. (2009) El impacto de la crisis alimentaria en las mujeres rurales de bajos ingresos en México 2008-2009. Red Nacional de Promotoras y Asesoras. 134 p.

Serna-Saldívar S. O., J. A. Gutiérrez-Urbe, S. Mora-Rochin y S. García-Lara (2013) Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3):295-304.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2015) Consultado 2017 <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

Shoji Y. and H. Nakashima (2004) Nutraceuticals and delivery systems. *Journal of Drug Targetting* 12(6):385-391.

Soto H. H. M. P. (2014) Efecto antibacteriano y antifúngico comparativo de los extractos acuosos del *Zea mays* L. (maíz morado), *Rubus glaucus* (mora andina), *Opuntia soherensii* (ayrampo) y diseño de un gel de limpieza cutánea. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. E. A. P. de Farmacia y Bioquímica. Tesis Profesional de Químico Farmacéutico. Lima, Perú. 89 p.

Tadeo R. M., A. Espinosa C. y A. Turrent F. (2015) El maíz en México, variedades nativas y mejoradas presente y perspectivas hacia el futuro: El maíz en la cultura universal. *Claridades Agropecuarias* 265:66-69.

Tafoya A. y F. García H. M. (2013) Colorantes. *In: Biotecnología Alimentaria*. García G. M., R. Quintero R., A. López-Munguía C. (comps.) Editorial LIMUSA, S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 479-518 p.

Turrent-Fernández A., J. I. Cortés-Flores, A. Espinosa-Calderón., C. Turrent-Thompson y H. Mejía-Andrade. (2016) Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(7):1727-1739.

Urquía-Fernández N. (2014) La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México* 56(1):S92-S98.

Vázquez Z. V. (2015) Crisis alimentaria y sus implicaciones en la salud y el ambiente. *Razón y Palabra* 20(3-94):587-601.

Yang Z and W. Zhai (2010) Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:169-176.

Yang Z., G. Fan, Z. Gu, Y. Han and Z. Chen (2008) Optimization extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob using tristimulus colorimetry. *European Food Research and Technology* 227:409-415.

Zárate H. M. (2012) Manual de procedimientos estandarizados para la vigilancia epidemiológica de Diabetes mellitus tipo 2. Secretaria de Salud. México. 78 p.
https://epidemiologiatlax.files.wordpress.com/2013/08/10_2012_manual_diabetes-m2.pdf

Zhao X., C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher and X. Hu (2009) Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *European Food Research and Technology* 228:759-765.

Zollinger H. (1987) Colour chemistry-synthesis, properties of organic dyes and pigments. VCH Publishers, New York. pp. 92-100.

CAPÍTULO II

VALORACIÓN AGRONÓMICA Y DE RENDIMIENTO DE GRANO DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA

2.1. RESUMEN

El maíz pigmentado es un cultivo con gran potencial para la extracción de antocianinas, las cuales en las últimas décadas se han convertido en un metabolito de amplio interés, dadas sus propiedades bioactivas y su capacidad de actuar como colorante natural. En México, se han encontrado entre los maíces pigmentados nativos una gran cantidad de variantes de granos de color que acumulan a este flavonoide, pudiendo ser azul, rojo, rosa, morado o negro; sin embargo, poco se ha estudiado su rendimiento y características agronómicas. Dado que San Juan Ixtenco, Tlaxcala, preserva a los “maíces morados” y a otras variantes de maíces de color, se analizó el potencial de rendimiento y comportamiento agronómico de 53 poblaciones nativas y premejoradas (en su mayoría pigmentadas). Se encontró que las poblaciones de maíz tienen un rendimiento entre 4494 a 882 kg ha⁻¹, son de ciclo tardío y que, en condiciones ambientales distintas a las de su localidad de origen, sufren problemas de adaptación, así como complicaciones para el establecimiento e incidencia de enfermedades en la mazorca, lo que reduce su potencial de rendimiento. No obstante dicha problemática, se identificaron poblaciones nativas de maíz morado sobresalientes que fueron: 38, 8, 34, 39, 13, 3, 4, 1, 9 y 18. Además, la evaluación de 18 poblaciones nativas de maíz morado en su versión original y en su versión con selección, mostró que en determinadas condiciones ambientales y en algunas poblaciones, un efecto positivo de la selección fue el incremento del rendimiento desde 2 hasta 2046 kg ha⁻¹.

Palabras clave: Maíz morado, poblaciones nativas, rendimiento, comportamiento agronómico, selección, San Juan Ixtenco, Tlaxcala.

2.2. ABSTRACT

Pigmented maize variants (corn) have an enormous potential to be used as a source of anthocyanins. During the last decades, anthocyanins had turned into a secondary metabolite of wide interest, since their ability to act as natural colorant and also due to their bioactive properties. In Mexico, among the native pigmented maize, a lot of variants of grain colors that accumulate this flavonoid have been found, being blue, red, pink, purple or black; however, little has been studied about its grain yield and agronomical characteristics. As San Juan Ixtenco, Tlaxcala, is a location where peasants preserve the “maices morados” (purple maize) and other variants of colored maize, the grain yield potential and agronomical behavior of 53 populations of native origin and with certain degree of improvement (most of them pigmented) were analyzed. It was found that maize populations' grain yield was between 4494 and 882 kg ha⁻¹, they had a late flowering period, and displayed difficulty to get adapted to environments that were different to the environmental conditions of their place of origin, as well, they exhibited complications for the establishment and incidence of ear rot, which reduced their grain yield potential. In spite of this situation, outstanding purple maize native populations were identified: 38, 8, 34, 39, 13, 3, 4, 1, 9 and 18. Also, the evaluation of an original version and a version with selection of 18 purple maize native populations, showed that some populations grown under specific environmental conditions, responded positively to selection. The increase of grain yield was from 2 to 2046 kg ha⁻¹.

Keywords: purple corn, native populations, grain yield, agronomical behavior, selection, San Juan Ixtenco, Tlaxcala.

2.3. INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo nativo de Mesoamérica que se originó en cinco regiones (cuatro están localizadas en territorio actual mexicano y una en Guatemala), a partir de poblaciones de su ancestro, el teocintle, que poblaba esas regiones hace aproximadamente entre 8000 y 9000 años. Dicho cereal se domesticó y diversificó por distintas etnias, posiblemente aún cazadoras, que habitaban en estrecha convivencia con el teocintle (McClintock, *et al.*, 1981; Kato, 1984; Kato *et al.*, 2009).

En gran medida la evolución del maíz ha sido el resultado de las prácticas sociales, económicas, culturales y religiosas que reflejan la cosmovisión y forma de vida de los pueblos indígenas (Boege, 2010; Hellin *et al.*, 2010; Álvarez y Piñeyro, 2013), inclusive, en países donde los maíces fueron introducidos, sus habitantes los adaptaron y generaron nuevas formas (Zheng *et al.*, 2013), lo cual sí es posible que suceda ya que la diversificación también se presenta en áreas donde no existen los parientes silvestres de la especie en cuestión (Boege, 2009).

En México, la diversidad genética del maíz está representada y resguardada dentro de 59 a 62 razas y en todas sus variantes (Esteva y Marielle, 2003; Kato *et al.*, 2009; Preciado y Montes, 2011) así como en su ancestro el teocintle (Sánchez y Ordaz, 1987; Sánchez *et al.*, 1998; Lorant *et al.*, 2017). Los maíces nativos son principalmente conservados por los productores del medio rural, aunque también existe un importante esfuerzo de los bancos de germoplasma y diversas instituciones por realizar colectas, conservar, estudiar y usar el germoplasma nativo (García, 2013). Aun cuando se reconoce la importancia de la preservación de los maíces nativos, también es una realidad que los agricultores están dejando de sembrar algunas variantes valiosas, debido al uso de germoplasma mejorado, a la sustitución del maíz por otros cultivos, al abandono del campo, la pérdida de memoria biocultural, el uso de transgénicos y el cambio climático; no obstante, el estudio, conservación y uso de esta diversidad es y será por mucho tiempo de gran interés científico y económico (Ortega *et al.*, 1991, Fernández *et al.*, 2013) pues el maíz ha ayudado a que el mexicano sea saludable, rico y sabio (Elting y Folsom, 1967), lo que no solo es motivo de orgullo nacional sino que también implica una gran responsabilidad de hacer frente al acelerado proceso de erosión genética que se ha experimentado y que deberían considerar los teóricos y

políticos neoliberales que fomentan la idea de que el maíz debe ser sustituido por “cultivos más rentables”.

A nivel global, en los programas de mejoramiento genético se ha aplicado selección o hibridación como herramientas para obtener variedades sintéticas, híbridos y líneas que generen plantas de maíz con atributos agronómicos deseables, entre los que ha destacado el rendimiento y sus componentes, la resistencia a enfermedades, al acame, etc., y básicamente ha sido el grano de maíz blanco el color más trabajado. En México, el mejoramiento fitogenético moderno de maíz solamente ha aprovechado alrededor de 10 del total de las razas nativas (Boege, 2008).

En contraste, en el mejoramiento genético tradicional el agricultor selecciona las semillas más aptas, con base en su resistencia a enfermedades, productividad y características deseables en los productos finales, como sabor, color, textura y facilidad de cocción, entre otras (Lazos y Chauvet, 2012) y recientemente, dado el reconocimiento y la revaloración de que algunas semillas de especies nativas poseen atributos alimenticios y nutraceuticos de importancia, algunos fitomejoradores han comenzado a poner mayor énfasis en el desarrollo de variedades con composición química nutrimental diferenciada y con alta concentración de compuestos nutraceuticos (Serna *et al.*, 2013).

Durante siglos los agricultores mexicanos han seleccionado gran parte del maíz que consume la población, considerando atributos como sabor, aroma y textura integrados en diferentes productos, lo cual ha originado una amplia gama de maíces especiales, dada su utilidad particular, culinaria u ornamental (Figueroa *et al.*, 2013). Los maíces especiales poseen alto valor agregado, puesto que presentan características de calidad que aumentan el beneficio para el usuario, entre éstos se encuentran (Layrisse *et al.*, 2000; Hallauer, 2001; Rooney y Serna-Saldívar, 2003; Turrent *et al.*, 2009; Valadez *et al.*, 2011; Aragón *et al.*, 2012): el maíz pigmentado, el maíz blanco, el maíz de endospermo duro para la industria de la molienda seca (para producir botanas, por sus propiedades de baja absorción de agua y aceite), el maíz palomero, el maíz de endospermo semiduro (para la industria de las harinas nixtamalizadas para tortillas), los maíces con alto porcentaje de germen (incrementan el rendimiento de aceite y reducen el uso de este ingrediente en los alimentos balanceados), los maíces con alto contenido de aceite (para harinas con menor retrogradación), el maíz con alto contenido de

almidón, el maíz de bajo contenido de fitatos, el maíz con bajo porcentaje de fisuras internas (para secado a temperaturas bajas), el maíz no transgénico (para uso en productos alimenticios de exportación), el maíz nutricionalmente acrecentado con alto contenido de proteína, el maíz orgánico libre de plaguicidas después de la cosecha, el maíz ceroso que solo contiene amilopectina en el endospermo; el maíz dulce, el maíz pinolero, el maíz para la obtención de hojas para tamal, el maíz para la producción de cuitlacoche o huitlacoche (*Ustilago maydis* (Persoon) Roussel), entre otros. Asimismo, se ha reportado una correlación estricta entre la raza de maíz y el tipo de preparación culinaria, como el caso de maíces de la raza Bolita que son idóneos para elaborar tlayudas y téjate; de la raza Cacahuacintle para preparar pozole; de la raza Harinoso de Ocho para elaborar coricos; de la raza Bofo para hacer huacholes; de la raza Zapalote Chico para elaborar el totopo istmeño; de la raza Apachito para hacer pinole, elotes, atoles, tortillas y tesgüino; o de las razas mestiza-prehistóricas como Cónico y Tuxpeño que poseen buena calidad tortillera (Mauricio *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2013; Figueroa *et al.*, 2013).

Puesto que la composición del grano y sus características externas tienen gran impacto en la elaboración de múltiples productos a base de maíz, es imprescindible el estudio de las características físicas, químicas, térmicas y de calidad nixtamalera, así como su relación con el uso final, para identificar a aquellos maíces que posean los atributos que la industria requiere para la producción de una diversa gama de productos y subproductos, de modo que ésta se encuentre dispuesta a pagar un sobreprecio por la especificidad de dichos maíces (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013). En especial, la industria alimentaria del maíz sobresale sobre la textil, química y cosmetológica dado que existen tantas maneras de elaborar productos alimenticios como la variabilidad genética del maíz lo permita.

A pesar de la trascendencia del maíz y de que en México existen no menos de 700 formas de comerlo y de que en EUA se comercializan más de 1200 productos que incluyen uno o más ingredientes derivados del maíz, solamente 5 % o menos de la producción total se comercializa como un tipo de maíz especial; sin embargo, los usos alternativos del maíz pueden ser producidos en mayores cantidades, lo que tendría

grandes implicaciones en la economía global y para los pequeños productores (Hallauer, 2001).

En México, recientemente el estado de Tlaxcala ha sobresalido por el uso y preservación de los maíces especiales, ya que aunque existen agricultores que anhelan tener la imagen idílica de los productores sinaloenses, principalmente impulsados por la Secretaría de Fomento Agropecuario de Tlaxcala (SEFOA) que incita al uso de maíces híbridos a través de MASAGRO, culturalmente un importante sector de los agricultores conservan la riqueza de los maíces nativos (Lazos, 2014), principalmente los indígenas nahuas y otomíes, establecidos alrededor de la montaña La Malinche (Hernández, 2014). Desde finales del siglo XX, la población tlaxcalteca (los guardianes del maíz) ha desarrollado iniciativas para promover la agrobiodiversidad, tales como la “Ley de fomento y protección al maíz como patrimonio originario, en diversificación constante y alimentario, para el estado de Tlaxcala” y las “Ferias del Maíz”. La primera fue aprobada el 13 de enero de 2011 y fue la primera ley mexicana que protege a los maíces nativos de la contaminación con maíz transgénico, además de impulsar el desarrollo sustentable de los maíces nativos a partir del establecimiento de mecanismos de protección de éstos para continuar su proceso de diversificación biológica, así como aumentar su productividad y competitividad; dicho desarrollo se encuentra a cargo de los productores y comunidades que descienden de aquéllos que originalmente han cultivado en el estado (PIDAASSA, 2011), mientras que las ferias surgieron en 1994 cuando se detectó que se estaban perdiendo las variedades de maíz y que en las tiendas de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) los maíces de color no eran apreciados, pues para poder vender los excedentes de su producción, los campesinos tuvieron que optar por el monocultivo y la siembra de una sola variedad, por lo que se propuso hacer una feria de semillas de maíz con el fin de preservar y manejar las semillas nativas, venderlas a un precio justo (pagando calidad y vistosidad del grano) y para que los visitantes pudieran percatarse del gran empobrecimiento de la vida de las comunidades tlaxcaltecas y de México, si es que se llegaran a perder tanto los granos nativos como la

cultura agrícola y culinaria¹². Dentro de la diversidad de maíces del estado de Tlaxcala, se han identificado las razas Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos como razas primarias y ocho secundarias que son Chalqueño x Bolita, Chalqueño x Cacahuacintle, Chalqueño x Cónico, Cónico x Elotes Cónicos, Cónico x Cacahuacintle, Cónico x Bolita, Cónico x Chalqueño y Cónico x Pepitilla; asimismo, se preserva el maíz Arrocillo, el maíz var. tunicada (maíz ajo, nombre local) y el maíz morado (Sangerman *et al.*, 2013; Hernández, 2014).

San Juan Ixtenco, municipio localizado al suroeste del estado de Tlaxcala (18 ° 15 ' 02 " LN y 97 ° 53 ' 38 " LO), sobresale por la riqueza de variedades de semillas de maíz que cultiva; se estima que de las 12 variedades más abundantes en la entidad, allí se preservan entre 5 y 6 variedades (Ortiz y Espinoza, 2013); también alberga cerca de 11 % del total de las variedades de México (Boege, 2008) y los granos que se producen son de color azul, azul claro, rojo, rosa, morado, "gatito rojo" (pintos), crema, amarillo, blanco, trigueño, "rabo morado" y "rabo colorado" (Aparicio, 2013); los campesinos los identifican como maíz morado, maíz azul de hoja crema, maíz azul de hoja morada, maíz amarillo, Cacahuacintle de hoja crema, Cacahuacintle de hoja morada, maíz trigueño, maíz xocoyul, maíz ancho y maíz blanco criollo (Lazos, 2014). En general se cultivan dos o tres tipos de maíz en una parcela y muy pocos llegan a los diez materiales, son los campesinos que tienen poca tierra los que siembran maíces de colores (PIDAASSA, 2011) y habitualmente disponen de más de una variedad nativa adaptada a su parcela (Aceves *et al.*, 2002). En 2010, un estudio de CONABIO reportó que los maíces de Ixtenco pertenecen a las razas Cónico (62.2 %), Chalqueño (18.9 %), Elotes cónicos (16.1 %) y Cacahuacintle (2.8 %).

Los motivos por los cuales los agricultores de esta comunidad conservan tal diversidad de maíces nativos son múltiples, y van desde los distintos usos del grano hasta detalles como el color del grano que influye en la siembra de una variedad; por ejemplo, las familias reportan distintos usos para la elaboración de platillos como pinole, atoles, tamales, tortillas, tlaxcales, etc.; el atole de xocoyul, famoso tanto por su característico

¹² <http://viaorganica.org/ferias-del-maiz/> Lorena Paz Paredes. Ferias del Maíz. La Jornada del Campo 23: Tlaxcala. Consultada 2 de marzo de 2017

color rosado como por su sabor, compite con atoles morados y azules, el maíz Cacahuacintle se destina para pozole y atole, pero las tortillas se hacen principalmente con maíces blanco, trigüeño y azul. En contraste, el maíz amarillo es sembrado principalmente con el fin de tener alimento para el ganado, aunque también se usa para elaborar remedios naturales; en la localidad los maíces morados se emplean para elaborar el “atole agrio” así como colorante natural, y se estima que de un gramo de “cutícula” de este maíz se pueden teñir 100 L de agua. Los diversos colores de grano son la materia prima para la elaboración de artesanías como cuadros, tapetes, marcos para portadas de iglesia, collares, pulseras y aretes, también estos productos se fabrican combinando maíz con semillas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), frijol, lenteja (*Lens culinaris* Medik.), amaranto (*Amaranthus spp.* L.), ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), totomoxtles de la mazorca, olotos y tallos (Bellon *et al.*, 2005; Martínez, 2008; PIDAASSA, 2011; Aparicio, 2013; Ortiz y Espinoza, 2013; Sánchez y Barrela-Bassols, 2013; Hernández, 2014; Lazos, 2014).

La diversidad de variantes de maíz se conserva porque su selección puede hacerse de semillas obtenidas de la cosecha anterior y escogidas de acuerdo a los gustos; por ejemplo, los campesinos varones prefieren el maíz con mayor rendimiento, resistente al acame y que se adapte a ciertas altitudes y tipos de suelo, mientras que las mujeres priorizan la siembra de granos de color, con el sabor más agradable al gusto y a la tradición culinaria de sus comunidades y familias. También, pueden ser semillas que entran en un circuito de intercambio familiar, semillas que tienen un precio menor al de los híbridos, semillas más resistentes a sequía o a plagas (Espinoza, 2013; Lazos, 2014; Casiano, 2015).

En el caso de los maíces morados que localmente se cultivan en 1 % de la superficie destinada a producir maíz (9 000 hectáreas) y se utilizan para la obtención de harina para atole, así como para la elaboración de artesanías y platillos regionales (Aparicio, 2013), recientemente también son de interés para los investigadores del maíz e inclusive para la industria de colorantes naturales, pues se les ha considerado como un recurso fitogenético con gran potencial de aprovechamiento, ya que acumulan y sintetizan antocianinas (pigmento que les confiere dicho color), por lo que se considera factible utilizarlos como materia prima, ingrediente o compuesto bioactivo en productos derivados

de diversas industrias, tales como la alimenticia, farmacéutica, nutracéutica y textil. Inclusive, en años recientes se incentivó la producción del maíz azul en la región para su comercialización como materia prima para una fábrica de colorantes; sin embargo, la empresa desapareció, lo que ocasionó problemas para comercializar el grano de maíz azul producido (Lazos, 2014).

A pesar de esta mala experiencia, queda claro que los maíces pigmentados tienen demanda en el mercado y hay proyecciones positivas sobre el aprovechamiento de éstos a nivel nacional e internacional; además, éste es un momento clave para incidir en las políticas gubernamentales que durante más de medio siglo han desalentado el cultivo de maíces de colores de grano diferentes al blanco (Sangerman *et al.*, 2013), lo cual puede ser logrado mediante la revaloración de la calidad y propiedades bioactivas que poseen estos maíces especiales, para lo que en primera instancia, es necesario conocer y explorar su diversidad genética considerando su potencial de rendimiento y características agronómicas y de producción de antocianinas.

Bajo estas circunstancias, en la presente investigación se estudió el comportamiento agronómico y de rendimiento de grano de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, en su mayoría originarias de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, en tres localidades de los Valles Altos de México, con el fin de explorarlas y valorarlas desde estos puntos de vista, necesarios para proyectar el potencial de aprovechamiento de dichas poblaciones. Además, se identificó a aquellas poblaciones con atributos deseables y con amplio potencial de aprovechamiento en el Programa de Mejoramiento de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados.

Asimismo, en 2014 se hizo una evaluación de solamente 18 poblaciones, distinguidas por ser nativas y de color de grano morado, en dicha evaluación se incluyeron dos ciclos contrastantes: el primero fue su versión original; es decir, se estableció el experimento con la semilla colectada, mientras que el segundo, denominado ciclo con selección, se obtuvo al realizar prácticas de selección de plantas sanas, precoces y con arquetipo deseable durante el proceso de incremento de semilla de la población original, en el ciclo agrícola 2013; la finalidad fue comparar y determinar si hubo algún cambio en las variables evaluadas a consecuencia de la selección, así como el análisis de los cambios ocurridos en cada uno de los tres ambientes de evaluación.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Material genético

En los ciclos primavera-verano (P-V) de 2013 y 2014 se establecieron uno y dos ensayos, correspondientemente, en tres ambientes: en el Campo Agrícola Experimental Montecillo del Colegio de Postgraduados (CP) en Texcoco, Edo. de México, y en dos localidades ubicadas en el municipio de San Juan Ixtenco, Tlaxcala: Cañada y Pueblo. Se evaluó un total de 53 poblaciones de maíz, de las cuales 37 fueron de color de grano morado, 4 de grano azul, 7 de grano blanco de la raza Cacahuacintle (con olote morado), 1 de grano blanco, 1 de grano rojo (Rojo pinolero), 1 de grano rosa, 1 de grano amarillo y 1 de grano trigueño (Cuadro 1). La mayoría de las poblaciones fueron nativas del municipio (41 poblaciones) y 12 fueron poblaciones con algún nivel de mejoramiento genético (poblaciones 19-21, 26, 37, 42-46 y 52-53, Cuadro 1), identificadas como poblaciones premejoradas. Cada población colectada estuvo representada por 30 mazorcas o por 3 kg de semilla, las cuales fueron aportadas por productores de la Comunidad o adquiridas en la Feria del Maíz, y en el caso de las poblaciones premejoradas, por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados.

Del grupo de poblaciones estudiadas, en 2014 se evaluaron 18, tanto en su versión original como en su versión mejorada, la cual fue el resultado de realizar en las poblaciones originales, prácticas de selección durante el ciclo agrícola de 2013, usando como criterios de selección el rendimiento de grano alto, plantas sanas, precoces, sin acame, de altura de planta y mazorca bajas, con mazorcas grandes y sin pudrición, pero con alta frecuencia de mazorcas con pigmentación intensa en grano y olote.

Cuadro 1. Material genético establecido en el ciclo P-V 2013 y 2014 para evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento de grano de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento.

No.	Población	CGr	Origen	No.	Población	CGr	Origen
<i>Poblaciones Nativas</i>							
1	Mor-1	Morado	Ixt-12	25	Az-3	Azul	Ixt-12
2	Mor-2	Morado	Ixt-12	27	Ros	Rosa	Ixt-12
3	Mor-3	Morado	Ixt-12	28	Am	Amarillo	Ixt-12
4	Mor-4	Morado	Ixt-12	29	Trigñ	Trigueño	Ixt-12
5	Mor-5	Morado	Ixt-12	30	Bco	Blanco	Ixt-12
6	Mor-6	Morado	Ixt-12	31	Mor-20	Morado	Ixt-13
7	Mor-7	Morado	Ixt-12	32	Mor-26	Morado	Ixt-13
8	Mor-8	Morado	Ixt-12	33	Mor-25	Morado	Ixt-12
9	Mor-9	Morado	Ixt-12	34	Mor-28	Morado	Ixt-13
10	Mor-10	Morado	Ixt-12	35	Mor-21	Morado	Ixt-13
11	Mor-11	Morado	Ixt-12	36	Mor-23	Morado	Ixt-13
12	Mor-12	Morado	Ixt-12	38	Mor-22	Morado	Ixt-13
13	Mor-13	Morado	Ixt-12	39	Mor-27	Morado	Ixt-13
14	Mor-14	Morado	Ixt-12	40	Mor-29	Morado	Ixt-12
15	Mor-15	Morado	Ixt-12	41	Mor-24	Morado	Ixt-13
16	Mor-16	Morado	Ixt-12	47	Cac-olomor	Blanco	Mt-13
17	MorAz-17	Morado	Ixt-12	48	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
18	Mor-mix	Morado	Ixt-12	49	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
22	Mor-22	Morado	Ixt-12	50	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
23	Az-1	Azul	Ixt-12	51	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
24	Az-2	Azul	Ixt-12				
<i>Poblaciones Premejoradas</i>							
19	Mor-ancho	Morado	Mt-11	43	Mor-bordo	Morado	STez-13
20	Mor-20	Morado	Mt-11	44	Comp. Mor-SMC ₁	Morado	Mt-13
21	Mor-21	Morado	Mt-11	45	Mor-Altecsa	Morado	SLor-13
26	Rojo-p SMC ₃	Rojo	Mix-12	46	Comp. Az-SMC ₁	Azul	Mt-13
37	Mor-Oax	Morado	Mt-12	52	Cac MMR	Blanco	STez-13
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	Morado	STez-13	53	Cruza Cac	Blanco	STez-13

No. = Número de identificación de la población; CGr = Color de grano; Ixt = San Juan Ixtenco, Tlaxcala; Mt= Montecillo, Edo. de México; Mix = Mixquiahuala, Hidalgo; SLor = San Lorenzo, Tlaxcala y STez = San Juan Tezontla, Edo. de México.

2.4.2. Diseño y manejo experimental

Las poblaciones se establecieron bajo el diseño experimental de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. El tamaño de parcela experimental consistió de dos surcos

de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos, con una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹. En CP se sembró en Montecillo, ubicado a 2250 msnm y el primer riego se dio después de la siembra; se aplicó la dosis de fertilización 120-80-00, que es la recomendada para la región agrícola de Valles Altos, se esparció la mitad de nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto durante el segundo aporque; el cultivo se mantuvo sin restricciones de humedad durante todo el ciclo, mediante la aplicación del riego cuando la precipitación fue insuficiente. En contraste, en las dos localidades de Tlaxcala (Cañada y Pueblo), las poblaciones se establecieron en condiciones de temporal y sin fertilización.

2.4.3. Comportamiento agronómico y rendimiento de grano

Para evaluar el comportamiento agronómico de las poblaciones bajo estudio, así como su rendimiento de grano y componentes se registraron las siguientes variables, clasificadas en cuatro tipos:

a) Fenológicas

Días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF). Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que 50 + 1 % de las plantas de la parcela iniciaron la liberación de polen y la exposición de estigmas, respectivamente.

Asincronía floral (AsF). Se obtuvo de la diferencia entre DFM y DFF.

b) Variables agronómicas

Altura de planta (Apta). Fueron medidas cinco plantas con competencia completa por cada repetición, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera, la unidad de medición fue en centímetros (cm).

Altura de mazorca (Amz). En las mismas plantas utilizadas para obtener Apta, se midió Amz, la cual se obtuvo a partir del nivel del suelo hasta el nudo de la inserción de la mazorca principal, en cm.

Posición de la mazorca (Posmz). Se obtuvo de la relación entre Amz y Apta.

Sanidad de mazorca (Smz). En cada parcela, al conjunto de mazorcas cosechadas se le otorgó calificación, desde 1 hasta 5, en función de la proporción de daño causado por enfermedad (pudrición de mazorca). La escala de calificación utilizada fue la escala modificada por De León y Pandey (1989), donde: 1 = 0 a 20 %; 2 = 21 a 40 %; 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 % y 5 = 81 a 100 % de granos podridos en la mazorca. También se

registró el número de mazorcas correspondientes a cada nivel de calificación. Posteriormente, se obtuvo la media ponderada de sanidad en cada unidad experimental, con la fórmula utilizada por Briones (2013):

$$\text{Media ponderada} = \frac{[(X_1 \cdot Y_1) + (X_2 \cdot Y_2) + (X_3 \cdot Y_3) + (X_4 \cdot Y_4) + (X_5 \cdot Y_5)]}{T}$$

donde: X_i = Número de mazorcas en cada categoría de la escala; Y_i = valor de la escala; $T = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5)$ = número total de mazorcas en cada unidad experimental.

c) Rendimiento y sus componentes

Rendimiento de grano (Rto). El rendimiento de grano por parcela se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Rto}_{UE} = \frac{[(Pmz_{UE})(Id)(100 - \%Hum)] / 100}{0.86}$$

donde: Rto_{UE} = Rendimiento por unidad experimental; Pmz = Peso de mazorca por unidad experimental; Id = Índice de desgrane; $\%Hum$ = Porcentaje de humedad de la muestra de grano en campo y 0.86 = Factor de corrección para ajustar la humedad del grano a 14 %. Posteriormente, con el tamaño de parcela (8.0 m^2) se estimó el rendimiento de grano en kg ha^{-1} .

Variables morfológicas. Se utilizaron 5 mazorcas primarias representativas de cada población para registrar:

En la mazorca:

Longitud de mazorca (Lmz). Se tomó de la base a la punta de la mazorca, en cm.

Diámetro de mazorca (Dmz). Se midió en la parte central de la mazorca, en cm.

Diámetro de olote (Dolo). Se midió en la parte central del olote, en cm.

Peso de mazorca (Pmz). Se obtuvo al promediar el peso de cinco mazorcas primarias representativas de cada unidad experimental, en g.

Peso de grano por mazorca (Pgr). Se obtuvo al promediar el peso del grano de cinco mazorcas primarias representativas de la unidad experimental, en g.

Peso de olote (Polo). Se derivó de la diferencia entre Pmz y Pgr , en g.

En el grano:

Profundidad de grano (Pfg). Se obtuvo de restar al Dmz el $Dolo$ y dividirlo entre dos, en cm.

Número de hileras (Nhil). Se contaron las hileras de granos en la parte central de cada una de las mazorcas.

Granos por hilera (Ghil). Se contó el número de granos por hilera de cada una de las mazorcas.

Peso individual de grano (PIG). Se pesaron 100 granos por cada repetición, y posteriormente se obtuvo el peso individual de grano en mg.

Número de granos por mazorca (Grmz). Se obtuvo al multiplicar Nhil por Ghil.

d) Fisiotécnicas

Índice de desgrane (Id). Se obtuvo al calcular la relación entre el Pgr y Pmz: $Id = \frac{Pgr*100}{Pmz}$

2.4.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 (SAS, 2009), realizando el análisis de varianza combinado con el diseño de Bloques Completos al Azar, así como la comparación de medias correspondiente con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Exploración y valoración de 53 poblaciones

2.5.1.1. Análisis de Varianza

El análisis de varianza combinado realizado para los grupos de variables fenológicas (3), agronómicas (4), fisiotécnicas (1) y de rendimiento y sus componentes (12), indicó que hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) entre poblaciones (Pob) para todas las variables evaluadas y, en la mayoría de las variables entre ambientes (Amb), como se muestra en el Cuadro 2; asimismo, la interacción PobxAmb fue significativa, lo que indicó que las poblaciones no tuvieron la misma tendencia en los diferentes ambientes, con excepción de número de hileras (Nhil), número de granos por hilera (Ghil) y diámetro de olote (Dolo) (Cuadro 2 y Cuadro 1A, ver apéndice).

El coeficiente de variación tuvo una amplitud entre 2.2 y 39.1 %, siendo el valor superior correspondiente al rendimiento de grano (Rto), lo cual se atribuye principalmente a la interacción PobxAmb y a la variabilidad genética de las poblaciones evaluadas.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.

FV	GL	Rto	Lmz	Dmz	Pmz	Nhil	Ghil	DFM	DFF	Apta	Smz	Id
<i>Variables</i>	<i>Rendimiento y sus componentes</i>						<i>Fenológicas</i>		<i>Agronómicas</i>		<i>Fisiotécnica</i>	
Ambiente	2	3.2x10 ⁷ **	68.2**	0.348 _{ns}	686.4 _{ns}	39.9 _{ns}	345.9**	10907.7**	11198.5**	634297**	268.26**	198.7**
Rep (Amb)	9	2.9x10 ⁶ *	2.3 _{ns}	0.519**	1078.5 _{ns}	9.4**	15.6 _{ns}	155.7**	223.6**	867**	1.87**	15.3**
Población	52	3.7x10 ⁶ **	5.4**	0.491**	2451.1**	11.4**	22.6**	107.2**	124.6**	1491**	0.76**	21.9**
PobxAmb	104	2.7x10 ⁶ **	2.5*	0.169**	1165.8**	2.0 _{ns}	13.0 _{ns}	29.2**	42.2**	643**	0.40**	5.6**
Error	601 [¶]	1.3x10 ⁶	1.9	0.112	721.8	1.7	9.3	12.8	16.6	282	0.2	4
CV (%)		39.1	11.6	6.8	23.3	8.8	14.3	3.8	4.1	7.4	20	2.2

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; Rto = Rendimiento de grano; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso de mazorca; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; Smz = Sanidad de mazorca; Id = Índice de desgrane; ** = P ≤ 0.01; * = P ≤ 0.05; ns = No significativo; [¶]GL del error para Apta y Smz = 665, para DFM, DFF = 666, para Rto = 594 y para Id = 616.

2.5.1.2. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de grano (Rto) de las 53 poblaciones bajo estudio fluctuó entre 4494 y 882 kg ha⁻¹ (poblaciones 53 y 20, respectivamente); sin embargo, al analizar esta variable considerando la diversidad de las poblaciones y agrupándolas como nativas de maíz morado de Ixtenco (PNatMor), otras nativas de Ixtenco (PNat) y premejoradas (PPrem), se encontró que 29 PNatMor (poblaciones 1-18, 22 y 31-41) tuvieron en promedio un Rto de 2939 kg ha⁻¹; asimismo, en 12 PNat (poblaciones 23-25, 27-30 y 47-51) fue de 3070 kg ha⁻¹ y en 12 PPre (poblaciones 19-21, 26, 37, 42-46 y 52-53) de 2862 kg ha⁻¹ (Cuadro 3), teniendo una diferencia de solamente 208 kg entre el Rto promedio superior e inferior en estos agrupamientos. Aunque el rendimiento reportado de las poblaciones no es mayor al de los genotipos comerciales (principalmente de grano blanco y amarillo), las poblaciones evaluadas tuvieron Rto superior a 2300 kg ha⁻¹, que es el rendimiento promedio de maíz en el estado de Tlaxcala (Hernández, 2014) y también tuvieron Rto similar (3000 kg ha⁻¹) al de los ejidos de San Juan Ixtenco (Aparicio, 2013). Asimismo, las diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) reportadas para Rto se relacionaron en gran medida con la variabilidad genética de las poblaciones, los ambientes de estudio y la interacción PobxAmb.

Entre las poblaciones, el Rto superior correspondió a la población 53, que es un cruzamiento intervarietal de maíz Cacahuacintle que tiene un progenitor premejorado (población 52) y que dado el proceso de hibridación ha incrementado su rendimiento; también la población 37 que es de grano morado y originaria de Oaxaca, tuvo Rto sobresaliente (4271 kg ha⁻¹), probablemente debido a que ésta también ya ha sido mejorada mediante selección masal estratificada; otras poblaciones con rendimiento superior a 3000 kg ha⁻¹ fueron: 26, 29-30, 42, 46, 48 y 49, que incluyen PPre y PNat (Cuadro 2A, ver apéndice). Las 10 PNatMor con el rendimiento más alto (estadísticamente iguales) tuvieron entre 3737 y 3025 kg ha⁻¹ (poblaciones 38, 34, 39, 8, 13, 3, 36, 9, 4 y 18) ; en contraste, las 3 PNatMor con el rendimiento más bajo tuvieron de 2495 a 2314 kg ha⁻¹ (poblaciones 2, 11 y 15), siendo inferiores al rendimiento de las PPre (excepto la población 20) y a las poblaciones nativas de maíz Cacahuacintle (poblaciones 48 y 49) y a las de color de grano trigueño, blanco, amarillo y azul (poblaciones 29, 30, 28 y 24, respectivamente).

Cuadro 3. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	Rto	Lmz	Dmz	Pmz	Nhil	Ghil	DFM	DFE	Apta	Smz	Id
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>												
38	Mor-22	3737 _{ac}	12.4 _{ad}	4.8 _{ad}	117.9 _{ag}	15.0 _{ah}	23.1 _{ac}	91.8 _{kl}	95.5 _{jk}	235.2 _{ae}	2.4 _{cf}	90.54 _{ab}
34	Mor-28	3646 _{ac}	12.4 _{ad}	5.0 _{ab}	117.1 _{ag}	15.4 _{ag}	23.0 _{ac}	93.4 _{el}	97.5 _{ek}	235.8 _{ae}	2.6 _{ef}	89.27 _{ad}
39	Mor-27	3572 _{ac}	12.4 _{ad}	5.0 _{ab}	124.2 _{ad}	16.5 _{ab}	22.6 _{ac}	93.4 _{el}	97.4 _{ek}	230.6 _{af}	2.2 _{bf}	89.74 _{ac}
8	Mor-8	3330 _{ad}	11.8 _{ad}	5.0 _{ab}	119.0 _{af}	15.0 _{ah}	21.9 _{ac}	93.3 _{fl}	97.4 _{ek}	233.7 _{ae}	2.3 _{cf}	90.08 _{ac}
13	Mor-13	3242 _{ad}	11.7 _{ad}	5.0 _{ab}	121.7 _{ae}	14.9 _{ah}	21.6 _{ac}	92.7 _{hl}	96.8 _{gk}	228.3 _{bf}	2.4 _{cf}	91.38 _a
3	Mor-3	3181 _{ad}	12.0 _{ad}	5.0 _{ab}	118.3 _{af}	15.6 _{af}	21.8 _{ac}	95.2 _{el}	99.8 _{cj}	232.6 _{ae}	2.2 _{bf}	89.76 _{ac}
36	Mor-23	3171 _{ad}	10.7 _{cd}	4.9 _{ac}	95.7 _{cg}	15.6 _{af}	18.3 _c	93.9 _{el}	98.3 _{ek}	231.6 _{ae}	2.5 _{df}	89.92 _{ac}
9	Mor-9	3117 _{ad}	12.3 _{ad}	4.9 _{ac}	124.4 _{ad}	14.9 _{ah}	22.0 _{ac}	95.5 _{dl}	99.7 _{cj}	226.5 _{cf}	2.2 _{bf}	90.09 _{ac}
4	Mor-4	3033 _{ad}	11.9 _{ad}	4.8 _{ad}	112.3 _{bg}	15.0 _{ah}	21.6 _{ac}	94.8 _{el}	98.9 _{dk}	233.3 _{ae}	2.1 _{bf}	89.72 _{ac}
18	Mor-mix	3025 _{ad}	12.4 _{ad}	5.0 _{ab}	121.8 _{ad}	15.0 _{ah}	23.0 _{ac}	93.9 _{el}	98.0 _{ek}	232.4 _{ae}	2.5 _{df}	90.68 _{ab}
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
2	Mor-2	2495 _{be}	11.3 _{bd}	5.0 _{ab}	110.9 _{cg}	15.4 _{ag}	20.5 _{bc}	92.0 _{jl}	96.1 _{hk}	216.4 _{dg}	2.3 _{cf}	90.38 _{ab}
11	Mor-11	2475 _{be}	11.6 _{ad}	4.9 _{ac}	114.3 _{ag}	15.6 _{af}	21.0 _{bc}	92.9 _{gl}	97.3 _{fk}	224.7 _{cf}	2.4 _{cf}	90.26 _{ab}
15	Mor-15	2314 _{ce}	11.7 _{ad}	5.1 _{ab}	122.4 _{ad}	16.1 _{ac}	20.7 _{bc}	96.1 _{ck}	100.9 _{cj}	235.0 _{ae}	2.2 _{bf}	89.16 _{ae}
Prom PNatMor		2939	11.8	4.9	114.5	15.4	21.3	93.7	97.9	229.7	2.3	89.93
<i>Otras Poblaciones Nativas</i>												
48	Cac-olomor	3797 _{ab}	12.4 _{ad}	5.0 _{ab}	120.3 _{af}	14.6 _{ah}	20.7 _{bc}	95.8 _{cl}	100.6 _{cj}	230.2 _{af}	2.5 _{df}	90.28 _a
29	Trigñ	3560 _{ac}	12.9 _{ac}	5.2 _a	156.3 _a	14.9 _{ah}	23.0 _{ac}	100.7 _{ad}	105.6 _{ac}	253.4 _{ab}	1.8 _{ad}	91.03 _a
49	Cac-olomor	3528 _{ac}	12.6 _{ad}	5.0 _{ab}	123.4 _{ad}	15.6 _{af}	21.8 _{ac}	95.7 _{cl}	100.7 _{cj}	235.7 _{ae}	2.2 _{bf}	90.25 _{ad}
30	Bco	3519 _{ad}	13.1 _{ab}	5.0 _{ab}	154.2 _{ab}	14.3 _{ch}	24.3 _{ab}	98.8 _{be}	103.4 _{bf}	254.0 _a	1.9 _{ae}	91.29 _{ab}
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

Continúa...

Cuadro 3. Continuación...

28	Am	3504 _{ad}	12.0 _{ad}	4.7 _{ae}	131.8 _{ad}	13.2 _{hj}	22.0 _{ac}	95.6 _{dl}	99.9 _{cj}	231.8 _{ae}	2.0 _{af}	89.39 _{ad}
24	Az-2	2844 _{ad}	11.7 _{ad}	5.1 _{ab}	127.7 _{ad}	15.2 _{ah}	21.1 _{bc}	95.6 _{dl}	99.9 _{cj}	233.0 _{ae}	2.4 _{cf}	91.05 _{ab}
27	Ros	2359 _{ce}	11.6 _{ad}	5.0 _{ab}	113.3 _{bg}	14.8 _{ah}	19.8 _{bc}	93.3 _{fl}	97.1 _{gk}	213.0 _{eg}	2.4 _{cf}	89.24 _{ab}
	Prom PNat	3070	12.3	5.0	126.4	14.5	21.6	96.9	101.5	232.2	2.2	90.36
Poblaciones Premejoradas												
37	Mor-Oax	4271 _{ab}	13.3 _{ab}	4.6 _{be}	113.5 _{bg}	14.1 _{dh}	26.0 _a	105.3 _a	109.9 _a	246.7 _{ac}	1.7 _{ac}	85.50 _g
26	Rojo-p SMC ₃	3354 _{ad}	12.6 _{ad}	4.3 _{de}	101.3 _{cg}	13.2 _{hj}	22.8 _{ac}	97.9 _{bh}	102.1 _{bh}	205.7 _{fg}	1.3 _a	85.62 _{fg}
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	3281 _{ad}	12.2 _{ad}	4.9 _{ac}	116.8 _{ag}	15.5 _{af}	21.2 _{ac}	93.5 _{el}	97.7 _{ek}	228.7 _{af}	2.5 _{df}	89.18 _{ad}
19	Mor-ancho	2770 _{ad}	12.3 _{ad}	4.6 _{be}	115.7 _{ag}	11.3 _j	21.3 _{ac}	103.3 _{ab}	107.4 _{ab}	219.5 _{dg}	1.5 _{ab}	87.90 _{bg}
44	Comp. Mor-SMC ₁	2353 _{ce}	11.7 _{ad}	4.8 _{ad}	105.9 _{cg}	14.9 _{ah}	20.4 _{bc}	96.9 _{cj}	101.8 _{bi}	220.5 _{dg}	2.5 _{df}	88.50 _{ag}
20	Mor-20	882 _e	11.3 _{bd}	4.2 _e	79.0 _{fg}	11.5 _{ij}	18.4 _c	101.1 _{ac}	104.6 _{ad}	198.6 _{gh}	1.9 _{ae}	87.07 _{cg}
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
46	Comp. Az- SMC ₁	3463 _{ad}	12.6 _{ad}	5.2 _a	131.2 _{ad}	15.5 _{af}	22.4 _{ac}	92.8 _{hl}	97.0 _{gk}	235.6 _{ae}	2.5 _{df}	90.23 _{ab}
53	Cruza Cac	4494 _a	13.6 _a	5.1 _{ab}	137.4 _{ac}	14.6 _{ah}	22.8 _{ac}	96.3 _{ck}	100.7 _{cj}	232.3 _{ae}	2.1 _{bf}	88.27 _{ag}
	Prom PPre	2862	12.1	4.7	104.6	13.9	21.2	96.7	100.8	219.1	2.1	87.69
	DMS	1822	2.2	0.5	42.6	2.1	4.8	5.4	6.2	25.5	0.7	3.13

No. = Número de identificación de la población, Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Lmz = Longitud de mazorca en cm; DMz = Diámetro de mazorca en cm; Pmz = Peso de mazorca en g; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en porcentaje; Prom PNatMor = Promedio de Poblaciones nativas de maíz morado de Ixtenco; Prom PNat = Promedio de otras poblaciones nativas de Ixtenco; Prom PPre = Promedio de poblaciones premejoradas. Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Se considera que el rendimiento superior observado en PPreM, se debe a su conformación genética o frecuencia de alelos favorables, que han sido modificados por selección masal estratificada o mediante la formación de cruzamientos híbridos (Ali *et al.*, 2007), mientras que un mayor rendimiento de PNat: 28-30 y 48-49 en comparación con PNatMor, puede relacionarse con las políticas gubernamentales implementadas durante los últimos 60 años, las cuales desalentaron el cultivo de maíces especiales y por tanto, ocasionaron que los campesinos tuvieran menor interés en la producción de maíces de color y se enfocaran a la producción de maíces blancos y amarillos que, con el tiempo, pudieron haber incrementado su capacidad productiva (Sangerman *et al.*, 2013). Asimismo, otro factor que pudo incidir en la diferencia de Rto es la constitución bioquímica y estructural del grano; según el tipo o raza de maíz, el grano puede tener mayor o menor peso, p. e. el grano blanco, generalmente de endospermo cristalino, es más pesado que el grano de maíz morado, cuyo endospermo tiende a ser harinoso y ligero (Figuroa *et al.*, 2013). De la misma forma, el destino de la producción también pudo haber influido en el menor rendimiento de estos maíces, ya que los maíces morados sólo se usan en el ámbito culinario y artesanal, en donde no es prioritario el rendimiento sino la calidad (textura, sabor y consistencia para elaborar alimentos) y la vistosidad del color de grano (Espinoza, 2013; Ortiz y Espinoza, 2013).

Entre ambientes también hubo diferencias estadísticas para Rto, ocasionadas por las condiciones contrastantes de humedad, fertilidad y textura del suelo que se presentaron entre las dos localidades del estado de Tlaxcala y Montecillo, localidad del estado de México. La producción superior se tuvo en Cañada y Pueblo, cuyos Rto fueron estadísticamente diferentes al de Montecillo que fue de 2430 kg ha⁻¹ (Cuadro 4).

Puesto que existe la idea de que el establecimiento de poblaciones bajo las mejores condiciones de cultivo puede llevar a la obtención de alto rendimiento, se esperaba que la producción fuera superior en Montecillo debido al manejo oportuno de la humedad y la fertilización. Sin embargo, dada la particularidad del origen nativo de la mayoría de las poblaciones estudiadas, se observó que éstas están adaptadas a presiones ambientales de distinta índole como el tipo de suelo, humedad, sequía, heladas, como las presentes en los ambientes de Tlaxcala (condiciones de temporal y sin fertilización); lo que indicó que las poblaciones poseen una mayor especialización a dicha zona ecológica (Boege,

2008), la cual ha sido fomentada por el productor de la región, quien mediante un proceso sumamente dinámico moviliza la semilla en diferentes altitudes del municipio de San Juan Ixtenco, permitiendo que las poblaciones se adapten a esas condiciones adversas de producción (Espinoza, 2013).

Cuadro 4. Promedio por ambiente de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas, y valores máximos y mínimos de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.

Ambiente	Rto kg ha ⁻¹	Lmz cm	Dmz cm	Pmz g	Nhil #	Ghil #	DFM días	DFF días	Apta cm	Smz 1 a 5	Id %
Montecillo	2430 ^b	12.7 ^a	4.9 ^a	113.7 ^a	15.0 ^a	23.1 ^a	86.9 ^a	91.1 ^a	290.8 ^a	3.5 ^b	88.4 ^b
Cañada	3133 ^a	11.6 ^b	4.9 ^a	115.6 ^a	15.4 ^a	20.8 ^b	98.4 ^b	102.6 ^b	196.6 ^c	1.8 ^a	90.3 ^a
Pueblo	3092 ^a	11.7 ^b	4.9 ^a	116.4 ^a	14.6 ^a	20.7 ^b	98.3 ^b	102.8 ^b	203.7 ^b	1.6 ^a	89.8 ^a
Prom Gral	2885	12.0	4.9	115.2	15.0	21.5	94.5	98.8	230.4	2.3	89.50
Máximo	4494	13.6	5.2	156.3	16.6	26.0	105.3	109.9	254.0	2.7	91.38
Mínimo	882	10.6	4.2	75.6	11.3	18.3	90.5	93.1	175.9	1.3	85.50
DMS	429	0.4	0.2	8.2	0.8	1.0	3.0	3.5	7.0	0.3	0.97

Rto = Rendimiento de grano; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso de mazorca; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane; Prom Gral = Promedio general de ambientes. Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Respecto a la interacción PobxAmb que también fue significativa para Rto, se encontró que PNatMor tuvieron el Rto más bajo en Montecillo, siendo la población 36 la menos productiva (sólo produjo 318 kg ha⁻¹), mientras que en las otras localidades esta población tuvo un comportamiento sobresaliente (3707 y 3348 kg ha⁻¹); inclusive se encontró entre las diez PNatMor con mayor potencial de rendimiento (Cuadro 3), por lo que se infiere que en Montecillo tuvo problemas para adaptarse a las condiciones de producción favorables y que posee alta especificidad para los ambientes de Tlaxcala. También se observó que entre PNatMor producidas en las localidades de Tlaxcala no hubo diferencias estadísticas, éstas mostraron buen desempeño, con Rto entre 4636 y 1976 kg ha⁻¹ (Cuadro 3A, ver apéndice), siendo las poblaciones 34, 39 y 38 las más

rendidoras en Cañada y Pueblo y las de mayor adaptabilidad, ya que su Rto en Montecillo se mantuvo por encima de 2000 kg ha⁻¹. La misma tendencia se observó en la población premejorada 53 pero con Rto superior a 4000 kg ha⁻¹ (Cuadro 5). En el caso de PNat, fue en la localidad de Pueblo donde su Rto fue mayor, produciendo desde 5000 hasta 2276 kg ha⁻¹ (poblaciones 49 (Cacahuacintle) y 27 (color de grano rosa), respectivamente) y en Montecillo los maíces azules (poblaciones 24 y 25) fueron más rendidores, mostrando capacidad para adaptarse fácilmente a condiciones óptimas para la producción (Cuadro 3A, ver apéndice). Para PPre, el ambiente al que se adaptaron de manera óptima fue Montecillo, en donde tuvieron Rto promedio de 3019 kg ha⁻¹; la población 26 (Rojo pinolero) tuvo el máximo Rto, de 5975 kg ha⁻¹, y en contraste, la población 20, de grano morado tuvo adaptabilidad reducida, ya que al ser establecida en condiciones de temporal, suelos arenosos y sembrada a una mayor profundidad en Tlaxcala, su producción fue mínima: 126 y 242 kg ha⁻¹ en Pueblo y Cañada, correspondientemente, mientras que en Montecillo su Rto fue de 2277 kg ha⁻¹. Además, se observó que las poblaciones 42 y 44 de grano morado, derivadas de PNatMor y mejoradas a través de selección masal estratificada, mostraron Rto similar en los tres ambientes de evaluación (Cuadro 5). Lo anterior demuestra que, aunque el rendimiento de los maíces nativos pueda ser bajo, éstos poseen la ventaja de adaptarse a múltiples factores ambientales y de manejo, tales como cultivo bajo temporal escaso o errático, suelos poco fértiles y en laderas, manejo agronómico tradicional, como la baja densidad de población, baja o nula fertilización, arreglos topológicos irregulares, etc. (García, 2013).

Dado que Cañada fue el ambiente en donde las poblaciones fueron más rendidoras, seguido por Pueblo y Montecillo, en el Cuadro 5 se muestran las 10 PNatMor de mayor interés por su desempeño productivo, las cuales fueron ordenadas por su rendimiento: primero por su alto rendimiento en Cañada, después por Pueblo y finalmente por Montecillo, siendo las poblaciones 34, 39, 31, 38, 3, 18, 36, 1, 32 y 8.

Cuadro 5. Promedio de rendimiento, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.

No.	Población	Rendimiento			Lmz			Dmz			Pmz		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>													
34	Mor-28	2175 ^{cd}	4636 ^{ab}	4126 ^{ad}	12.6 ^{ab}	11.8 ^a	12.7 ^a	5.0 ^{ab}	4.8 ^{ab}	5.1 ^a	105.6 ^{ac}	109.6 ^{ab}	136.1 ^{ad}
39	Mor-27	2245 ^{cd}	4630 ^{ab}	3511 ^{ae}	13.0 ^{ab}	11.7 ^a	12.6 ^a	5.0 ^{ab}	5.0 ^a	5.0 ^{ab}	117.8 ^{ac}	122.5 ^{ab}	130.7 ^{ad}
31	Mor-20	1720 ^{cd}	4191 ^{ab}	2534 ^{ae}	12.6 ^{ab}	11.6 ^a	10.0 ^a	4.9 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.7 ^{ab}	99.3 ^{ac}	108.1 ^{ab}	105.0 ^{ad}
38	Mor-22	2732 ^{ad}	3861 ^{ab}	4116 ^{ad}	13.2 ^{ab}	11.9 ^a	12.5 ^a	4.7 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.9 ^{ab}	113.7 ^{ac}	114.8 ^{ab}	123.2 ^{ad}
3	Mor-3	2611 ^{ad}	3779 ^{ab}	3014 ^{ae}	13.2 ^{ab}	11.8 ^a	11.5 ^a	4.9 ^{ab}	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	120.1 ^{ac}	124.5 ^{ab}	110.9 ^{ad}
18	Mor-mix	2277 ^{cd}	3729 ^{ab}	2861 ^{ae}	12.9 ^{ab}	12.9 ^a	11.6 ^a	5.1 ^{ab}	5.1 ^a	4.8 ^{ab}	115.5 ^{ac}	136.7 ^{ab}	111.5 ^{ad}
36	Mor-23	318 ^d	3707 ^{ac}	3348 ^{ae}	9.0 ^b	11.3 ^a	10.5 ^a	4.6 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	42.5 ^c	103.9 ^{ab}	100.8 ^{ad}
1	Mor-1	2450 ^{bd}	3542 ^{ac}	2856 ^{ae}	12.4 ^{ab}	11.5 ^a	11.2 ^a	4.8 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	106.7 ^{ac}	118.7 ^{ab}	108.3 ^{ad}
32	Mor-26	2051 ^{cd}	3491 ^{ac}	3315 ^{ae}	14.6 ^a	12.2 ^a	11.6 ^a	5.4 ^a	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	144.3 ^a	124.1 ^{ab}	107.4 ^{ad}
8	Mor-8	2472 ^{bd}	3448 ^{ac}	3763 ^{ad}	12.3 ^{ab}	11.2 ^a	11.9 ^a	5.1 ^{ab}	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	122.1 ^{ac}	117.9 ^{ab}	118.0 ^{ad}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	Mor-14	2297 ^{cd}	2789 ^{ac}	2835 ^{ae}	12.1 ^{ab}	10.8 ^a	11.4 ^a	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	97.6 ^{ac}	105.3 ^{ab}	109.1 ^{ad}
11	Mor-11	1899 ^{cd}	2692 ^{ac}	2762 ^{ae}	12.5 ^{ab}	11.1 ^a	11.3 ^a	4.7 ^{ab}	5.1 ^a	5.0 ^{ab}	112.0 ^{ac}	116.1 ^{ab}	114.2 ^{ad}
12	Mor-12	2357 ^{cd}	2509 ^{ac}	2916 ^{ae}	12.4 ^{ab}	10.1 ^a	11.5 ^a	5.0 ^{ab}	4.7 ^{ab}	4.7 ^{ab}	116.1 ^{ac}	93.6 ^{ab}	113.1 ^{ad}
	Promedio P_{NatMor}	2083	3353	3105	12.5	11.5	11.5	5	4.9	4.9	109.6	116.6	114.5
	Máximo P _{NatMor}	2909	4636	4126	14.6	12.9	12.7	5.4	5.1	5.3	144.3	136.7	145.5
	Mínimo P _{NatMor}	318	2469	1976	9.0	10.1	10.0	4.5	4.7	4.7	42.5	93.6	93.0
<i>Otras Poblaciones Nativas</i>													
49	Cac-olomor	2933 ^{ad}	2503 ^{ac}	5000 ^a	13.8 ^a	11.8 ^a	12.4 ^a	5.2 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.0 ^{ab}	142.3 ^a	93.1 ^{ab}	136.6 ^{ad}
48	Cac-olomor	4070 ^{ac}	2509 ^{ac}	4948 ^a	13.5 ^a	11.1 ^a	13.1 ^a	5.5 ^a	4.8 ^{ab}	5.0 ^{ab}	141.9 ^a	104.3 ^{ab}	128.7 ^{ad}

Continúa...

Cuadro 5. Continuación...

29	Trigñ	2573 ^{ad}	3143 ^{ac}	4717 ^{ab}	12.0 ^{ab}	12.7 ^a	13.8 ^a	4.8 ^{ab}	5.2 ^a	5.5 ^a	121.9 ^{ac}	157.5 ^a	180.9 ^a
30	Bco	3226 ^{ad}	2861 ^{ac}	4397 ^{ac}	12.7 ^{ab}	12.3 ^a	14.2 ^a	4.7 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.4 ^a	124.7 ^{ab}	150.6 ^a	179.9 ^a
28	Am	2935 ^{ad}	2993 ^{ac}	4314 ^{ad}	13.2 ^{ab}	10.1 ^a	13.1 ^a	4.8 ^{ab}	4.5 ^{ab}	5.0 ^{ab}	135.2 ^{ab}	109.0 ^{ab}	152.1 ^{ac}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24	Az-2	3596 ^{ad}	2671 ^{ac}	2452 ^{ae}	12.7 ^{ab}	10.8 ^a	12.0 ^a	4.9 ^{ab}	5.1 ^a	5.1 ^a	128.5 ^{ab}	124.6 ^{ab}	130.1 ^{ad}
27	Ros	2047 ^{cd}	2598 ^{ac}	2276 ^{ae}	13.0 ^{ab}	11.3 ^a	10.8 ^a	4.6 ^{ab}	5.2 ^a	5.0 ^{ab}	98.6 ^{ac}	129.6 ^{ab}	107.9 ^{ad}
	Promedio PNat	2796	2715	3619	13	11.7	12.4	5	4.9	5	126.1	119.3	134.2
	Máximo PNat	4070	3403	5000	14.3	13.4	14.2	5.5	5.2	5.5	142.3	157.5	180.9
	Mínimo PNat	1642	1495	2276	11.7	10.1	10.8	4.6	4.5	4.8	98.6	80.8	107.9
Poblaciones Premejoradas													
26	Rojo-p SMC ₃	5975 ^a	2711 ^{ac}	1375 ^{be}	14.4 ^a	13.4 ^a	11.0 ^a	4.5 ^{ab}	4.6 ^{ab}	4.0 ^b	125.8 ^{ab}	124.2 ^{ab}	66.2 ^d
19	Mor-ancho	5857 ^{ab}	2312 ^{bc}	914 ^{de}	13.7 ^a	13.1 ^a	10.4 ^a	5.1 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.1 ^b	147.1 ^a	142.1 ^{ab}	65.7 ^d
53	Cruza Cac	4503 ^{ac}	4252 ^{ab}	4731 ^{ab}	14.0 ^a	13.2 ^a	13.7 ^a	5.4 ^a	5.2 ^a	5.0 ^{ab}	148.7 ^a	129.5 ^{ab}	139.6 ^{ad}
37	Mor-Oax	3793 ^{ad}	5900 ^a	3120 ^{ae}	14.7 ^a	12.2 ^a	13.1 ^a	4.8 ^{ab}	4.5 ^{ab}	4.5 ^{ab}	111.7 ^{ac}	107.1 ^{ab}	121.8 ^{ad}
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	2520 ^{ad}	3449 ^{ac}	3873 ^{ad}	12.1 ^{ab}	11.6 ^a	12.8 ^a	5.1 ^{ab}	4.7 ^{ab}	5.0 ^{ab}	109.4 ^{ac}	101.9 ^{ab}	139.1 ^{ad}
20	Mor-20	2277 ^{cd}	242 ^c	126 ^e	13.2 ^{ab}	9.8 ^a	10.2 ^a	4.5 ^{ab}	3.9 ^b	4.2 ^b	96.2 ^{ac}	61.8 ^b	78.8 ^{cd}
44	Comp. Mor-SMC ₁	2109 ^{cd}	2149 ^{bc}	2740 ^{ae}	12.9 ^{ab}	11.3 ^a	11.3 ^a	5.3 ^a	4.4 ^{ab}	4.9 ^{ab}	133.2 ^{ab}	82.4 ^{ab}	108.9 ^{ad}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
46	Comp. Az-SMC ₁	1767 ^{cd}	3542 ^{ac}	4655 ^{ac}	11.9 ^{ab}	12.3 ^a	13.4 ^a	5.2 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.4 ^a	104.5 ^{ac}	121.9 ^{ab}	160.7 ^{ab}
	Promedio PPre	3019	2907	2629	12.9	11.9	11.6	4.8	4.6	4.6	109.0	103.8	102.2
	Máximo PPre	5975	5900	4731	14.7	13.4	13.7	5.4	5.2	5.4	148.7	142.1	160.7
	Mínimo PPre	1465	242	126	10.7	9.8	10.0	4.2	3.9	4.0	54.9	61.8	63.8
	DMS	3481			4.2			1			81.7		

No. = Número de identificación de la población, Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Lmz = Longitud de la mazorca en cm; DMz = Diámetro de mazorca en cm; Pmz = Peso de mazorca en g; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo; PNatMor = Poblaciones nativas de maíz morado de Ixtenco; PNat = Otras poblaciones nativas de Ixtenco; PPre = Poblaciones premejoradas. Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

De éstas, la población 38, de grano morado, fue la única que en cada uno de los tres ambientes de evaluación se encontró entre los diez genotipos más productivos; las poblaciones 34, 39, 3, 1, 32, 8 y 36 sólo se encontraron entre los 10 materiales más rendidores en dos ambientes, principalmente en Cañada y Pueblo; la población 36, que tuvo excelentes rendimientos en Tlaxcala (3707 y 3348 kg ha⁻¹), en condiciones ambientales de Montecillo redujo drásticamente su producción por la incidencia de enfermedades en la mazorca (318 kg ha⁻¹). Bajo el mismo criterio de análisis, las PNatMor menos rendidoras fueron 14, 11 y 12.

En cuanto a los componentes del rendimiento, para cinco de ellos, los intervalos registrados en las 53 poblaciones fueron: longitud de mazorca (Lmz) entre 13.6 y 10.6 cm, diámetro de mazorca (Dmz) de 5.2 a 4.2 cm, peso de mazorca (Pmz) desde 156.3 hasta 75.6 g, número de hileras por mazorca (Nhil) entre 16.6 y 11.3 hileras y número de granos por hilera (Ghil) de 26.0 a 18.3 granos (Cuadro 3 y Cuadro 2A, ver apéndice); de éstos solamente Lmz y Ghil mostraron diferencias estadísticas entre ambientes, y fueron superiores en Montecillo con 12.7 cm y 23.1 granos, respectivamente; entre los otros dos ambientes no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 4).

En promedio PNatMor tuvieron 11.8 cm de Lmz, 4.9 cm de Dmz, 114.5 g de Pmz, 15.4 Nhil y 21.3 Ghil, mientras que las mazorcas de PNat fueron más largas (12.3 cm), ligeramente más anchas (5.0 cm), más pesadas (126.4 g), con menor Nhil (14.5 hileras) y Ghil similares (21.6 granos); en PPreM los valores promedio de Lmz, Dmz, Pmz, Nhil y Ghil fueron: 12.1 cm, 4.7 cm, 104.6 g, 13.9 hileras y 21.2 granos, respectivamente (Cuadro 3). La diferencia más notoria entre valores promedio se encontró en Pmz, siendo de 9.9 g entre PPreM y PNatMor y de 21.8 g entre PPreM y PNat.

La Lmz promedio de los tres ambientes de evaluación fue de 12.0 cm (Cuadro 4) y 23 poblaciones tuvieron la misma o mayor Lmz (Cuadro 2A, ver apéndice), de las cuales seis PNatMor (38, 34, 39, 3, 9 y 18) se encontraron entre las diez más productivas de ese agrupamiento (Cuadro 3); las mazorcas de mayor y menor longitud se observaron en PPreM: 53 (13.6 cm) y 46 (10.6 cm). En el análisis de la interacción significativa PobxAmb presente en esta variable y en PNatMor se observaron mazorcas más largas en Montecillo y sólo en este ambiente se detectaron diferencias estadísticas (Cuadro 3A, ver apéndice); Lmz fluctuó desde 14.6 cm (población 32) hasta 9.0 (población 36),

mientras que en Cañada y Pueblo fue alrededor de 11.5 cm (Cuadro 5). En los ambientes de Tlaxcala no se presentaron diferencias entre poblaciones debido quizás a que la producción se hizo bajo condiciones de temporal. Tadeo *et al.* (2012) señalan que la limitada humedad presente en un ciclo de producción propicia expresiones similares entre variedades.

Considerando el comportamiento general de las poblaciones, Dmz superior lo tuvieron las poblaciones 10, 29 y 46 (5.2 cm) y Dmz inferior las poblaciones 20 y 21 (4.2 cm, Cuadro 2A, ver apéndice). Entre ambientes, Dmz fue estadísticamente similar (Cuadro 4), ya que es un carácter poco afectado por los efectos ambientales (Herrera *et al.*, 2000); sin embargo, al observar la interacción PobjAmb ($P \leq 0.01$) se encontró que las poblaciones tuvieron mayor Dmz en Montecillo que en los otros ambientes (Cuadro 5 y Cuadro 3A, ver apéndice), siendo las poblaciones 32, 22, 15, 48, 51, 44 y 53 estadísticamente iguales pero con las mazorcas más gruesas, con Dmz entre 5.5 y 5.3 cm; las más delgadas fueron las mazorcas de las poblaciones 21 y 45, del grupo PPreM de grano morado.

El Pmz de las 53 poblaciones indicó que éste fue superior en la población 29, de color de grano trigueño con 156.3 g, e inferior en la población 21 (PPrem de grano morado) con 75.6 g (Cuadro 2A, ver apéndice). El promedio de Pmz entre ambientes fue de 115.2 g y los Pmz fueron estadísticamente similares (Cuadro 4). La interacción PobjAmb ($P \leq 0.01$) mostró que los tres grupos de poblaciones: PNatMor, PNat y PPreM tuvieron Pmz promedio superior a 100 g, considerado un peso adecuado, por el tipo de mazorca de las poblaciones nativas en donde predominan las de la raza cónico, de tamaño mediano; Pmz inferior correspondió a PPreM en el ambiente Pueblo (102.2 g) y Pmz superior a PNat en la misma localidad (134.2 g). Las PNatMor mostraron Pmz superior en Cañada, mientras que PNat pesaron más en Pueblo y PPreM en Montecillo (Cuadro 5). Las poblaciones de mayor Pmz de los grupos PNatMor, PNat y PPreM, respectivamente, en Montecillo fueron 32, 49 y 53 (148.7 a 142.3 g), en Cañada: 18, 29 y 19 (157.5 a 136.7 g), en Pueblo: 10, 29 y 46 (180.9 a 145.5 g). En contraste, las poblaciones PNatMor, PNat y PPreM, correspondientemente de menor Pmz en Montecillo fueron 36, 27 y 45 (98.6 a 42.5 g), en Cañada: 12, 50 y 20 (93.6 a 61.8 g) y en Pueblo: 41, 27 y 21 (107.9 a 63.8 g) (Cuadro 3A, ver apéndice). Tanto en Cañada como en Pueblo, la población 29

(grano trigueño) tuvo Pmz máximo, mientras que Pmz mínimo lo tuvo la población 27 (grano rosa) en Montecillo y Pueblo.

2.5.1.3. Variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas

Los días a floración masculina (DFM) y los días a floración femenina (DFF), que fueron dos de las tres variables fenológicas registradas, mostraron diferencias estadísticas altamente significativas para ambientes, para poblaciones y en la interacción PobxAmb. En las poblaciones el valor promedio de DFM y DFF fue de 93.7 y 97.9 días para el grupo PNatMor, las cuales florecieron antes que los grupos PNat (96.9 y 101.5 días) y PPreM (96.7 y 100.8 días), siendo la población 21 la de mayor precocidad y la población 37 la más tardía, con 14.8 días de diferencia en los DFM y 16.8 días en los DFF (Cuadro 2A, ver apéndice). En los tres ambientes, el valor promedio fue de 94.5 DFM y 98.8 DFF, clasificándose en general como poblaciones de ciclo tardío. Específicamente en Montecillo, las poblaciones mostraron más precocidad (DFM: 86.9 días y DFF: 91.1 días) en comparación con los otros ambientes (Cuadro 4 y Cuadro 6).

La variación de floraciones registradas en Montecillo y la de los ambientes de Tlaxcala se atribuye a las prácticas de producción de la comunidad de San Juan Ixtenco, ya que la siembra se realiza tempranamente en el ciclo agrícola, en surcos profundos, los cuales se forman así con el fin de aprovechar la humedad residual que resguardan los suelos arenosos de la región (Hernández, 2014), lo cual retrasa el proceso de germinación, establecimiento, crecimiento y desarrollo del cultivo, mientras que en Montecillo la siembra se hace a menor profundidad y existe un aporte inmediato de humedad (aplicación de riego) que hace que las semillas germinen y se establezcan con mayor rapidez.

El análisis de la interacción PobxAmb permitió corroborar que Montecillo fue el ambiente en donde las poblaciones tuvieron menor DFM y DFF, ocurriendo la floración del grupo PNatMor aproximadamente diez días antes en Montecillo que en Tlaxcala, mientras que en PNat la diferencia fue de 12 y 16 días y en PPreM de 13 y 14 días (Cuadro 6 y Cuadro 4A, ver apéndice).

Cuadro 6. Promedio de días a floración masculina y femenina, sanidad de mazorca e índice de desgrane por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas durante 2013 y 2014.

No.	Población	DFM			DFF			Smz			Id		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>													
38	Mor-22	84.8 ^{ab}	98.5 ^{ad}	92.0 ^a	88.8 ^{ab}	103.0 ^{ac}	94.8 ^a	3.7 ^{cg}	1.9 ^a	1.6 ^a	88.49 ^{ac}	91.25 ^{ab}	90.85 ^a
34	Mor-28	89.0 ^{ac}	98.5 ^{ad}	92.8 ^{ab}	93.5 ^{bc}	103.0 ^{ac}	96.0 ^a	4.0 ^{dg}	2.0 ^a	1.8 ^a	87.015 ^{ae}	90.51 ^{ac}	90.28 ^{ab}
39	Mor-27	88.5 ^{ac}	96.8 ^{ad}	95.0 ^{ad}	93.3 ^{ac}	100.3 ^{ac}	98.8 ^{ae}	3.4 ^{cg}	2.1 ^a	1.3 ^a	88.90 ^{ac}	90.05 ^{ac}	90.07 ^{ab}
8	Mor-8	87.4 ^{ac}	95.4 ^{ac}	96.5 ^{af}	91.9 ^{ac}	99.1 ^{ac}	100.6 ^{ah}	3.4 ^{cg}	1.9 ^a	1.7 ^a	88.75 ^{ac}	90.72 ^{ac}	90.51 ^{ab}
13	Mor-13	84.4 ^{ab}	97.1 ^{ad}	95.6 ^{af}	88.1 ^{ab}	101.6 ^{ac}	99.5 ^{af}	3.6 ^{cg}	1.9 ^a	1.8 ^a	90.93 ^a	91.94 ^a	91.14 ^a
3	Mor-3	87.4 ^{ac}	99.1 ^{ad}	98.0 ^{ag}	92.0 ^{ac}	103.8 ^{ad}	102.8 ^{ai}	3.1 ^{bg}	1.9 ^a	1.7 ^a	88.9 ^{ac}	90.61 ^{ac}	89.55 ^{ab}
36	Mor-23	88.0 ^{ac}	98.3 ^{ad}	95.5 ^{af}	92.0 ^{ac}	102.8 ^{ac}	100.3 ^{ag}	3.9 ^{cg}	2.0 ^a	1.5 ^a	82.35 ^{de}	91.39 ^{ab}	90.34 ^{ab}
9	Mor-9	89.7 ^{ac}	99.0 ^{ad}	97.1 ^{ag}	94.4 ^{bc}	102.6 ^{ac}	101.3 ^{ah}	3.1 ^{bg}	1.9 ^a	1.8 ^a	89.43 ^{ac}	90.70 ^{ac}	90.05 ^{ab}
4	Mor-4	86.6 ^{ac}	97.3 ^{ad}	99.5 ^{ah}	90.6 ^{ac}	100.9 ^{ac}	104.1 ^{ai}	3.3 ^{cg}	1.7 ^a	1.6 ^a	87.33 ^{ae}	90.23 ^{ac}	90.70 ^{ab}
18	Mor-mix	86.6 ^{ac}	95.6 ^{ac}	98.5 ^{ah}	91.0 ^{ac}	99.4 ^{ac}	102.6 ^{ai}	4.0 ^{dg}	2.0 ^a	1.8 ^a	89.2 ^{ac}	92.01 ^a	90.44 ^{ab}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	Mor-2	84.9 ^{ab}	94.5 ^{ac}	95.3 ^{ae}	88.6 ^{ab}	99.0 ^{ac}	99.8 ^{ag}	3.7 ^{cg}	2.0 ^a	1.5 ^a	88.19 ^{ad}	91.59 ^{ab}	91.17 ^a
11	Mor-11	85.0 ^{ab}	95.8 ^{ac}	97.0 ^{ag}	89.0 ^{ab}	99.8 ^{ac}	102.1 ^{ah}	3.4 ^{cg}	2.1 ^a	1.8 ^a	90.05 ^{ac}	90.54 ^{ac}	90.15 ^{ab}
15	Mor-15	87.4 ^{ac}	100.0 ^{ad}	99.8 ^{ah}	92.6 ^{ac}	104.6 ^{ad}	104.5 ^{ai}	3.3 ^{cg}	1.9 ^a	1.6 ^a	88.67 ^{ac}	89.58 ^{ac}	89.09 ^{ac}
	Prom PNat Mor	86.9	97.2	96.3	91.2	101.3	100.5	3.6	1.9	1.6	88.5	90.7	90.1
	Máx	90.1	100.4	101.4	94.8	104.6	106.5	4.2	2.2	1.9	91.05	92.01	91.17
	Mín	84.0	93.8	91.8	87.9	97.5	94.8	3.1	1.6	1.3	82.35	89.58	88.99
<i>Otras Poblaciones Nativas</i>													
48	Cac-olomor	87.0 ^{ac}	100.8 ^{ad}	99.5 ^{ah}	91.5 ^{ac}	105.3 ^{ad}	105.0 ^{ai}	4.2 ^{eg}	2.0 ^a	1.2 ^a	90.62 ^{ab}	90.16 ^{ac}	90.24 ^{ab}
29	Trigñ	89.0 ^{ac}	101.3 ^{ae}	109.0 ^h	93.0 ^{ac}	105.8 ^{ad}	115.0 ⁱ	2.5 ^{ac}	1.5 ^a	1.6 ^a	90.27 ^{ac}	91.32 ^{ab}	91.32 ^a
49	Cac-olomor	88.8 ^{ac}	100.3 ^{ad}	98.0 ^{ag}	94.0 ^{bc}	105.3 ^{ad}	102.8 ^{ai}	3.6 ^{cg}	1.7 ^a	1.2 ^a	90.25 ^{ac}	90.06 ^{ac}	90.44 ^{ab}
30	Bco	86.0 ^{ab}	101.3 ^{ae}	106.0 ^{eh}	90.3 ^{ac}	105.5 ^{ad}	111.0 ^{ei}	2.7 ^{ad}	1.7 ^a	1.6 ^a	90.12 ^{ac}	91.85 ^a	91.61 ^a

Continúa...

Cuadro 6. Continuación...

28	Am	82.3 ^{ab}	97.8 ^{ad}	103.5 ^{bh}	86.3 ^{ab}	101.3 ^{ac}	108.8 ^{bi}	2.7 ^{ad}	1.9 ^a	1.8 ^a	84.82 ^{be}	91.48 ^{ab}	90.73 ^{ab}
24	Az-2	84.3 ^{ab}	98.0 ^{ad}	101.8 ^{ah}	88.3 ^{ab}	101.8 ^{ac}	106.8 ^{ai}	3.0 ^{af}	2.2 ^a	2.3 ^a	90.39 ^{ab}	91.47 ^{ab}	91.12 ^a
27	Ros	83.0 ^{ab}	93.3 ^a	101.0 ^{ah}	86.7 ^{ab}	96.0 ^a	106.0 ^{ai}	3.8 ^{cg}	1.9 ^a	1.7 ^a	86.91 ^{ae}	90.31 ^{ac}	89.91 ^{ab}
	Prom PNat	86.6	99.6	102.7	91.1	103.9	107.7	3.3	1.8	1.6	89.4	90.7	90.8
	Máx	90.3	104.5	109	96	110.9	115	4.2	2.2	2.3	90.76	91.85	91.61
	Mín	82.3	93.3	98	86.3	96	102.8	2.5	1.5	1.2	84.82	88.71	89.91
Poblaciones Premejoradas													
37	Mor-Oax	97.0 ^c	111.0 ^e	107.8 ^{gh}	102.0 ^c	116.0 ^d	111.8 ^{fi}	2.9 ^{ae}	1.2 ^a	1.1 ^a	81.78 ^e	87.65 ^{ac}	87.08 ^{ac}
26	Roj-p SMC ₃	85.7 ^{ab}	99.3 ^{ad}	105.8 ^{eh}	88.0 ^{ab}	101.8 ^{ac}	113.0 ^{hi}	1.6 ^a	1.2 ^a	1.3 ^a	87.14 ^{ae}	86.82 ^{ac}	83.28 ^c
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	86.3 ^{ac}	99.3 ^{ad}	95.0 ^{ad}	90.5 ^{ac}	104.0 ^{ad}	98.5 ^{ad}	4.2 ^{eg}	1.9 ^a	1.3 ^a	88.74 ^{ac}	89.43 ^{ac}	89.36 ^{ac}
19	Mor-ancho	91.3 ^{bc}	106.5 ^{de}	109.0 ^h	94.7 ^{bc}	109.5 ^{bd}	114.8 ⁱ	1.7 ^{ab}	1.2 ^a	1.5 ^a	87.71 ^{ae}	88.97 ^{ac}	86.98 ^{ac}
44	Comp. Mor-SMC ₁	87.3 ^{ac}	104.8 ^{ce}	98.8 ^{ah}	91.5 ^{ac}	109.8 ^{bd}	104.3 ^{ai}	4.2 ^{eg}	1.8 ^a	1.5 ^a	88.38 ^{ad}	87.14 ^{ac}	89.97 ^{ab}
20	Mor-20	90.0 ^{bc}	104.3 ^{be}	106.3 ^{fh}	91.7 ^{ac}	107.0 ^{ad}	112.0 ^{gi}	3.1 ^{bg}	1.1 ^a	1.7 ^a	85.44 ^{ae}	84.98 ^c	89.85 ^{ab}
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
46	Comp. Az-SMC ₁	84.0 ^{ab}	99.5 ^{ad}	94.3 ^{ac}	88.8 ^{ab}	103.8 ^{ad}	98.5 ^{ad}	4.4 ^{fg}	1.8 ^a	1.4 ^a	89.37 ^{ac}	90.59 ^{ac}	90.52 ^{ab}
53	Cruza Cac	89.8 ^{ac}	102.0 ^{ae}	97.3 ^{ag}	94.3 ^{bc}	106.3 ^{ad}	101.5 ^{ah}	3.6 ^{cg}	1.6 ^a	1.2 ^a	87.49 ^{ae}	89.27 ^{ac}	87.65 ^{ac}
	Prom PPre	87.5	101.7	99.9	91.1	105.8	104.6	3.4	1.6	1.4	86.81	88.25	87.79
	Máx	97.0	111.0	109.0	102.0	116.0	114.8	4.5	2.0	1.7	89.37	90.95	90.52
	Mín	79.0	94.5	94.3	81.0	97.5	97.8	1.6	1.1	1.1	81.78	84.98	83.28
DMS		10.9			12.4			1.4			6.09		

No. = Número de identificación de la población, DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en %; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo; Prom PNatMor = Promedio de Poblaciones nativas de maíz morado de Ixtenco; Prom PNat = Promedio de otras poblaciones nativas de Ixtenco; Prom PPre = Promedio de poblaciones premejoradas; Máx = Valor máximo; Mín = Valor mínimo; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

En Montecillo la población 21 fue la más precoz (DFM: 79 y DFF: 81); sin embargo, al establecerse en Cañada y Pueblo las floraciones de esta población, tanto femenina como masculina, ocurrieron alrededor de 16 días después. La población 37 fue la más tardía tanto en Montecillo como en Cañada; y las poblaciones 29 (trigueño) y 19 (morado ancho) fueron las más tardías en Pueblo (Cuadro 4A, ver apéndice).

En general, se observó que las poblaciones cambiaron su periodo de floración para adaptarse a las condiciones de los diferentes ambientes evaluados, lo que de acuerdo con Buckler *et al.* (2009) implica que la planta se adapta a su ambiente a través de la modificación de sus fases de crecimiento vegetativo y reproductivo, respondiendo a los efectos locales del clima; esto fue más evidente en algunas PPreM que bajo las condiciones ambientales adversas de Tlaxcala se volvieron de ciclo tardío.

En cuanto a las demás variables registradas para evaluar el comportamiento agronómico de las poblaciones, se encontró que en promedio la altura de planta (Apta) entre poblaciones fue similar en los dos grupos PNat (232.2 cm) y PNatMor (229.7 cm), mientras que en el grupo PPreM las plantas fueron de porte más bajo (219.1 cm) (Cuadro 3), siendo las poblaciones 20 y 21 (de grano morado) las únicas que tuvieron altura por debajo de 2 metros (Cuadro 2A, ver apéndice); por otro lado, la población 30 (de grano blanco) en promedio tuvo el porte de planta más alto (254.0 cm). Respecto a las diferencias de Apta entre ambientes, se observó que al crecer y desarrollarse en condiciones de buena humedad y fertilización, las plantas incrementaron su altura, siendo de 290.8 cm en Montecillo y bajo las condiciones de producción restrictivas de Cañada y Pueblo, Apta promedio fue de 196.6 y 203.7 cm, respectivamente (Cuadro 4). La interacción PobxAmb reveló que ante mejores condiciones de producción las poblaciones tendieron a tener Apta mayor; inclusive en Montecillo, las poblaciones 10, 33, 36 y 38 de PNatMor, las poblaciones 30 y 51 de PNat y las poblaciones 19, 37 y 53 de PPreM superaron 3 metros de altura; sin embargo, de las poblaciones de PNatMor mencionadas, en los ambientes de Tlaxcala tuvieron aproximadamente 1 metro menos de altura, las de PNat entre 0.5 y 1 metro menos pero las de PPreM no alcanzaron los 2 metros (Cuadro 4A, ver apéndice).

Peiffer *et al.* (2014) señalan que la adaptación del carácter altura es esencial para el estado de la planta y el comportamiento agrícola, ésta es intrínseca de la historia

evolutiva, la diversidad permanente y la arquitectura genética de una población; además, la altura de las plantas que evolucionan en ambientes competitivos es, en parte, resultado de la selección impuesta por los efectos de intercepción de radiación, captura de nutrientes y de carbono, competencia con malezas, etc. Basado en lo anterior, se considera que las variaciones observadas en la interacción PobxAmb, además de la constitución genética de las poblaciones, en gran medida fueron influenciadas por la humedad disponible y la fertilidad del suelo, de tal forma que cuando la producción de maíz ocurrió en condiciones de temporal (Tlaxcala), Apta fue menor debido a que la incidencia de lluvia fue restringida y por ende, se limitó el crecimiento del maíz (Pandey *et al.*, 2000), y cuando la humedad fue proporcionada en las etapas de desarrollo adecuadas, las plantas tuvieron mayor Apta, como se observó en Montecillo. Asimismo, en Tlaxcala es posible que la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo (dado que no se implementan prácticas culturales de fertilización) haya restringido el crecimiento de la planta y también tuviera Apta baja, ya que como lo indican Novoa y Loomis (1981) el suministro reducido de nitrógeno tiene efectos negativos en la altura de planta.

Otra variable estudiada de gran importancia fue la sanidad de mazorca (Smz), la cual se evaluó mediante la asignación de una calificación ponderada y mostró que en las 53 poblaciones hubo incidencia de enfermedades en ella; especialmente se tuvo pudrición de la mazorca ocasionada por *Fusarium* que afectó a los tres grupos de poblaciones: PNatMor, PNat y PPreM en más de 21 % de las mazorcas cosechadas (Cuadro 3 y Cuadro 2A, ver apéndice). En los ambientes de producción Smz fue afectada con mayor severidad en Montecillo, en donde la calificación fue de 3.5, lo que significa que más de 41 % y menos de 60 % de las mazorcas cosechadas tuvieron pudrición y que, se infiere, fue un efecto tanto del terreno del campo experimental que en esos ciclos de producción tuvo problemas de saneamiento, como también un efecto ocasionado por el cambio en las condiciones ambientales de producción, al mover a las poblaciones de su lugar de origen y adaptación (Tlaxcala), observándose la respuesta muy marcada, ya que tanto en Cañada como en Pueblo (con similitud estadística) la incidencia de enfermedades en la mazorca fue baja, al no superar 20 % de daño (Cuadro 4). En especial, la interacción PobxAmb permitió identificar que PNatMor tuvo serios problemas de sanidad en Montecillo (Smz = 3.6) en donde las poblaciones 18, 33, 34 y 41 fueron las más

propensas a la pudrición de mazorca con más de 61 % de las mazorcas cosechadas podridas; de igual forma, las poblaciones 48 y 51 del grupo PNat del tipo Cacahuacintle, mostraron esa tendencia a la pudrición. Dentro de PPreM se tuvieron comportamientos opuestos en ese mismo ambiente, siendo la población 45 la más afectada (derivada de los maíces morados de Ixtenco) con una calificación de 4.5 (61 a 80 % de mazorcas podridas) y las menos afectadas, las poblaciones 19 y 26 (grano morado ancho y Rojo pinolero, respectivamente) con menos de 20 % de mazorcas podridas, las cuales estaban más adaptadas a las condiciones ambientales de Montecillo y también fueron menos susceptibles a *Fusarium* que el resto de las poblaciones (Cuadro 6 y Cuadro 5A, ver apéndice). En Cañada y Pueblo la sanidad mejoró notablemente y no hubo diferencias estadísticas, el daño fue menor a 20 % con un intervalo de calificación de 1.1 a 2.3.

Finalmente, respecto al índice de desgrane (Id) se identificaron variaciones entre poblaciones siendo el Id mínimo de 85.50 % (población 37) y el máximo de 91.38 % (población 13), y el grupo PNat fue el de mayor Id (Cuadro 2A, ver apéndice). Entre ambientes, Montecillo fue estadísticamente diferente a los ambientes de Tlaxcala, con menor Id (88.4 %). En la interacción PobxAmb se encontró que, en promedio, tanto PNatMor como PNat, tuvieron Id superiores a 90 % en Cañada y Pueblo; y en el caso de PPreM en ningún ambiente fue superior a 90 %; sin embargo, en comparación con el valor de Id reportado por Pecina *et al.* (2011) para maíces nativos de Tamaulipas, el cual varió alrededor de 72.2 y 85.5 % y fue considerado como un índice alto, todas las poblaciones evaluadas en este estudio los superaron, por lo que pueden considerarse como Id altos. Inclusive, las poblaciones 11, 13, 31, 32, 33, 23, 24, 29, 30, 48, 49 y 51 tuvieron Id mayor a 90.0 % en los tres ambientes de evaluación (Cuadro 5A, ver apéndice).

2.5.1.4. Poblaciones con características sobresalientes y con potencial de aprovechamiento para la obtención de antocianinas

Con base en el potencial de rendimiento de las 53 poblaciones estudiadas, así como por su capacidad de almacenar antocianinas en el grano y/o en el olote (pigmentación morada, azul, rosa o roja) se identificaron a aquéllas que tuvieron alto rendimiento de grano, ya que éste es uno de los principales atributos deseables en la producción de

maíz. Así, se determinó que las diez PNatMor que destacaron tanto por su producción en cada ambiente como en su producción general fueron las poblaciones 38, 8, 34, 39, 13, 3, 4, 1, 9 y 18, ya que tuvieron Rto superior (en cada ambiente y en general) al Rto promedio de todas las PNatMor (2939 kg ha^{-1}); y algunas con desempeño intermedio fueron las poblaciones 32, 16, 36, 10 y 40. Por el contrario, las cinco PNatMor menos productivas fueron las poblaciones 5, 11, 41, 2 y 15, siendo la primera la menos sobresaliente del grupo. De las PNat, los genotipos de grano azul que sobresalieron fueron las poblaciones 23 y 24, la población 27 de grano rosa, y las poblaciones 48 y 49 de raza Cacahuacintle con olote morado. De las PPreM se consideraron de interés a las poblaciones de grano morado 37, 42, 19 y 44, la población 26 de grano rojo y la población 46 de grano azul. En el Cuadro 7 se muestra el rendimiento y otras variables que reflejan el potencial de algunas poblaciones sobresalientes en cada ambiente estudiado, así como su comportamiento general.

Cuadro 7. Características de rendimiento y comportamiento agronómico de poblaciones pigmentadas sobresalientes evaluadas en tres localidades de Valles Altos.

Población	No.	Amb	Rto	Pmz	Smz	Id	Lmz	Dmz	Nhil	Ghil	DFM	DFE	Apta
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>													
Mor-22	38	Mt	2732	113.7	3.7	88.49	13.2	4.7	15.0	24.5	84.8	88.8	303.8
		Cañ	3861	114.8	1.9	91.25	11.9	4.8	15.4	23.4	98.5	103.0	203.0
		Pue	4116	123.2	1.6	90.85	12.5	4.9	14.5	22.2	92.0	94.8	198.9
		Gral	3737	117.9	2.4	90.54	12.4	4.8	15.0	23.1	91.8	95.5	235.2
Mor-8	8	Mt	2472	122.1	3.4	88.75	12.3	5.1	15.2	23.8	87.4	91.9	292.7
		Cañ	3448	117.9	1.9	90.72	11.2	5.0	15.4	20.1	95.4	99.1	205.3
		Pue	3763	118.0	1.7	90.51	11.9	4.9	14.5	22.4	96.5	100.6	210.5
		Gral	3330	119.0	2.3	90.08	11.8	5.0	15.0	21.9	93.3	97.4	233.7
Mor-28	34	Mt	2175	105.6	4.0	87.02	12.6	5.0	16.4	23.1	89.0	93.5	297.6
		Cañ	4636	109.6	2.0	90.51	11.8	4.8	15.1	23.3	98.5	103.0	198.6
		Pue	4126	136.1	1.8	90.28	12.7	5.1	14.7	22.6	92.8	96.0	211.2
		Gral	3646	117.1	2.6	89.27	12.4	5.0	15.4	23.0	93.4	97.5	235.8
<i>Otras Poblaciones Nativas</i>													
Az-2	24	Mt	3596	128.5	3.0	90.39	12.7	4.9	15.2	24.3	84.3	88.3	288.0
		Cañ	2671	124.6	2.2	91.47	10.8	5.1	15.3	19.2	98.0	101.8	204.0
		Pue	2452	130.1	2.3	91.12	12.0	5.1	15.0	20.7	101.8	106.8	220.8
		Gral	2844	127.7	2.4	91.05	11.7	5.1	15.2	21.1	95.6	99.9	233.0
Ros	27	Mt	2047	98.6	3.8	86.91	13.0	4.6	14.8	23.1	83.0	86.7	272.3
		Cañ	2598	129.6	1.9	90.31	11.3	5.2	14.7	18.9	93.3	96.0	186.0
		Pue	2276	107.9	1.7	89.91	10.8	5.0	14.8	18.2	101.0	106.0	195.4
		Gral	2359	113.3	2.4	89.24	11.6	5.0	14.8	19.8	93.3	97.1	213.0
Cac-olomor	49	Mt	2933	141.9	3.6	90.25	13.8	5.2	15.1	24.7	88.8	94.0	298.0
		Cañ	2503	104.3	1.7	90.06	11.8	4.9	16.5	20.3	100.3	105.3	193.8
		Pue	5000	128.7	1.2	90.44	12.4	5.0	15.2	21.3	98.0	102.8	215.4
		Gral	3528	123.4	2.2	90.25	12.6	5.0	15.6	21.8	95.7	100.7	235.7

Continúa...

Cuadro 7. Continuación...

		<i>Poblaciones Premejoradas</i>											
Mor-Oax	37	Mt	3793	111.7	2.9	81.78	14.7	4.8	14.0	28.5	97.0	102.0	338.0
		Cañ	5900	107.1	1.2	87.65	12.2	4.5	14.2	24.5	111.0	116.0	205.7
		Pue	3120	121.8	1.1	87.08	13.1	4.5	14.0	25.0	107.8	111.8	179.8
		<i>Gral</i>	4271	113.5	1.7	85.50	13.3	4.6	14.1	26.0	105.3	109.9	246.7
Mor-ancho	19	Mt	5857	147.1	1.7	87.71	13.7	5.1	12.0	25.3	91.3	94.7	304.0
		Cañ	2312	142.1	1.2	88.97	13.1	4.9	11.5	23.4	106.5	109.5	204.5
		Pue	914	65.7	1.5	86.98	10.4	4.1	10.7	16.3	109.0	114.8	171.2
		<i>Gral</i>	2770	115.7	1.5	87.90	12.3	4.6	11.3	21.3	103.3	107.4	219.5
Comp. Mor-SMC ₁	44	Mt	2109	133.2	4.2	88.38	12.9	5.3	16.0	23.7	87.3	91.5	295.7
		Cañ	2149	82.4	1.8	87.14	11.3	4.4	14.0	18.9	104.8	109.8	186.5
		Pue	2740	108.9	1.5	89.97	11.3	4.9	14.9	19.4	98.8	104.3	179.3
		<i>Gral</i>	2353	105.9	2.5	88.50	11.7	4.8	14.9	20.4	96.9	101.8	220.5
Rojo-p SMC ₃	26	Mt	5975	125.8	1.6	87.14	14.4	4.5	13.4	27.1	85.7	88.0	284.0
		Cañ	2711	124.2	1.2	86.82	13.4	4.6	14.0	24.6	99.3	101.8	192.8
		Pue	1375	66.2	1.3	83.28	11.0	4.0	12.4	18.9	105.8	113.0	160.0
		<i>Gral</i>	3354	101.3	1.3	85.62	12.6	4.3	13.2	22.8	97.9	102.1	205.7
Comp. Az-SMC ₁	46	Mt	1767	104.5	4.4	89.37	11.9	5.2	14.2	20.6	84.8	88.8	295.9
		Cañ	3542	121.9	1.8	90.59	12.3	4.9	16.8	23.3	99.5	103.8	199.5
		Pue	4655	160.7	1.4	90.52	13.4	5.4	15.1	23.0	94.3	98.5	211.5
		<i>Gral</i>	3463	131.2	2.5	90.23	12.6	5.2	15.5	22.4	92.8	97.0	235.6

No. = Número de identificación de la población; Amb = Ambiente; Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; ; Pmz = Peso de mazorca en g; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en porcentaje; Lmz = Longitud de mazorca en cm; DMz = Diámetro de mazorca en cm; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Mt = Montecillo, Edo. de México; Cañ = Cañada, Tlaxcala; Pue = Pueblo, Tlaxcala; Gral = Comportamiento general de la población. Números en negritas: Valores superiores a la media de las Poblaciones Moradas Nativas; Números en cursiva: Valores inferiores en las Poblaciones Moradas Nativas.

2.5.2. Evaluación de 18 poblaciones de maíz morado: versión original y con selección

2.5.2.1. Análisis de Varianza

El análisis de varianza combinado indicó que las diferencias estadísticas entre ciclos se observaron en altura de planta (Apta), posición de mazorca (Posmz), sanidad de mazorca (Smz) y peso individual de grano (PIG). Entre ambientes hubo diferencias estadísticas para rendimiento de grano (Rto) y sus componentes (con excepción de diámetro de mazorca (Dmz), peso de mazorca (Pmz), peso de grano (Pgr), profundidad de grano (Pfg) y asincronía floral (AsF). Entre poblaciones, con excepción de Rto, Lmz, Smz, Id, y AsF, también hubo diferencias estadísticas. La interacción CicloxAmb fue significativa para días a floración masculina y femenina (DFM y DFF), peso de olote (Polo), Pfg, PIG, Dolo, Rto, Pmz, Apta, Pgr y Amz. La interacción CicloxPob fue significativa para DFM, DFF y Dolo. Asimismo, la interacción AmbxPob fue significativa para Polo y Dolo y la interacción CicloxAmbxPob para Smz (Cuadro 8 y Cuadro 6A, ver apéndice).

2.5.2.2. Rendimiento de grano y sus componentes

En comparación con Montecillo, las poblaciones nativas de maíz morado tuvieron Rto notablemente superior en las localidades Cañada y Pueblo (Cuadro 9); además, el rendimiento fue estadísticamente similar entre las 18 poblaciones y entre los ciclos evaluados (Cuadro 8). Las poblaciones tuvieron Rto entre 3540 a 2406 kg ha⁻¹ y la diferencia entre el ciclo original (Vo) y el ciclo con selección (Sel) fue de 49 kg (3083 y 3034 kg ha⁻¹, respectivamente); es decir, que en términos generales la selección no fungió como una herramienta para mejorar Rto de las poblaciones (en este caso la selección se implementó sin una metodología formal, sólo incrementando la semilla de plantas sin acame, sanas y con arquetipo deseable, expresados en Montecillo; sin embargo, dada la interacción significativa CicloxAmb, se observó que si bien no hubo un efecto de la selección estadísticamente significativo en Montecillo, sí se tuvo en Tlaxcala, en donde en Cañada Rto se redujo de un ciclo a otro y en Pueblo se incrementó; en ambos casos la diferencia fue poco más de 670 kg (Cuadro 10).

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para 18 poblaciones nativas de maíz morado originarias de Ixtenco, evaluadas en su ciclo original y su ciclo con selección y estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México, 2014.

FV	GL	Rto	Lmz	Dmz	Pmz	Nhil	Ghil	DFM	DFF	Apta	Posmz	Smz	Id
		<i>Rendimiento y sus componentes</i>					<i>Fenológicas</i>			<i>Agronómicas</i>		<i>Fisiotécnica</i>	
Ciclo	1	1.1x10 ⁶ _{ns}	0.037 _{ns}	0.143 _{ns}	261.4 _{ns}	0.166 _{ns}	12.5 _{ns}	2.5 _{ns}	1.6 _{ns}	6478**	6.1x10 ⁻² **	0.836*	1.3 _{ns}
Ambiente	2	5.3x10 ⁷ **	26.040*	0.185 _{ns}	4876.6 _{ns}	92.167**	37.2*	5034**	5302**	416702**	1.5x10 ⁻¹ **	293**	61.2*
Rep(Amb)	9	1.4x10 ⁶ _{ns}	3.261 _{ns}	0.205 _{ns}	1789.7*	4.624**	13.2 _{ns}	97.5**	134.9**	1649**	4.7x10 ⁻³ **	0.717**	8.8*
Población	17	1.6x10 ⁶ _{ns}	4.477 _{ns}	0.452**	2228.7**	9.176**	16.8*	37.1**	42.4**	715**	3.8x10 ⁻³ **	0.248 _{ns}	10.0 _{ns}
Ciclo*Amb	2	1.7x10 ⁷ **	4.889 _{ns}	0.295 _{ns}	6019.5**	1.121 _{ns}	10.7 _{ns}	329.4**	373.2**	4781**	3.0x10 ⁻³ _{ns}	2.698 _{ns}	9.2 _{ns}
Ciclo*Pob	17	1.5x10 ⁶ _{ns}	1.014 _{ns}	0.132 _{ns}	708.3 _{ns}	2.103 _{ns}	9.2 _{ns}	26.8**	36.3**	140 _{ns}	1.7x10 ⁻³ _{ns}	0.220 _{ns}	4.0 _{ns}
Amb*Pob	34	1.1x10 ⁶ _{ns}	2.872 _{ns}	0.185 _{ns}	1028.0 _{ns}	1.934 _{ns}	10.9 _{ns}	8.0 _{ns}	11.2 _{ns}	224 _{ns}	1.0x10 ⁻³ _{ns}	0.155 _{ns}	5.4 _{ns}
Ciclo*Amb*Pob	34	1.3x10 ⁶ _{ns}	2.081 _{ns}	0.122 _{ns}	896.2 _{ns}	1.331 _{ns}	8.9 _{ns}	10.2 _{ns}	10.3 _{ns}	178 _{ns}	1.1x10 ⁻³ _{ns}	0.221*	4.6 _{ns}
Error	272 [¶]	1.6x10 ⁶	2.041	0.137	787.7	1.82	8.7	11.5	15.1	256	1.0x10 ⁻³	0.15	3.9
CV (%)		42.2	12	7.5	24.9	8.6	13.9	3.6	4	7	5.5	15.5	2.2

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; Rto = Rendimiento de grano; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso de mazorca; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; Posmz = Posición de mazorca; Smz = Sanidad de mazorcas cosechadas; Id = Índice de desgrane; ** = P ≤ 0.01; * = P ≤ 0.05; ns = No significativo; [¶]GL del error para DFM, DFF, Apta y Posmz = 315, para Smz = 314.

Cuadro 9. Promedio por ambiente de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas durante 2014.

Ambiente	Rto	Lmz	Nhil	Ghil	DFM	DFF	Apta	Posmz	Smz	Id
	<i>Rendimiento y sus componentes</i>				<i>Fenológicas</i>		<i>Agronómicas</i>		<i>Fisiotécnica</i>	
Montecillo	1770 ^b	12.7 ^a	15.4 ^b	22.5 ^a	86.5 ^c	90.8 ^c	291.8 ^a	0.64 ^a	4.1 ^c	87.97 ^c
Cañada	3407 ^a	11.5 ^b	16.5 ^a	21.0 ^b	97.9 ^a	102.5 ^a	194.3 ^c	0.59 ^b	1.9 ^b	90.01 ^a
Pueblo	3687 ^a	11.8 ^b	14.9 ^c	20.8 ^b	95.1 ^b	99.3 ^b	203.6 ^b	0.58 ^b	1.4 ^a	89.85 ^a
DMS	381	0.4	0.4	0.9	0.9	1.1	4.4	0.01	0.1	0.59

Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Lmz = Longitud de mazorca en cm; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Posmz = Posición de la mazorca; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en %. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 10. Promedio por ambiente y por ciclo de rendimiento de grano, días a floración masculina y altura de planta de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas durante 2014.

Amb	Ciclo	Rto	DFM	Apta
Montecillo	Vo	1908 ^a	88.4 ^b	301.7 ^a
	Sel	1625 ^a	84.7 ^a	281.9 ^b
Cañada	Vo	3752 ^a	97.2 ^a	197.6 ^a
	Sel	3076 ^b	98.6 ^b	191.0 ^b
Pueblo	Vo	3347 ^b	94.2 ^a	202.1 ^a
	Sel	4022 ^a	96.0 ^b	205.2 ^a
DMS		422	1.1	5.2

Amb = Ambiente; Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; DFM = Días a floración masculina; Apta = Altura de planta en cm; Vo= Ciclo original; Sel = Ciclo con selección. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Además, pese a que la interacción CicloxPob no fue significativa, la comparación de medias de los niveles de Ciclo (Vo y Sel) en cada población, permitió observar que entre el Rto obtenido en Vo y Sel de las poblaciones 5 y 13 sí hubo diferencias estadísticas, incrementando o reduciendo el Rto en más de 1000 kg, respectivamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Promedio por ciclo y por población de rendimiento de grano y días a floración masculina de 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas en 2014.

No.	Población	Ciclo	Rto	DFM	Pob	Población	Ciclo	Rto	DFM
1	Mor-1	Vo	3529 ^a	90.7 ^a	10	Mor-10	Vo	3142 ^a	95.8 ^b
		Sel	2996 ^a	91.9 ^a			Sel	2967 ^a	92.2 ^a
2	Mor-2	Vo	2415 ^a	91.2 ^a	11	Mor-11	Vo	2586 ^a	91.7 ^a
		Sel	2399 ^a	91.8 ^a			Sel	2594 ^a	94.7 ^b
3	Mor-3	Vo	3552 ^a	94.8 ^a	12	Mor-12	Vo	2884 ^a	93.8 ^a
		Sel	3528 ^a	93.3 ^a			Sel	2510 ^a	91.3 ^a
4	Mor-4	Vo	3410 ^a	94.2 ^a	13	Mor-13	Vo	4116 ^a	91.1 ^a
		Sel	3100 ^a	92.0 ^a			Sel	2680 ^b	92.4 ^a
5	Mor-5	Vo	2610 ^b	93.8 ^a	15	Mor-15	Vo	2603 ^a	95.5 ^a
		Sel	3901 ^a	93.1 ^a			Sel	3564 ^a	95.9 ^a
6	Mor-6	Vo	2811 ^a	92.9 ^a	16	Mor-16	Vo	3152 ^a	90.8 ^a
		Sel	3092 ^a	92.5 ^a			Sel	2829 ^a	92.6 ^a
7	Mor-7	Vo	2995 ^a	93.6 ^a	17	MorAz-17	Vo	2966 ^a	92.4 ^a
		Sel	2807 ^a	96.6 ^b			Sel	3087 ^a	91.9 ^a
8	Mor-8	Vo	3462 ^a	92.9 ^a	18	Mor-mix	Vo	3155 ^a	92.3 ^a
		Sel	3316 ^a	93.4 ^a			Sel	3145 ^a	94.3 ^a
9	Mor-9	Vo	3433 ^a	94.8 ^a	22	Mor-22	Vo	2779 ^a	96.2 ^b
		Sel	3223 ^a	94.0 ^a			Sel	2866 ^a	91.9 ^a
DMS			1034	2.7	DMS			1034	2.7

No. = Número de identificación de la población; Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; DFM = Días a floración masculina; Vo= Ciclo original; Sel = Ciclo con selección. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Inclusive, al comparar en cada nivel de los ciclos evaluados (Vo y Sel) el Rto de la interacción AmbxPob, se encontró que en Montecillo y en Cañada, Rto se redujo en la mayoría de las poblaciones, siendo la pérdida de 13 a 1421 kg y la ganancia, de 2 a 2046 kg, respectivamente. En contraste, en Pueblo, doce poblaciones incrementaron su Rto; la población 10 aumentó su producción en 384 kg, mientras que la población 5 obtuvo una ganancia en Rto de 2789 kg (Cuadro 12).

Perú es uno de los países que ha incursionado en la formación y liberación de variedades mejoradas de maíces morados, inclusive es el principal comerciante de productos derivados de estos maíces especiales. Algunas investigaciones, como la de Cabrera (2016), han reportado que las variedades peruanas PMV-581, CAJAMARCA-INIA 601, INIA 615-NEGRO CANAAN y Morado Canteño, en promedio rinden 8092 kg ha⁻¹ bajo un sistema de fertirrigación y con una densidad de siembra de 80 000 plantas ha⁻¹. Asimismo, Yáñez *et al.* (2016) obtuvieron la variedad de maíz negro INIAP-199 “Racimo de uva”, la cual requirió alrededor de 10 años para su formación, a partir de 65 colectas provenientes de la Sierra ecuatoriana y aplicando cuatro ciclos de Selección Familiar de Medios Hermanos. Con lo anterior, el presente trabajo se fundamenta en que, si bien el rendimiento de las poblaciones nativas de maíz morado estudiadas aún es bajo y que en general, no hubo un efecto significativo de una generación de selección, estas poblaciones cuentan con potencial para que las que resulten de interés, sean mejoradas bajo un sistema de fitomejoramiento formal, en el que éste genere resultados deseables. Asimismo, es posible optimizar las condiciones de manejo como fertilización y densidad de siembra que pueden ser factores que incrementen sustantivamente el rendimiento. Sin embargo, en un ciclo de selección no fue posible ver cambios notables, sobretodo dado el origen nativo de las poblaciones. Hallauer (2001) señala que los programas de “maíces especiales” tienen características únicas que requieren un manejo cuidadoso y monitoreo durante su desarrollo, para necesidades específicas; del mismo modo, Palacios (2013) señala que el desarrollo de maíces mejorados en su centro de origen requiere en primera instancia, conocer la diversidad genética que existe y una vez sabiendo para qué sirve cada maíz nativo, los mejoradores podrán utilizar esta riqueza genética para desarrollar nuevas variedades que combinen, en lo más posible, las características ventajosas de las mismas.

Cuadro 12. Promedio de la interacción CicloxAmbientexPoblación de la sanidad de mazorca y rendimiento en 18 poblaciones nativas de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos de México en 2014.

No.	Población		Montecillo Cañada Pueblo			Montecillo Cañada Pueblo		
			<i>Sanidad de mazorca (1 a 5)</i>			<i>Rendimiento (kg ha⁻¹)</i>		
1	Mor-1	Vo	3.9	1.9	1.3	2506	4412	3412
		Sel	4.7	1.6	1.4	2046	3494	2974
2	Mor-2	Vo	3.9	2.0	1.2	1307	3201	2843
		Sel	4.2	1.8	1.8	1499	2387	3311
3	Mor-3	Vo	3.8	2.0	1.5	2056	4521	3705
		Sel	3.9	1.9	1.4	2072	2779	5369
4	Mor-4	Vo	3.9	1.7	1.5	1472	4386	3403
		Sel	3.9	1.9	1.3	1657	3211	4072
5	Mor-5	Vo	3.7	1.9	1.4	1023	3887	2525
		Sel	4.2	1.4	1.3	1903	3988	5314
6	Mor-6	Vo	3.7	1.7	1.6	1024	4219	3096
		Sel	4.4	2.3	1.5	1644	2173	5099
7	Mor-7	Vo	4.1	1.7	1.8	1804	3419	3465
		Sel	4.5	1.8	1.4	1380	2279	4048
8	Mor-8	Vo	3.8	2.0	1.6	1668	4488	4037
		Sel	4.6	1.7	1.3	1109	2922	5366
9	Mor-9	Vo	3.4	1.9	1.8	2887	4393	3123
		Sel	4.5	1.8	1.4	1466	3409	4355
10	Mor-10	Vo	4.2	2.2	1.4	1738	4034	3305
		Sel	4.3	1.6	1.7	1498	3346	3689
11	Mor-11	Vo	3.9	2.1	1.6	1617	2951	3190
		Sel	4.2	1.8	1.4	1289	3364	2874
12	Mor-12	Vo	3.6	2.0	1.2	1916	3044	3449
		Sel	4.4	1.9	1.3	1436	2503	3323
13	Mor-13	Vo	4.3	2.0	1.6	2527	4236	5188
		Sel	4.6	2.4	1.3	1276	3075	3338
15	Mor-15	Vo	4.0	2.2	1.6	2581	2697	2500
		Sel	3.9	2.2	1.3	1819	3273	5164
16	Mor-16	Vo	3.7	2.2	1.2	1807	3745	3232
		Sel	4.5	1.8	1.2	1596	3552	3031
17	MorAz-17	Vo	4.0	2.0	1.4	2313	3240	3182
		Sel	4.3	2.0	1.5	1065	3238	3948
18	Mor-mix	Vo	4.6	2.1	1.5	1739	4254	3118
		Sel	4.2	1.8	1.3	2087	2945	4137
22	Mor-22	Vo	4.2	1.9	1.4	2329	2865	3142
		Sel	4.7	2.2	1.9	2316	3440	2706
DMS			0.5					

No. = Número de identificación de la población; Vo = Ciclo original; Sel =Ciclo con selección; DMS = Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

De todos los componentes de rendimiento registrados, los cinco considerados de mayor relevancia fueron Lmz, Dmz, Pmz, Nhil y Ghil, de los cuales Lmz, Nhil y Ghil mostraron diferencias estadísticas entre ambientes. Las variables Lmz y Ghil fueron superiores en Montecillo: 12.7 cm y 22.5 granos, mientras que en Cañada y Pueblo se obtuvieron mazorcas con 0.9 y 1.2 cm de menor longitud y ± 2 granos menos por hilera (Cuadro 9). Lo anterior se atribuye a las mejores condiciones de producción, ya que en Montecillo se aplicó fertilizante y se aportaron riegos durante el ciclo del cultivo, mientras que en Tlaxcala las condiciones de producción fueron bajo temporal.

Entre poblaciones hubo diferencias estadísticas para Dmz, Pmz, Nhil y Ghil, teniendo intervalos de 5.2 a 4.7 cm, 134.5 a 98.5 g, 16.8 a 14.5 hileras y 23.1 a 19.4 granos, respectivamente; la población 15 destacó por tener Dmz y Pmz superiores. También la población 18 sobresalió en Ghil y la población 22 en Nhil, mientras que las poblaciones 4, 5 y 19 tuvieron las mazorcas más delgadas y menos hileras por mazorca, correspondientemente. Además, la población 7 tuvo Ghil y Pmz inferiores (Cuadro 13).

El Pmz fue la única variable con interacción significativa CicloxAmb, teniendo Pmz máximo en Pueblo en el ciclo Sel (126.9 g), el cual fue superior a Pmz en ciclo Vo (112.4 g, $P \leq 0.01$), lo anterior es un indicador de que la selección funcionó en esas condiciones. En cambio, en el resto de los ambientes y en sus respectivos ciclo Sel y ciclo Vo, Pmz fluctuó de 114.4 a 101.9 g, con similitud estadística; es decir, que en Montecillo y Cañada no hubo efecto de la selección.

2.5.2.3. Variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas

Respecto a las variables fenológicas DFM y DFF, se observaron distintos periodos de floración entre ambientes y entre poblaciones ($P \leq 0.01$), siendo éstas más precoces en Montecillo y más tardías en Cañada (Cuadro 9); probablemente la reducción de DFM y DFF fue una respuesta a las condiciones de producción favorables de Montecillo; no obstante, las poblaciones en general tuvieron tardividad (DFM = 86.5 a 97.9 días y DFF = 90.8 a 102.5 días). Las poblaciones 1 y 2 fueron las más precoces, y la más tardía fue la población 15 (Cuadro 13). Además, hubo un efecto positivo de la selección en Montecillo, ya que los DFM se redujeron 3.7 días, mientras que en las otras dos localidades aumentaron, pero no significativamente; sin embargo, sí fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 10).

Cuadro 13. Promedio de componentes de rendimiento, variables fenológicas y agronómicas de 18 poblaciones nativas de maíz morado, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2014.

No.	Población	<i>Componentes de rendimiento</i>				<i>Fenológicas</i>		<i>Agronómicas</i>	
		Dmz	Pmz	Nhil	Ghil	DFM	DFF	Apta	Posmz
1	Mor-1	4.9ab	108.2ab	15.9ad	21.0ab	91.3a	95.2a	228.7ac	0.60ac
2	Mor-2	5.0ab	108.6ab	15.6ad	21.3ab	91.5a	95.7ab	218.1c	0.57c
3	Mor-3	5.0ab	119.6ab	16.0ac	22.0ab	94.1ac	98.5ac	237.1ab	0.62ab
4	Mor-4	4.7b	102.5b	15.3bd	21.8ab	93.1ac	97.5ac	230.6ac	0.61ab
5	Mor-5	4.8ab	109.5ab	14.5d	20.9ab	93.5ac	97.8ac	228.7ac	0.63a
6	Mor-6	4.8ab	105.1ab	14.7cd	20.4ab	92.7ac	97.3ac	231.3ac	0.59bc
7	Mor-7	4.9ab	98.5b	15.2cd	19.4b	95.1bc	99.3bc	226.7ac	0.61ab
8	Mor-8	4.9ab	109.6ab	14.8cd	21.3ab	93.2ac	97.8ac	233.1ac	0.59bc
9	Mor-9	5.0ab	126.6ab	15.3cd	22.3ab	94.4ac	98.8ac	234.3ac	0.60ac
10	Mor-10	5.1ab	120.3ab	16.7ab	21.2ab	94.0ac	98.4ac	233.5ac	0.60ac
11	Mor-11	4.8ab	100.8b	15.9ad	20.1ab	93.2ac	97.9ac	223.5bc	0.59bc
12	Mor-12	4.8ab	104.8ab	15.7ad	21.1ab	92.5ac	96.8ac	228.9ac	0.60ac
13	Mor-13	5.0ab	118.2ab	15.7ad	21.8ab	91.8ab	95.9ab	231.1ac	0.60ac
15	Mor-15	5.2a	134.5a	16.7ab	22.1ab	95.7c	100.2c	239.9a	0.61ab
16	Mor-16	4.8ab	109.8ab	15.3cd	21.7ab	91.7ab	96.0ab	220.2c	0.60ac
17	MorAz-17	4.9ab	116.5ab	15.9ad	21.7ab	92.2ab	96.5ac	230.2ac	0.60ac
18	Mor-mix	5.0ab	120.8ab	15.1cd	23.1a	93.3ac	97.6ac	234.3ac	0.60ac
22	Mor-22	5.1ab	111.7ab	16.8a	20.9ab	94.0ac	98.3ac	228.7ac	0.61ab
DMS		0.4	30.1	1.4	3.2	3.4	4.0	16.2	0.03

No. = Número de identificación de la población; Dmz = Diámetro de mazorca en cm; Pmz = Peso de mazorca en g; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Posmz = Posición de la mazorca. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

En la interacción CicloxPob, sólo algunas poblaciones respondieron a la selección y se volvieron más precoces (Pob 10 y 22) o más tardías (Pob 7 y 11); la respuesta diferencial entre estas poblaciones es una evidencia de que su estructura genética les permite responder a la selección de formas diferentes, por lo que no siempre se obtienen los cambios esperados por el fitomejorador (Cuadro 11).

Con referencia a Apta, Posmz y Smz, que son algunas de las variables agronómicas estudiadas, se encontró que en todas hubo cambios ocasionados por la selección; es decir, hubo diferencias estadísticas entre los ciclos Vo y Sel, pues se redujo Apta en 7.7 cm, Posmz cambió de 0.61 a 0.59 y Smz fue afectada negativamente ya que hubo un incremento en la incidencia de pudrición de la mazorca (Cuadro 14). Asimismo, entre ambientes se tuvieron diferencias (Cuadro 9), en Montecillo las plantas fueron más altas (291.8 cm) que en el resto; también se tuvo Posmz máxima (0.64) y la incidencia de enfermedades más severa (Smz = 4.1), nuevamente atribuido a las condiciones de producción y a la infestación del terreno de siembra por *Fusarium*, principalmente.

Entre poblaciones, Apta y Posmz fueron contrastantes ($P \leq 0.01$), Apta fue de 220.2 a 218.1 cm y Posmz de 0.63 a 0.57; se consideró que dichos intervalos se encontraron dentro de los valores buscados en un genotipo, ya que se trata de plantas de porte alto con una posición de mazorca deseable; atributos que pueden evitar el acame de la planta, el cual es uno de los problemas frecuentes en la producción de estos maíces especiales. Las poblaciones 15 y 5 fueron las de mayor Apta y Posmz, respectivamente, mientras que la población 2 tuvo los valores inferiores de Apta y Posmz (Cuadro 13). Además, Apta mostró un comportamiento variable en la interacción CicloxAmb ($P \leq 0.01$), encontrándose que en Montecillo y Cañada la reducción de Apta de Vo a Sel fue diferente estadísticamente, con un cambio en la altura de 19.8 y 6.6 cm menos en cada ambiente; en cambio, en Pueblo la reducción de Apta no fue significativa (Cuadro 10).

Cuadro 14. Promedio por ciclo de altura de planta, posición de mazorca y sanidad de mazorca de 18 poblaciones nativas de maíz morado, estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2014.

Ciclo	Apta	Posmz	Smz
<i>Agronómicas</i>			
Original	233.8 _a	0.61 _a	2.45 _b
Selección	226.1 _b	0.59 _b	2.54 _a
DMS	3.0	0.006	0.07

Apta = Altura de planta en cm, Posmz = Posición de la mazorca; Smz = Sanidad de mazorca de 1 a 5. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

La Smz fue la única variable que presentó la interacción CicloxAmbxPob significativa, mediante la cual se observó que las poblaciones estudiadas poseen susceptibilidad a enfermedades, evidenciándose claramente en la pudrición de la mazorca, ya que en las tres localidades en las que se estudiaron, presentaron cierto grado de incidencia de enfermedades (Cuadro 12); inclusive, la severidad fue mayor en Montecillo (Smz = 3.7 a 4.7), el cual tuvo características ambientales distintas a las del lugar de origen de las 18 poblaciones, lo que, acorde con Hallauer (2001) es un factor que incrementa la susceptibilidad de los maíces de color a enfermedades e insectos; sin embargo, se detectó que la alta incidencia de pudrición de la mazorca en este ambiente (> 61 %) estuvo asociada en mayor proporción con una mala planeación de la cosecha, producto de la inexperiencia en el manejo de estos maíces pigmentados, que con la susceptibilidad de las poblaciones a *Fusarium*, ya que la cosecha se realizó tardíamente y durante el periodo de lluvias, y el crecimiento de este hongo se intensifica y es favorecido por la alta humedad (Venturini *et al.*, 2015), por lo que si bien el hongo puede estar presente en la semilla de forma asintomática, con ciertos cuidados como una cosecha temprana o control de la humedad postcosecha, se puede evitar su crecimiento y desarrollo.

El análisis de la Smz de cada una de las poblaciones en la interacción CicloxAmb (no significativa), develó que en diez de ellas hubo efecto de la selección en al menos uno de los tres ambientes estudiados; es decir, que estadísticamente hubo diferencias entre Vo y Sel. En el caso de las poblaciones 1, 5, 6, 8, 9, 12, 16 y 22 establecidas en Montecillo, se incrementó el problema de enfermedades de Vo a Sel; el mismo efecto se tuvo en la población 6 en Cañada, y en las poblaciones 2 y 22 en Pueblo; no obstante, el daño e incidencia se mantuvo por debajo de 25 % (Smz < 2.4) en ambos ambientes y sólo las poblaciones 5 y 10 redujeron la incidencia de enfermedades en Cañada (Cuadro 12).

Entre poblaciones, el Id fluctuó desde 88.44 hasta 90.58 % y solo fue estadísticamente diferente entre ambientes; en el Cuadro 9 se muestra que Id fue superior en Cañada (90.01 %) y menor en Montecillo (87.97 %).

2.6. CONCLUSIONES

La valoración agronómica y de rendimiento de grano (Rto) de 53 poblaciones de maíz nativas y premejoradas indicó que el potencial de rendimiento entre poblaciones fluctuó de 4494 a 882 kg ha⁻¹ ($P \leq 0.01$); dicho Rto fue contrastante entre ambientes, siendo superior en Cañada y Pueblo (estadísticamente similares), lo que indica que la mayoría de las poblaciones estudiadas se encuentran adaptadas a las condiciones ambientales de dichas localidades.

De manera particular, las 29 poblaciones nativas de maíz morado de Ixtenco (PNatMor) tuvieron Rto promedio de 2939 kg ha⁻¹; mientras que en las 12 denominadas “otras nativas de Ixtenco” (PNat) y las 12 poblaciones premejoradas (PPrem) su rendimiento fue de 3070 kg ha⁻¹ y 2862 kg ha⁻¹, respectivamente, lo que evidencia que las poblaciones de maíz morado también poseen ventajas para competir con maíces de otros colores de grano (blancos, amarillos, azules) para ser producidos en sistemas de producción de ambientes óptimos y adversos.

Las poblaciones 38, 8, 34, 39, 13, 3, 4, 1, 9 y 18 del grupo PNatMor, fueron sobresalientes y de amplio interés para los propósitos del programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, ya que además de almacenar pigmentos en grano y olote, tuvieron Rto superior al Rto promedio de todo el grupo PNatMor (2939 kg ha⁻¹). Además, las poblaciones de los grupos PNat y PPre que sobresalieron fueron: 23, 24 y 46 de grano azul; 27 de grano rosa; 48 y 49 de cacahuacintle con olote morado; 37, 42, 19 y 44 de grano morado; y 26 de grano rojo.

Las 53 poblaciones estudiadas fueron de ciclo tardío (90 a 105 DFM y 93 a 110 DFF); en componentes del rendimiento, éstas tuvieron longitud de mazorca entre 13.6 y 10.6 cm, diámetro de mazorca de 5.2 a 4.2 cm, peso de mazorca desde 156 hasta 76 g, número de hileras por mazorca (Nhil) entre 16.6 y 11.3 hileras y número de granos por hilera (Ghil) de 26 a 18 granos; la altura de planta fluctuó entre 254 y 176 cm, el índice de desgrane entre 86 y 91 %. En general, las poblaciones presentaron susceptibilidad a la incidencia de enfermedades en la mazorca, en el intervalo de 20 a 40 % de pudrición, equivalente a 1.3 y 2.7 de calificación ponderada de la sanidad de mazorca (Smz).

En cuanto al estudio comparativo de 18 poblaciones nativas de maíz morado, en su versión original (Vo) y con selección (Sel), de un ciclo a otro se encontró que sólo hubo diferencias estadísticas para Apta, posición de mazorca (Posmz) y Smz, obteniendo en la versión Sel plantas de porte más bajo (7.7 cm menos) y reducción en Posmz (de 0.61 a 0.59), pero mayor incidencia de enfermedades en la mazorca.

El Rto promedio de estas poblaciones fluctuó entre 3504 y 2406 kg ha⁻¹, la diferencia entre ciclos fue de tan sólo 49 kg, sin significancia estadística; sin embargo, las prácticas de selección implementadas en el ciclo 2013, sí tuvieron efectos en algunas poblaciones y en algunos ambientes. En Cañada y Pueblo, la reducción o incremento, respectivamente, fue alrededor de 670 kg entre Vo y Sel; en el caso de poblaciones, se observó que el rendimiento se incrementó o redujo en más de 1000 kg ha⁻¹ en la población 5 y 13, correspondientemente.

En cada ambiente de estudio y comparando el rendimiento de Vo y Sel de cada población, se encontró que la reducción del Rto fue desde 13 hasta 1421 kg ha⁻¹ y el incremento del Rto desde 2 hasta 2046 kg ha⁻¹, lo cual, si bien estadísticamente no tuvo un efecto significativo, dentro de un programa de mejoramiento genético, en especial los extremos superiores de ganancia o pérdida entre un ciclo y otro, sí tienen impacto.

2.7. LITERATURA CITADA

Aceves R. E., A. Turrent F., J. I. Cortés F. y V. Volke H. (2002) Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el Valle de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(4):339-347.

Ali T. N., S. S. Shah, S. Ali, H. Rahman, T. Ali and M. Sajjad (2007) Genetic variability for yield parameters in maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Journal of Agricultural and Biological Science* 2(4-5):1-3.

Álvarez B. E. y A. Piñeyro N. (2013) El maíz en peligro ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. México, D. F. 568 p.

Aparicio M. C. (2013) Evaluación de variedades pigmentadas de maíz para la producción de atole. Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustrias. Colegio de Postgraduados. Amatlán de los Reyes, Veracruz. 70 p.

Aragón C. F., J. D. Figueroa C., M. Flores Z., M. Gaytán M. y J. J. Véles M. (2012) Calidad industrial de maíces nativos de la sierra sur de Oaxaca. Libro Técnico 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca, México. 249 p.

Bellon M., M. Adato, J. Becerril and D. Mindek (2005) Poor farmers' perceived benefits from different types of maize germplasm: The case of creolization in lowland tropical Mexico. *World Development* 34(1):113-129.

Boege S. E. (2008) El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México, D. F. pp:170-230.

Boege S. E. (2009) Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias* 92-93:18-28.

Boege S. E. (2010) El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México-Hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México. 342 p.

Briones R. D. (2013) Diversidad genética en el patosistema maíz- *Fusarium* en el altiplano de México. Tesis de Doctorado. Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 102 p.

Buckler E. S., J. B. Holland, P. J. Bradbury, C. B. Acharya, P. J. Brown, C. Browne,... and M. D. McMullen (2009) The genetic architecture of maize flowering time. *Science* 325:714-178.

Cabrera C. C. R. (2016) Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima, Perú. 120 p.

Casiano de la R. M. C. (2015) Análisis de la variación entre 13 poblaciones de maíces nativos del estado de Tlaxcala, México. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Departamento de Fitomejoramiento. Saltillo, Coahuila. 58 p.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2010) Base de datos de maíces nativos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México", corte al 14 de octubre de 2010, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Instituto Nacional de Ecología. www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Informede-Gestion_V1.pdf, Consultada en marzo del 2013.

De León C. and S. Pandey (1989) Improvement of resistance to ear and stalk rots and agronomic traits in tropical maize gene pools. *Crop Science* 29:12-17.

Elting M. and M. Folsom (1967) The Mysterious Grain-Science in Search of the Origin of Corn. M. Evans Company, Inc. Nueva York, EUA. 118 p.

Espinoza B. J. (2013) "Nosotros también mejoramos semillas, joven": creación y mejoramiento campesino de diversidad de maíz en Ixtenco, Tlaxcala, México. Maestría en Análisis Regional. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Secretaría de Investigación Científica y Posgrado. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional. 146 p.

Esteva G. y C. Marielle (2003) Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Dirección General de Culturas Populares e Indígenas y Museo Nacional de Culturas Populares. México, D. F. pp. 1-346.

Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283.

Figueroa C. J. D., D. E. Narváez G., A. Mauricio S., S. Taba M. Gaytán M., J. J. Véles M., F. Rincón S. y F. Aragón C. (2013) Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3-A):305-314.

García P. M. A. (2013) Diversidad genética, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de Valles Altos de México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados-Montecillo. 111 p.

Gaytán-Martínez M., J. D. Figueroa-Cárdenas, M. L. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez (2013) Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3-A):339-346.

Hallauer A. R. (2001) Specialty corns. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N. W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. 469 p.

Hellin J., A. Keleman and M. Bellon (2010) Maize diversity and gender: research from Mexico. *Gender and Development* 18:427-437.

Hernández R. C. (2014) La tierra del maíz. 1^a edición. Gobierno del estado de Tlaxcala. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Instituto Tlaxcalteca de la Cultura. Tlaxcala, Tlaxcala, México. 115 p.

Herrera C. B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. Ortega P. y M. M. Goodman (2000) Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz de una región: Caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:335-354.

Kato Y. T. A. (1984) Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evolutionary Biology* 17:219-253.

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.

Layrisse M., M. N. García-Casal, L. Solano, M. A. Barón, F. Arguello, D. Llovera, J. Ramírez, I. Leets, E. Tropper (2000) New property of vitamin A and beta-carotene on human iron absorption. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(3):243-248.

Lazos C. E. (2014) Consideraciones socioeconómicas y culturales en la controvertida introducción del maíz transgénico: el caso de Tlaxcala. *Sociológica* 29(83):201-240.

Lazos E. y M. Chauvet (2012) Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Proyecto global de maíces nativos. Informe de Gestión. CONABIO.México, D. F. 533 p.

Lorant, A., S. Pedersen, I. Holst, M. B. Hufford, K. Winter, D. Piperino and J. Ross-Ibarra (2017) The potential role of genetic assimilation during maize domestication. bioRxiv, <https://doi.org/10.1101/105940>

Martínez G. A. (2008) El maíz en México y en el mundo. *In: Agrobiodiversidad en México: el caso del maíz*. I. Islas C., I. Salas C., M. A. Caballero C. (eds.). Dirección de Economía Ambiental. INE, CONABIO, SINAREFI PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, SAGARPA. 64 p.

Mauricio S. R. A., J. D. Figueroa C., S. Taba, M. L. Reyes V., F. Rincón S. y A. Mendoza G. (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(3):213-222.

McClintock B., T. A. Kato Y. y A. Blumenschein (1981) Constitución Cromosómica de las Razas de Maíz. Su Significado en la Interpretación de las Relaciones entre razas y variedades en las Américas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. pp. 1-521.

Novoa R. and S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58(1):177-204.

Ortega P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. (1991) Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. pp:161-186.

Ortiz B. P. A. y J. Espinoza B. (2013) Los campesinos de Ixtenco como productores de biodiversidad: selección de semillas y diversidad ecológica en la ladera este del volcán la Malinche. *In: Naturaleza-Sociedad: reflexiones desde la complejidad*. A. Conde F., P. A. Ortiz B., A. Delgado R. y F. Gómez R. (eds). Universidad Autónoma de Tlaxcala. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre el Desarrollo Regional. Tlaxcala, Tlaxcala. pp:275-288.

Palacios R. N. (2013) Una perspectiva y tecnología de los maíces criollos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3-A):271.

Pandey R. K., J. W. Maranville and M. M. Chetima (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Shaelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management* 46:15-27.

Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. (2011) Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(2):85-92.

Peiffer J. A., M. C. Romay, M. A. Gore, S. A. Flint-Garcia, Z. Zhang, M. J. Millard, C. A. C. Gardner, M. D. McMullen, J. B. Holland, P. J. Bradbury and E. S. Buckler (2014) The genetic architecture of maize height. *Genetics* 196:1337-1356.

Preciado O. R. E. y S. Montes H. (2011) Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo, Estado de México. pp. 1-274.

Programa de Intercambio, Diálogo y Asesoría en Agricultura Sostenible y Seguridad Alimentaria (PIDAASSA) (2011) Tlaxcala: triunfo y avance de las organizaciones campesinas en la defensa de las semillas nativas. Carta Informativa 6:1-15. www.pidaassa.org

Rooney L. and S. O. Serna-Saldívar (2003) Food use of whole corn and dry milled fractions. *In: Corn Chemistry and Technology*. J. P. White, L. A. Johnson (eds.). American Association of Cereal Chemists, Inc. 2nd Ed. St. Paul, MN. USA. pp:495-535.

Sánchez G. J. J. y L. Ordáz S. (1987) El Teocintle en México. Distribución y situación actual de las poblaciones. *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools*. International Board for Plant Genetic Resources, IBPGR Headquarters, Rome. pp. 1-50.

Sánchez G. J. J., T. A. Kato Y., M. Aguilar S., J. M. Hernández C., A. López R. y J. A. Ruiz C. (1998) Distribución y Caracterización del Teocintle. Centro de Investigaciones Regional del Pacífico Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Libro Técnico Núm. 2. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 1-129.

Sánchez, C. y N. Barrera-Bassols (2013) La variabilidad de semillas de maíz nativas como expresión de la diversidad biocultural en Ixtenco, Tlaxcala. Tlaxcala. 15 p.

Sangerman J. D. M., R. Torres G., B. Ramírez V., A. Navarro B., R. Schwentesius R. y M. E. Serrano F. (2013) El maíz ajo (*Zea mays tunicata*) preservado y custodiado por agricultores(as) de San Juan Ixtenco, Tlaxcala. *In: Memoria VIII Reunión Nacional de Innovación Agrícola*. J. A. Cueto W. y D. Hernández M. (eds.). Veracruz. 270 p.

SAS (Statistical Analysis System) (2009) Statistics Analysis System. Software Release 8.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.

Serna S. S. O., J. A. Gutiérrez U., S. Mora R. y S. García L. (2013) Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:295-304.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., I. Arteaga E., V. Trejo P., M. Sierra M., R. Valdivia B. y B. Zamudio G. (2012) Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(7):1417-1423.

Turrent F. A., J. A. Serratos H., H. Mejía A. y A. Espinosa C. (2009) Liberación comercial de maíz transgénico y acumulación de transgenes en razas de maíz mexicano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4):257-263.

Valadez A. R., A. Moreno F. y G. Gómez A. (2011) Cujtlacocho: el cujtlacocho. Instituto de Investigaciones Antropológicas-Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 138 p.

Venturini G., S. L. Toffolatti, G. Assante, L. Babazadeh, P. Campia, E. Fasoli, D. Salomoni and A. Vercesi. (2015) The influence of flavonoids in maize pericarp on *Fusarium* ear rot symptoms and fumonisin accumulation under field conditions. *Plant Pathology* 64:671-679.

Yáñez C., J. Zambrano, M. Caicedo, J. Heredia, C. Sangoquiza, E. Villacrés, M. Racines y D. Caballero (2016) Ficha técnica de la variedad de maíz negro INIAP-199 "Racimo de uva". INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. Perú. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3166>. 55 p.

Zheng H., H. Wang, H. Yang, J. Wu, B. Shi, R. Cai, Y. Xu, A. Wu and L. Luo (2013) Genetic diversity and molecular evolution of chinese waxy maize germplasm. *Plos One* 8:1-11.

CAPÍTULO III

VALORACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN GRANO Y OLOTE DE POBLACIONES DE MAÍZ MORADO ORIGINARIAS DE SAN JUAN IXTENCO, TLAXCALA

3.1. RESUMEN

El maíz morado es un cultivo que en las últimas décadas ha adquirido gran interés en el ámbito científico, especialmente por su alto contenido de antocianinas y propiedades bioactivas que posee dicho compuesto. Principalmente se ha estudiado a los maíces morados andinos; sin embargo, dada la gran diversidad genética del maíz, en los últimos años se ha determinado el contenido de antocianinas (CAT) en variantes de maíz morado de diferente origen geográfico. En México se preservan los maíces morados de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, los cuales han sido reconocidos y revalorados por su belleza y por ser la base para la elaboración de atole agrio, platillos regionales y artesanías; no obstante, no se tiene precedente sobre su CAT, por lo que en esta investigación se estudió y valoró el potencial productivo de antocianinas totales de 37 poblaciones de maíz morado (en su mayoría nativas de esta comunidad), en capa de aleurona (ATal), pericarpio (ATper), grano (ATgr) y olote (ATolo). Se encontró que la magnitud del potencial productivo de antocianinas es amplia; CAT fluctuó entre 0.054 y 0.001 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en ATal; 2.435 y 0.003 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, en ATper; 0.212 y 0.001 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, en ATgr; y 0.770 y 0.005 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, en ATolo. Además, mediante análisis de componentes principales, las poblaciones se clasificaron en siete grupos, entre los cuales sobresalieron los grupos I y II que tuvieron poblaciones con potencial de aprovechamiento integral (destacaron por su CAT en las cuatro variables evaluadas, poblaciones 35 y 41) y otras poblaciones nativas de Ixtenco que resaltaron en ATgr, ATper, ATolo y ATal o en al menos tres de éstos (poblaciones 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 36, 40, 42, 43 y 45).

Palabras clave: Maíz morado, poblaciones nativas, antocianinas, grano, olote, pericarpio, capa de aleurona, San Juan Ixtenco, Tlaxcala.

3.2. ABSTRACT

Purple corn is a crop that in the last decades has acquire great interest in the scientific field, especially for its high content of anthocyanins and the bioactive properties that possesses said compound. Andean purple corn has been broadly studied; however, there is still a great genetic diversity of purple corn that has different geographical origin that could be used to obtain this pigment; for this reason, in recent years, the total anthocyanin content (TAC) of variants of purple corn has been determined. In Mexico, in the location of San Juan Ixtenco, Tlaxcala, peasants preserve the “maices morados” (purple corn), which have been recognized and revalued for their beauty and for being used to elaborate atole agrio (sour atole), regional dishes and handcrafts; nevertheless, there is no precedent about TAC, so in this research, TAC of 37 purple corn populations was studied and valued; most populations were from Ixtenco. TAC was determined in the aleurone layer (TAal), pericarp (TAper), grain (TAgr) and cob (TAolo). A wide magnitude of the productive potential of anthocyanins was found. TAC fluctuated between 0.054 and 0.001 g of TA • 100 g⁻¹ of biomass, in TAal; 2.435 and 0.003 g of TA • 100 g⁻¹ of pericarp, in TAper; 0.212 and 0.001 g of TA • 100 g⁻¹ of grain, in TAgr; and from 0.770 to 0.005 g of TA • 100 g⁻¹ of cob, in TAolo. In addition, by analysis of principal components, populations were classified into seven groups. Groups I and II were outstanding, they had populations with full utilization potential (highlighted by their TAC in the four traits evaluated, populations 35 and 41), while other native populations from Ixtenco were outstanding in TAgr, TAper, TAolo and TAal, or at least in three of this traits (populations 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 36, 40, 42, 43 and 45).

Keywords: purple corn, native populations, anthocyanins, grain, cob, pericarp, aleurone layer, San Juan Ixtenco, Tlaxcala.

3.3. INTRODUCCIÓN

El maíz morado es un cultivo que, en las últimas décadas, junto con otros maíces pigmentados (azul y rojo), ha adquirido gran interés en el ámbito científico, especialmente por su contenido de antocianinas y otros compuestos bioactivos útiles como materia prima en distintas industrias (Betrán *et al.*, 2001; Lago *et al.*, 2013; Salinas *et al.*, 2013; Lao *et al.*, 2017). Dado que estos maíces tienen tonos morados de los más oscuros del reino vegetal (Lao y Giusti, 2015) se ha señalado que su potencial productivo de antocianinas es mayor que el de otros maíces pigmentados por antocianinas e inclusive, el de algunos frutos y verduras como arándano, zanahoria y col morada, pues tienen una concentración superior de este compuesto que se sintetiza y almacena tanto en la capa de aleurona como en el pericarpio y en otros órganos de la planta como el olote (Hussanun *et al.*, 2014).

Diversos estudios señalan que los maíces morados son originarios de Perú y que las variedades de maíz morado provienen de la raza ancestral “Kculli” (Sevilla y Valdez, 1985; Zapata, 1996; Guillén-Sánchez *et al.*, 2014); no obstante, México como centro de origen y diversificación del maíz, posee sus propias variantes de maíz morado derivadas de razas mexicanas, que particularmente se distinguen de las versiones andinas por la morfología de la mazorca. Puesto que recientemente los maíces morados mexicanos están siendo explorados en detalle, en el medio científico global se sabe poco sobre ellos; sin embargo, al igual que los maíces andinos y otros pigmentados, han sido importantes desde la época prehispánica en las culturas del nuevo mundo americano (inca, maya, azteca, tribus estadounidenses). Especialmente por sus usos culinarios y religiosos, han sido utilizados para dar color a los alimentos y bebidas tradicionales (chicha morada, atole agrio, totopos, tortillas, botanas, etc.), así como para el tratamiento empírico de diabetes, infecciones urinarias e intestinales, problemas cardiacos e inflamatorios. Asimismo, han sido apreciados como granos sagrados y de ornato (las tribus Hopi y Navajo los usaban como accesorios de su vestimenta) y pese a la marginación que han sufrido los maíces de color, aún actualmente los descendientes de estas culturas tienen una especial preferencia por ellos (de la Rosa, 2009; Cabrera, 2016; Terrones y Díaz, 2016); quizá, porque, en parte, su origen está ligado a los procesos de mutación, selección natural y masal que implementaron los indígenas y que

transformaron ciertas variedades silvestres de maíz en plantas cultivadas (Castillo *et al.*, 1999).

Quiñones y Coy-Barrera (2015) señalan que países latinoamericanos como Perú, México y Bolivia ya presentan una apreciable trayectoria en el estudio y aprovechamiento de especies nativas pigmentadas (como maíz y papa morada) y que en otros países como China, Turquía e Italia, donde el maíz pigmentado se introdujo, también son objeto de estudio. Los investigadores están motivados por conocer a esta fuente de antocianinas que también contiene otros compuestos fenólicos en el pericarpio y en la capa de aleurona (García Lara *et al.*, 2012).

Para comprender la importancia de estas sustancias, es necesario entender qué son, por lo que al hacer una revisión del tema se concibe que las antocianinas son pigmentos vacuolares de origen natural, solubles en agua, los que confieren la coloración roja, rosa, azul, morada o violeta a los tejidos que los sintetizan y acumulan; el color que despliegan está determinado por sus características estructurales y otros factores como pH, temperatura, contacto con oxígeno, luz, entre otros (Somavat, 2017). Cavalcante *et al.* (2017) señalan que las antocianinas son pigmentos constituidos por moléculas protonadas naturalmente (se les adhiere un protón H^+), las cuales son sensibles al fotoblanqueo; es decir, ante la incidencia de luz, presentan un cambio en el grupo químico responsable del color en la molécula y en consecuencia, pierden la capacidad de absorber la luz a determinada longitud de onda; también las describen como compuestos bioactivos que ocurren de forma natural.

Las antocianinas derivan del metabolismo secundario de las plantas y pertenecen al grupo fitoquímico de los flavonoides (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Ming *et al.*, 2003; Giusti y Jing, 2008); su estructura química se conforma por un esqueleto que contiene quince carbonos (C6-C6-C3), ordenados en dos anillos aromáticos (anillo A benzoil y anillo B hidroxicinamoil) unidos por un tercer anillo que consta de tres carbonos y un oxígeno (C₃O) (Ávalos y Pérez, 2009). Están constituidas por dos o tres partes: una antocianidina, una o varias moléculas de carbohidratos unidas a la antocianidina (usualmente ocurre en las posiciones 3', algunas veces en las posiciones 3' y 5' y ocasionalmente en 3' y 7') y posiblemente, un grupo acilado (Garzón, 2008; Mercadante y Bobbio, 2008; Castañeda *et al.*, 2009).

Aunque históricamente la ruta de biosíntesis de antocianinas ha sido la más estudiada, en fechas recientes se han hecho descubrimientos que ayudan a entenderla en mayor detalle; a la par, se ha avanzado en la comprensión de la herencia de estos pigmentos naturales, la cual resulta compleja por la gran cantidad de genes involucrados en el proceso y las interacciones que se dan entre éstos (Koes *et al.*, 2005).

Se ha señalado que en maíz participan alrededor de 15 a 20 genes en el proceso de síntesis de antocianinas; durante las primeras décadas del siglo XX, mediante estudios citogenéticos clásicos realizados en torno al color de la aleurona de maíz, se conocieron patrones de pigmentación moteados, salpicados, incompletos en la capa de aleurona de maíz; además, en esa época se debatía sobre la existencia de factores que “influenciaban” la aparición y producción de color en las células de la aleurona de maíz, como los genes *C*, *R*, *A*, *Pr*, *I* (Kempton, 1919).

En la actualidad se ha clasificado a los genes que participan en la síntesis de antocianinas como genes reguladores o genes estructurales; asimismo, se ha indicado que pueden encontrarse por duplicado, como es el caso de los genes *A*₁, *A*₂, *A*₃, *Pl*, *B*, *R* y *C* (Halbwirth *et al.*, 2003). Además, se sabe que algunos genes controlan la síntesis (p. e. genes *C1* y *R1*), otros el tejido de síntesis y la acumulación de antocianinas (p. e. gen *Hopi1*) o el tipo de antocianina producida en la capa de aleurona (gen *pr1pr1*: pelargonidina y *Pr1Pr1*: cianidina) (Mol *et al.*, 1998; Sharma *et al.*, 2011). Cone (2007) indica que siete genes estructurales codifican enzimas catalíticas, mientras que seis genes reguladores codifican factores de transcripción, y dos genes corresponden a transportadores del pigmento hacia las vacuolas. Algunos de ellos tienen más de dos alelos por *locus* (el gen *A*₁ y *P* tienen por lo menos 13 alelos), son epistáticos (pueden inhibir, intensificar o modificar el patrón de pigmentación) y se ubican en diferentes cromosomas (Ford, 2000; ¹³), *A*₁ se localiza en el cromosoma 4, *A*₂ en el 5 y *A*₃ en el 10. Petroni y Tonelli (2011) explican que las antocianinas se regulan de forma distinta entre especies monocotiledóneas y dicotiledóneas y que en maíz los genes que sintetizan antocianinas se activan por el complejo MBW formado por tres unidades: MYB-bHLH-WD40, las cuales son dos factores de transcripción y repeticiones de bases conservadas, respectivamente, que generan los productos de los genes reguladores para después

¹³ <http://ksuweb.kennesaw.edu/~jhendrix/bio3300/maize.pdf> Consultada 22 de noviembre de 2016

activar a los genes estructurales que codifican para algunas enzimas como: chalcona sintasa (CHS, gen: **c2** = actúa en la semilla), chalcona isomerasa (CHI, gen: **chi** = se expresa en pericarpio), flavanona-3-hidroxilasa (F3H, gen: **fht1** = semilla), dihidroflavonol-4-reductasa (DFR, gen: **a1** = aleurona), antocianidina sintasa (ANS, gen: **a2** = conversión enzimática de leucoantocianidinas a antocianidinas), UDP-Glucosa Flavonoide-3-Glucosiltransferasa (UFGT, gen: **bz1** = codifica la actividad enzimática de UFGT) (Neuffer *et al.*, 1997; Petroni y Tonelli, 2011; Espinosa *et al.*, 2012; ^{14, 15, 16, 17}). En la Figura 1 se muestra la ruta de biosíntesis de antocianinas en maíz, partiendo de la fenilalanina como la molécula que da origen al pigmento y mostrando la intervención de diversas enzimas y el complejo MBW a lo largo de la ruta.

En cuanto al perfil de antocianinas registrado en maíces morados, se ha descrito que en grano tienen 6 antocianinas mayores y 17 antocianinas menores. Las mayores incluyen a: cianidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido, y derivados del ácido malónico adheridos a la posición C-6' de la molécula de glucosa. Las antocianinas menores reportadas son diglucósidos de las tres principales antocianidinas, adhesiones de dimalonil al C-6 de la unidad de azúcar de las tres principales antocianidinas, las principales antocianidinas adheridas a otros azúcares como las rutinosa, y la antocianina principal no acilada adherida a los compuestos fenólicos con el ácido succínico y catequinas. La delfinidina-3-glucósido también ha sido reportada en maíz morado, aunque se ha detectado ocasionalmente (Lao *et al.*, 2017). Salinas *et al.* (2013) reportan que 73 a 75 % de las antocianinas del grano derivan de cianidina, 8 a 9 % de pelargonidina y 16 a 17 % de peonidina; sin embargo, dicha proporción puede modificarse en granos del mismo color por efecto del genotipo (Salinas, 2000) y del ambiente (Jing *et al.*, 2007). En olote, se han identificado las mismas antocianinas mayores que en el grano, en la proporción 75.7 %, 8.3 % y 16.0 % (Yang y Zhai, 2010a).

¹⁴ <http://www.biology4friends.org/corn-genetics.html> Consultada 22 de noviembre de 2016

¹⁵ <http://www.jamesandthegiantcorn.com/2010/03/02/the-most-studied-genes-of-maize-and-why-we-love-kernel-phenotypes/> Consultada 22 de noviembre de 2016

¹⁶ <https://www.koshland-science-museum.org/sites/all/exhibits/exhibitdna/crops04text.jsp> Consultada 22 de noviembre de 2016

¹⁷ <http://iitkgp.vlab.co.in/?sub=79&brch=262&sim=1415&cnt=1> Consultada 22 de noviembre de 2016

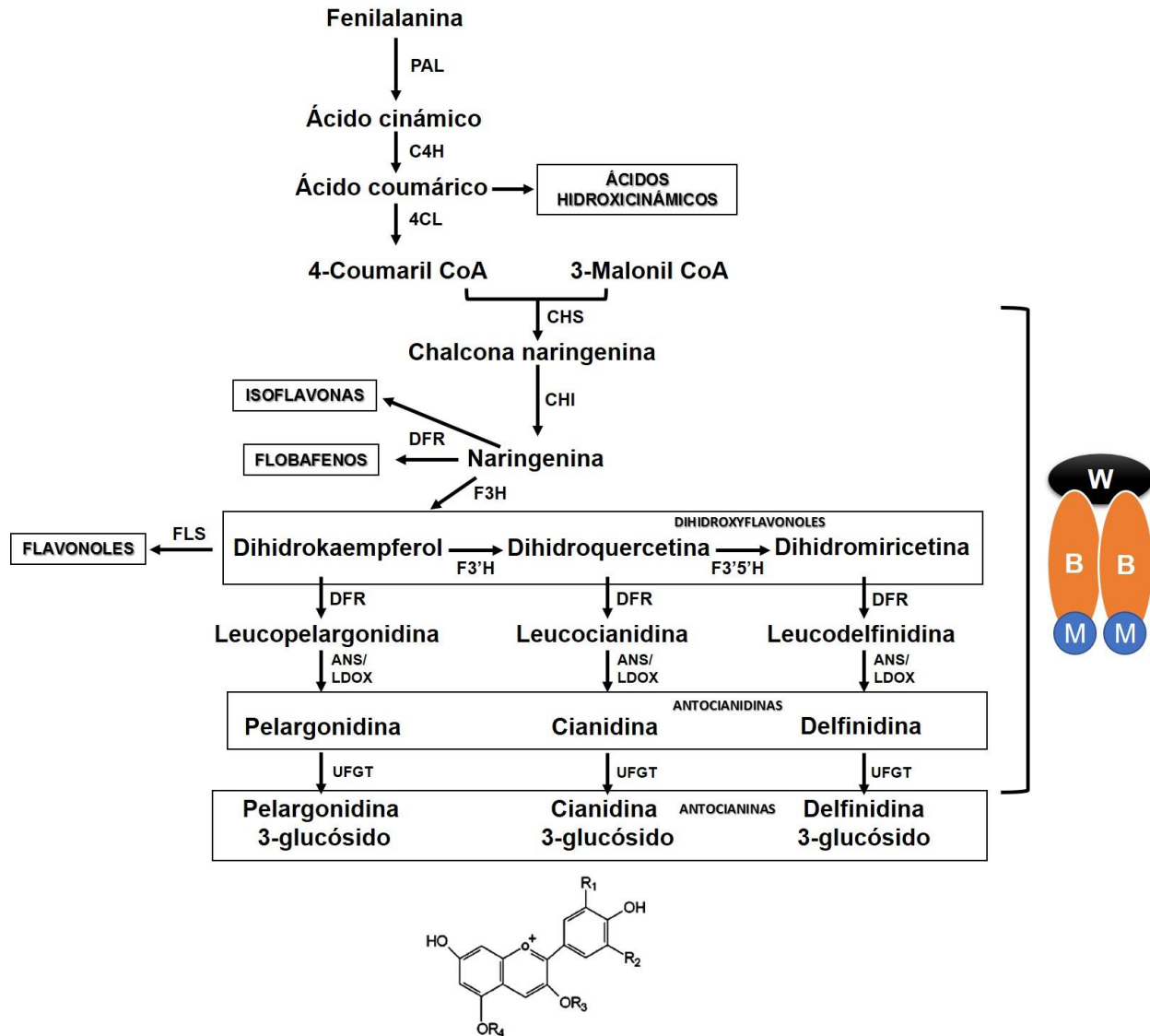


Figura 1. Ruta de biosíntesis de antocianinas en maíz; adaptada de Petroni y Tonelli (2011). Enzimas participantes: PAL = Fenilalanina amonioliasa, C4H = Ácido cinámico 4-hidroxilasa; 4CL = 4 *coumarate* CoA ligasa; CHS = Chalcona sintasa; CHI = Chalcona isomerasa; F3H = Flavanona-3-hidroxilasa; F3'H = Flavanona-3'-hidroxilasa; F3'5'H = Flavanona-3'5'-hidroxilasa; DFR = Dihidroflavonol reductasa; ANS/LDOX = Antocianidina sintasa/ Leucoantocianidina dioxigenasa; UFGT = UDP-flavonoide glucosiltransferasa. Complejo MBW = complejo ternario de factores de transcripción que activan a los genes que biosintetizan antocianinas; W = WD40, repeticiones de ADN conservado; B = incluye miembros de familias de proteínas con dominios bHLH (hélice básica-bucle-hélice); M = incluye miembros de familias de proteínas con dominios MYB.

Se ha corroborado que el maíz morado es rico en antocianinas (Yang y Zhai, 2010a; Li *et al.*, 2017), las cuales al ser un pigmento natural, permiten considerar que este tipo de

maíz tiene potencial para ser una fuente alterna al uso de colorantes sintéticos (Cuevas *et al.*, 2008); Nolzco y Araujo (2015) señalan que las antocianinas se encuentran en mayor proporción en el olote que en el pericarpio; por su parte, Manzano (2016) indica que es posible extraer 1.879 g de antocianinas • 100 g⁻¹ de olote; no obstante, si los maíces tienen una gran cantidad de antocianinas, tanto en pericarpio como en la capa de aleurona, el grano sigue teniendo potencial para la extracción de pigmentos.

Además de ser utilizado como colorante natural, se ha reportado que el consumo de maíz morado y puntualmente, las antocianinas extraídas de éste, generan beneficios en la salud, pues éstas se reconocen ampliamente por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas, anticarcinogénicas, antiangiogénicas, y antimicrobianas, así como por su efecto hepatoprotector, antiobesidad y su capacidad de reducir y controlar la hiperglucemia, hipercolesterolemia e hipertensión (Tsuda *et al.*, 2003; Arroyo *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2009; Serna *et al.*, 2013; Harakotr *et al.*, 2014; Soto, 2014; Hañari-Quispe *et al.*, 2015).

En una revisión sobre los efectos en salud de los compuestos fenólicos contenidos en maíz morado, Lao *et al.* (2017) describen la forma en la que actúan las antocianinas en el organismo para implementar las propiedades bioactivas mencionadas; en cuanto a la actividad antioxidante, explican que ésta ocurre dada la capacidad de las antocianinas para eliminar los radicales libres, siendo mayor la actividad antioxidante conforme se incrementa la concentración del compuesto bioactivo. Con respecto a la capacidad antiinflamatoria, mencionan que especialmente la cianidina-3-glucósido puede debilitar la inflamación del mesangio (tejido que da soporte vascular y regula el flujo sanguíneo) que es inducida por alta concentración de glucosa; asimismo, controlan la hiperplasia (aumento anormal del tamaño de un órgano o tejido) al alterar la acción inflamatoria de la interleucina-8 (IL-8), que es una proteína relacionada con los procesos inflamatorios, la cual se eleva cuando existe alta concentración de glucosa. Sobre las propiedades antimutagénicas, las antocianinas de maíz morado actúan como un agente capaz de reducir la tasa de mutación (cambios en el material genético), al bloquear el sistema de activación metabólica del mutágeno S9 mix (tejido homogeneizado de un órgano que sirve para evaluar el potencial mutagénico de compuestos químicos, los cuales requieren ser activados metabólicamente para volverse mutagénicos). En relación a las

propiedades anticarcinogénicas, indican que estas antocianinas tienen la capacidad de inhibir o prevenir la actividad de un carcinógeno¹⁸ o el desarrollo de carcinomas. En casos de cáncer de mama puede inhibir el crecimiento, en cáncer de próstata puede retardar la progresión, en cáncer de colon reduce la incidencia de nódulos macroscópicos del colon. También en la carcinogénesis hepática se considera que el maíz morado actúa al modificar los marcadores de ARNm relacionados con el desarrollo de este cáncer, en cáncer de pulmón se ha observado que la cianidina-3-glucósido es capaz de inhibir el desarrollo y proliferación de células tumorales, reducir el tamaño del tumor y la metástasis *in vivo*. En referencia a las propiedades antiangiogénicas, evitan la formación de nuevos vasos sanguíneos a partir de una red vascular. Asimismo, la observación de mejoría en pacientes con enfermedades derivadas del estilo de vida, como la obesidad, se relaciona con que la cianidina-3-glucósido y la cianidina de maíz morado pueden incrementar la secreción de adipocitoquinas, que son moléculas involucradas en la regulación de lípidos o bien, mejorar la expresión génica de adipocitos-específicos (lipoproteína lipasa, ácidos grasos adipocitos enlace proteína 2); en casos de diabetes, el maíz morado reduce la inflamación ocasionada por alta concentración de glucosa y juega un papel renoprotector en la nefropatía diabética, por lo que se piensa que el maíz morado podría ser un potente agente terapéutico para la diabetes y la hipertensión relacionada con la falla renal; adicionalmente, las antocianinas del maíz morado pueden mejorar la diabetes, hiperglicemia e hipertensión a través de la inhibición de enzimas que juegan un papel crítico en el metabolismo de carbohidratos y lípidos. Finalmente, los autores mencionan que los beneficios de las antocianinas en la salud cardiovascular se deben a su capacidad de inhibir la formación de lipoproteínas de baja densidad y de hidroxidrolasas en liposomas de lecitina.

Bajo este contexto, se evidencia y se comprende que es necesario conservar, estudiar y aprovechar la diversidad de los maíces pigmentados existentes en México, además, representa una oportunidad para difundir entre la comunidad científica y entre la población mexicana, la información referente al potencial nutricional y nutracéutico que

¹⁸ Carcinógeno: Sustancia, nucleído radioactivo o radiación capaz de dañar al genoma o capaz de alterar los procesos del metabolismo celular y por lo tanto exacerbar el cáncer o su propagación.

se encuentra preservado en este germoplasma. En el caso específico de los maíces morados, se tiene la expectativa de que pueden ser ampliamente utilizados en la industria, dado que acumulan más antocianinas que otras versiones de maíz pigmentado por lo que tienen gran potencial de aprovechamiento.

Aun cuando se han realizado estudios de diversa índole en este grano (especialmente en maíces andinos), en su mayoría sobre la concentración y el tipo de pigmento, son pocas las investigaciones llevadas a cabo en maíces morados, específicamente en los maíces morados originarios de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, México. Se carece de precedente sobre el potencial productivo de antocianinas de estos genotipos, por lo que en la presente investigación realizada en 37 poblaciones de maíz morado establecidas en tres localidades de los Valles Altos de México, se estudió y valoró el potencial productivo de antocianinas totales en olote, grano completo y sus estructuras (pericarpio y capa de aleurona). Además, se identificó a aquellas poblaciones con mayor capacidad de sintetizar y acumular antocianinas para su inclusión y aprovechamiento como germoplasma en el Programa de Mejoramiento de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Material genético

En los ciclos primavera-verano (P-V) de 2013 y 2014 se establecieron uno y dos ensayos, correspondientemente, en tres ambientes: Campo Agrícola Experimental Montecillo del Colegio de Postgraduados (CP) en Texcoco, Edo. de México, y dos localidades ubicadas en el municipio de San Juan Ixtenco, Tlaxcala: Cañada y Pueblo. En dichos periodos, se sembraron en total 37 poblaciones de maíz morado que fueron aportadas por productores del municipio de Ixtenco y por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados. El objetivo de estudiar estos materiales fue valorar la magnitud del potencial productivo de antocianinas totales, cuantificando la concentración del pigmento en aleurona (AT_{al}), pericarpio (AT_{per}), grano (AT_{gr}) y olote (AT_{olo}). Como genotipos de comparación (testigos) se estudiaron 4 poblaciones de grano azul, 6 de grano blanco de la raza Cacahuacintle (con olote morado), 1 de grano blanco, 1 de grano rojo (Rojo pinolero), 1 de grano rosa, 1 de grano amarillo y 1 de grano trigueño (Cuadro 1).

Cuadro 1. Material genético establecido en el ciclo P-V 2013 y 2014 para valorar la magnitud del potencial productivo de antocianinas totales de poblaciones de maíz morado.

No.	Población	CGr	Origen	No.	Población	CGr	Origen
<i>Maíces Morados</i>							
1	Mor-1	Morado	Ixt-12	20	Mor-20	Morado	Mt-11
2	Mor-2	Morado	Ixt-12	21	Mor-21	Morado	Mt-11
3	Mor-3	Morado	Ixt-12	22	Mor-22	Morado	Ixt-12
4	Mor-4	Morado	Ixt-12	31	Mor-20	Morado	Ixt-13
5	Mor-5	Morado	Ixt-12	32	Mor-26	Morado	Ixt-13
6	Mor-6	Morado	Ixt-12	33	Mor-25	Morado	Ixt-12
7	Mor-7	Morado	Ixt-12	34	Mor-28	Morado	Ixt-13
8	Mor-8	Morado	Ixt-12	35	Mor-21	Morado	Ixt-13
9	Mor-9	Morado	Ixt-12	36	Mor-23	Morado	Ixt-13
10	Mor-10	Morado	Ixt-12	37	Mor-Oax	Morado	Mt-12
11	Mor-11	Morado	Ixt-12	38	Mor-22	Morado	Ixt-13
12	Mor-12	Morado	Ixt-12	39	Mor-27	Morado	Ixt-13
13	Mor-13	Morado	Ixt-12	40	Mor-29	Morado	Ixt-12
14	Mor-14	Morado	Ixt-12	41	Mor-24	Morado	Ixt-13
15	Mor-15	Morado	Ixt-12	42	Mor-Ixtenco SMC ₁	Morado	STez-13
16	Mor-16	Morado	Ixt-12	43	Mor-bordo	Morado	STez-13
17	MorAz-17	Morado	Ixt-12	44	Comp. Mor-SMC ₁	Morado	Mt-13
18	Mor-mix	Morado	Ixt-12	45	Mor-Altecsa	Morado	SLor-13
19	Mor-ancho	Morado	Mt-11				
<i>Testigos</i>							
23	Az-1	Azul	Ixt-12	47	Cac-olomor	Blanco	Mt-13
24	Az-2	Azul	Ixt-12	48	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
25	Az-3	Azul	Ixt-12	49	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
26	Rojo-p SMC ₃	Rojo	Mix-12	50	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
27	Ros	Rosa	Ixt-12	51	Cac-olomor	Blanco	Ixt-13
28	Am	Amarillo	Ixt-12	52	Cac MMR	Blanco	STez-13
29	Trigñ	Trigueño	Ixt-12				
30	Bco	Blanco	Ixt-12				
46	Comp. Az-SMC ₁	Azul	Mt-13				

No. = Número de identificación de la población; CGr = Color de grano; Ixt = Ixtenco, Tlaxcala; Mt = Montecillo, Edo. de México; Mix = Mixquiahuala, Hidalgo; SLor = San Lorenzo, Tlaxcala y STez = San Juan Tezontla, Edo. de México.

Con la finalidad de que las muestras para la extracción y cuantificación de antocianinas expresaran las características propias de cada genotipo, en los ciclos de cultivo P-V 2013 y 2014, en cada población y en cada ambiente se hicieron polinizaciones fraternales, obteniendo 363 mazorcas (# mz) de las cuales fueron seleccionadas 156 # mz para la determinación del contenido de antocianinas totales (CAT). Como criterio de selección se utilizó la sanidad de mazorca, el color de grano oscuro y homogéneo y, sobretodo que fuera la muestra representativa de la población bajo estudio; de tal forma que por cada población se estudiaron 3 mz #, teniendo una mazorca por cada una de las localidades en las que se hicieron las polinizaciones fraternales.

3.4.2. Preparación de la muestra, extracción y cuantificación de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales (CAT) primeramente se determinó en el pericarpio (ATper) y en la capa de aleurona (ATal), para lo cual, se tomó de la parte central de cada mazorca una muestra de 25 granos, los cuales fueron colocados en agua destilada durante 3.5 h para separar el pericarpio del resto del grano. Posteriormente, estas estructuras fueron deshidratadas en una estufa de secado Riossa® HCSD-82 a 40 ° C durante 48 h. Consecutivamente, cada estructura fue pesada (P_{per} = Peso de pericarpio y P_{al} = Peso de aleurona + endospermo + embrión, ambos en g) en una báscula analítica Mettler® HK 160, para que al sumarse los valores de peso seco se pudiera obtener la biomasa total del grano (PT_{gr}). A partir de P_{per} , P_{al} y PT_{gr} se determinó el porcentaje de pericarpio (%per) y el porcentaje del resto del grano (%al) que conformaron PT_{gr} . Después, cada estructura fue pulverizada utilizando un molino eléctrico UDY® Cycle Sample Mill Modelo 3010-014 (10 000 rpm) para obtener un tamaño de partícula de 0.5 mm. En el caso de la cuantificación de antocianinas en aleurona, dado que se trata de una monocapa (aunque a veces hay varias capas) de tejido difícil de separar del resto del grano, fue molido conjuntamente la capa de aleurona, con el endospermo y el embrión; las muestras pulverizadas fueron almacenadas en frascos de vidrio a 4 ° C hasta su análisis.

También se cuantificó CAT en olote (ATolo), para lo cual, cada olote correspondiente a cada una de las 108 mazorcas de polinización fraternal seleccionadas, fue reducido en

tamaño hasta su pulverización, primero utilizando un martillo, después un molino de uso industrial en el Laboratorio de Nutrición Animal, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados y finalmente se usó un molino eléctrico UDY® Cycle Sample Mill, Modelo 3010-014 (10 000 rpm) para obtener un tamaño de partícula de 0.5 mm.

La extracción y cuantificación de ATal, ATper y ATolo se realizó en la Unidad de Laboratorios del Campus Puebla del Colegio de Postgraduados. Las antocianinas fueron extraídas por ultrasonido, para lo cual se pesaron 25 mg de muestra (Per = pericarpio, Al = resto del grano y Olo = olote) en tubos Eppendorf® de 2 mL, se prepararon 3 repeticiones de cada muestra. Posteriormente, a cada tubo se le agregó etanol a 96 % y 1.5 N de ácido clorhídrico (85:15 v/v) utilizando las proporciones sólido-líquido 1:25 en muestras de Al y 1:80 en muestras de Per y Olo. Inmediatamente los tubos fueron colocados en un baño de ultrasonido Ultrasonic Cleaner AutoSCIENCE® AS-5150B durante 15 minutos, y a continuación, las muestras se centrifugaron en una microcentrífuga HERMLE® Z326K a 11510 g (unidades de fuerza centrífuga relativa) durante 5 min, después el sobrenadante fue colectado; se procedió a realizar una segunda extracción y los dos extractos fueron concentrados.

La cuantificación de antocianinas se realizó utilizando un espectrofotómetro de microplaca Thermo Scientific® Varioskan Flash, en el que se hicieron lecturas de absorbancia de los extractos a 535 nm de longitud de onda, para lo cual, de cada extracto se tomaron 3 alícuotas de 200 µl. La cuantificación de antocianinas totales se calculó utilizando la fórmula: $AT = \frac{A \cdot V_{ext} \cdot PM \cdot FD}{\epsilon \cdot P_{mu}}$ donde AT = contenido de antocianinas totales en mg g⁻¹, A = absorbancia a 535 nm, Vext = volumen de extracción en ml, PM = peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449.2 g mol⁻¹), FD = factor de dilución, ε = coeficiente de extinción molar de la cianidina-3-glucósido (26900 L cm⁻¹ mg⁻¹) y Pmu = peso de la muestra en gramos. Una vez que se determinó ATal, ATper y ATolo, los resultados fueron transformados a gramos de antocianinas totales • 100 g⁻¹ de biomasa. El contenido de antocianinas totales en grano (ATgr) se determinó con la fórmula $AT_{gr} =$

$$\left(\frac{\%per \cdot AT_{per}}{100} \right) + \left(\frac{\%al \cdot AT_{al}}{100} \right).$$

3.4.3. Frecuencia de color de las mazorcas

La evaluación de la frecuencia de color de las mazorcas en las poblaciones se hizo durante la cosecha, considerando la producción de mazorcas primarias en cada unidad experimental ($NoMz_1$) de los ensayos establecidos en 2013 y 2014; a la par, éstas fueron clasificadas por su color en: moradas (Mor), azules (Az), rojas (Roj), pintas (Pto) y blancas (Bco); posteriormente, se cuantificó el número de mazorcas pertenecientes a cada categoría de la clasificación. Considerando que $NoMz_1$ fue equivalente a 1.0, por regla de tres se obtuvo la frecuencia de Mor, Az, Roj, Pto y Bco en cada población bajo estudio.

3.4.4. Análisis estadístico

El análisis de los datos de antocianinas totales y frecuencia de color de las mazorcas se hizo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (2009) para Windows versión 9.0, realizando el análisis de varianza combinado con el diseño de Bloques Completos al Azar, así como la comparación de medias correspondiente con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Dado que, a diferencia de las poblaciones de grano morado, los testigos poseen pigmentación del grano y olote notablemente menor o carecen de ella, éstos se excluyeron del análisis estadístico para evitar que se generara sesgo en los resultados.

Asimismo, con el valor medio de las localidades evaluadas se hizo el análisis de componentes principales, usando el procedimiento PROC PRINCOMP de SAS. A partir de la matriz de correlaciones, se obtuvo la estructura de la matriz de correlaciones de cada componente principal ($prin$) i con cada variable original (var orig) j . Posteriormente, con los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2), se hizo un análisis de dispersión gráfico. El coeficiente de correlación de cada variable con el respectivo CP, se obtuvo del producto de su eigenvector y la raíz cuadrada del eigenvalor correspondiente; el cuadrado de este valor dio origen al coeficiente de determinación de cada variable con respecto al CP respectivo. El gráfico de dispersión se realizó mediante el paquete computacional NTSYS (Rohlf, 2009).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Contenido de antocianinas totales en 37 poblaciones de maíz morado

3.5.1.1. Análisis de Varianza

El análisis de varianza combinado, realizado para valorar el potencial productivo de antocianinas de 37 poblaciones de grano morado, indicó que para todas las variables evaluadas hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones (Pob), entre ambientes (Amb) y que la interacción PobxAmb fue significativa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para contenido de antocianinas en aleurona, pericarpio, grano y olote para 37 poblaciones pigmentadas de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.

FV	GL	ATal	ATper	ATgr	ATolo
<i>Contenido de antocianinas</i>					
Ambiente	2	3.14x10 ^{-3**}	13.4**	0.1028**	8.0**
Rep (Amb)	24	1.45x10 ^{-5**}	0.1**	3.80x10 ^{-4**}	0.0139**
Población	36	1.99x10 ^{-3**}	10.7**	0.0439**	1.1**
PobxAmb	70	5.49x10 ^{-4**}	2.9**	0.0107**	1.2**
Error	849 [†]	7.33x10 ⁻⁶	1.54x10 ⁻²	6.68x10 ⁻⁵	0.0024
CV (%)		7.9	11.9	8.9	13.1

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; ATal = Contenido de antocianinas totales en aleurona; ATper = Contenido de antocianinas totales en pericarpio; ATgr = Contenido de antocianinas totales en grano; ATolo = Contenido de antocianinas totales en olote; ** = $P \leq 0.01$; [†]GL del error para ATper = 804, para ATgr = 787 y para ATolo = 833.

3.5.1.2. Contenido de antocianinas totales (CAT) y Análisis de Componentes Principales

El contenido de antocianinas totales (CAT), determinado en capa de aleurona (ATal), pericarpio (ATper), grano (ATgr) y olote (ATolo) de las 37 poblaciones de maíz morado evaluadas en esta investigación, fluctuó entre 0.0547 y 0.0011 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en ATal; 2.4354 y 0.0036 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, en ATper; 0.2121 y 0.0019 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, en ATgr; 0.7704 y 0.0053 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, en ATolo (Cuadro 7A, ver apéndice). El valor promedio para ATal fue de 0.034 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; para ATper fue de 1.046 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; para ATgr

fue de 0.0920 g de AT • 100 g⁻¹ de grano y para ATolo fue de 0.3730 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio del contenido de antocianinas totales de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado y otras con pigmentación distinta al morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	ATal	ATper	ATgr	ATolo
<i>Maíces Morados</i>					
35	Mor-21	0.0547 ^a	2.4354 ^a	0.2121 ^a	0.7005 ^b
41	Mor-24	0.0493 ^b	2.4855 ^a	0.1883 ^b	0.6984 ^b
7	Mor-7	0.0381 ^{df}	1.4596 ^e	0.1140 ^{gh}	0.7715 ^a
43	Mor-bordo	0.0381 ^{df}	1.6291 ^d	0.1254 ^{ef}	0.3963 ^{gh}
14	Mor-14	0.0373 ^{eg}	1.4487 ^e	0.1303 ^{ef}	0.5489 ^{cd}
3	Mor-3	0.0372 ^{eh}	1.9152 ^c	0.1459 ^d	0.5776 ^c
36	Mor-23	0.0360 ^{fi}	1.7063 ^d	0.1218 ^{fg}	0.5557 ^{cd}
45	Mor-Altecsa	0.0390 ^{ce}	1.1768 ^{gh}	0.1045 ^{ik}	0.3586 ^{gj}
40	Mor-29	0.0381 ^{df}	1.1715 ^{gh}	0.1135 ^{gi}	0.3228 ^{jl}
10	Mor-10	0.0373 ^{eg}	0.8865 ⁱ	0.0939 ^l	0.4530 ^{ef}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	Mor-16	0.0287 ^{no}	0.6953 ^{kn}	0.0647 ^{pq}	0.2954 ^{kl}
20	Mor-20	0.0034 ^{pq}	0.6904 ^{kn}	0.0495 ^{su}	0.3447 ^{hk}
19	Mor-ancho	0.0011 ^q	0.0157 ^{rs}	0.0019 ^w	0.0053 ^r
	Prom MMor	0.0340	1.0460	0.0920	0.3730
	DMS	0.0029	0.1354	0.0090	0.0524
<i>Testigos</i>					
24	Az-2	0.0269	0.0032	0.0261	0.0049
26	Rojo-p SMC ₃	0.0028	0.0277	0.0043	0.0145
27	Ros	0.0180	0.0183	0.0180	0.0048
28	Am	0.0009	0.0008	0.0008	0.0046
29	Trigñ	0.0006	0.0014	0.0007	0.0101
30	Bco	0.0005	0.0007	0.0004	0.0269
46	Comp. Az-SMC ₁	0.0491	0.0881	0.0516	0.0039
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
49	Cac-olomor	0.0004	0.0044	0.0006	1.0359
52	Cac MMR	0.0003	0.0012	0.0004	0.0027

No. = Número de identificación de la población; ATal = Contenido de antocianinas totales en aleurona, g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; ATper = Contenido de antocianinas totales en pericarpio, g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; ATgr = Contenido de antocianinas totales en grano, g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATolo = Contenido de antocianinas totales en olote, g de AT • 100 g⁻¹ de olote; Prom MMor = Promedio de poblaciones de Maíz Morado. Valores con las mismas letras por columna, son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Dichas concentraciones indican que la magnitud del potencial productivo de antocianinas es amplia, pues aun cuando todas las poblaciones de maíz morado estudiadas poseen la capacidad de producir antocianinas en el grano y sus estructuras, así como en el olote, algunas mostraron tener mayor potencial de síntesis y acumulación del pigmento, lo cual se evidencia porque hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre éstas.

Se observó que las poblaciones 19 y 21, provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, fueron los genotipos menos productivos (Cuadro 7A, ver apéndice). Por el contrario, las poblaciones 35 y 41 (nativas de San Juan Ixtenco, Tlaxcala) sobresalieron notablemente del resto, por su CAT (Cuadro 3).

En la última década, entre la comunidad científica y en el comercio de productos nutraceuticos se ha promovido el uso de diversas frutas y hortalizas como alimentos ricos en antocianinas; entre las frutas destacan uva morada (*Vitis vinífera* L.), arándano (*Vaccinium myrtillus* L.), zarzamora (*Rubus ulmifolius* L.), frambuesa (*Rubus idaeus* L.), fresa (*Fragaria spp.* L.) y granada (*Punica granatum* L.), mientras que, en el caso de las hortalizas, llaman la atención col morada (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra), zanahoria morada (*Daucus carota* L.), papa morada (*Solanum tuberosum* L.), cebolla morada (*Allium cepa* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.), cuyos CAT reportados se encuentran en el intervalo de 2.4 a 0.002 g de AT \cdot 100 g⁻¹; son arándano, zarzamora y frambuesa, las frutas con mayor CAT (Cuadro 4).

El CAT reportado por Timmers *et al.* (2017) para arándano supera en 1.2 a 2.3 veces a ATper promedio (1.046 g de AT \cdot 100 g⁻¹ de pericarpio) de los maíces morados en estudio, y de 3.5 a 6.4 veces a ATolo promedio (0.373 g de AT \cdot 100 g⁻¹ de olote); en contraste, el valor promedio de ATper y ATolo sólo destacan del CAT de uva morada y zanahoria morada (0.360 y 0.170 g de AT \cdot 100 g⁻¹, respectivamente).

Si bien el arándano y algunas otras frutillas como la zarzamora y la frambuesa tienen alta concentración de antocianinas, se considera que el maíz morado es una fuente óptima de este compuesto, que puede tener mayor potencial de aprovechamiento, comparado con algunas frutas y vegetales ampliamente promocionadas como alimentos funcionales, porque el maíz es un cultivo cuyo precio de grano en el mercado es más accesible, bajo

condiciones de humedad y temperatura adecuadas su vida de anaquel es larga y es un producto que tiene disponibilidad a lo largo del año (Escribano-Bailón *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Contenido de antocianinas totales en distintas especies vegetales.

Fuente de antocianinas	Antocianinas totales	Autor
<i>Frutas</i>		
Uva	0.36 [§]	Silva <i>et al.</i> (2017)
Arándano	0.14-0.49 ⁺	Mercadante y Bobbio (2008)
Arándano	1.3-2.4 [§]	Timmers <i>et al.</i> (2017)
Zarzamora y Frambuesa	0.15-2.2 ⁺	Bowen-Forbes <i>et al.</i> (2010)
Fresa	0.021-0.042 ⁺	Mercadante y Bobbio (2008)
Granada	0.047 ⁺	Galani <i>et al.</i> (2017)
<i>Hortalizas</i>		
Col morada	0.32 ⁺	Mercadante y Bobbio (2008)
Zanahoria morada	0.005-0.17 [§]	Mercadante y Bobbio (2008)
Papa morada	0.002-0.04 [§]	Mercadante y Bobbio (2008)
Cebolla morada	0.049 ⁺	Mercadante y Bobbio (2008)
Berenjena	0.086 ⁺	Mercadante y Bobbio (2008)
<i>Maíz morado</i>		
Capa de aleurona	0.034 [§]	Mendoza (2017) *
Pericarpio	1.046 [§]	Mendoza (2017) *
Grano	0.092 [§]	Mendoza (2017) *
Olote	0.373 [§]	Mendoza (2017) *

Las antocianinas totales se encuentran expresadas en g • 100 g⁻¹; [§] = materia seca; ⁺ = materia fresca; * = Valores promedio de los maíces morados explorados en este estudio.

El 25 de agosto de 2017, del sitio web de Walmart¹⁹ se registró el costo de algunas de las frutas y hortalizas previamente mencionadas; se observó que las frutas se comercializaron entre \$ 49.90 y \$ 79.90 y las hortalizas entre \$ 29.90 y \$69.00. El kg de frutos de granada se vendió en \$ 49.90 y ésta, “desgranada” y empaquetada en \$ 57.00 • 300 g⁻¹; la uva morada se ofreció en \$ 79.90 • kg⁻¹, mientras que la fresa, zarzamora y arándano fresco, en paquetes de 454 g, 170 g y 250 g, respectivamente, se vendieron a un precio promedio de \$ 54.30. De las hortalizas cotizadas, se encontró que el precio por kg de la col morada fue de \$ 29.90, el de la berenjena fue \$ 69.00, mientras que la cebolla

¹⁹ <https://super.walmart.com.mx/> Consultada 25 de agosto de 2017

morada tuvo un precio de \$ 32.90. En contraste, en la feria del maíz de Ixtenco, Tlaxcala de 2016, el kg de maíz morado se vendió aproximadamente en \$ 10.00.

Con lo anterior, se remarca que el maíz es un producto económico, que al lado de estas frutas y hortalizas es más factible de adquirir e inclusive, producir y, dado que los ingresos de la población mexicana son bajos y que una parte considerable de ésta enfrenta situaciones críticas de salud, vivienda y alimentación (Cordera, 2016), resulta conveniente consumir maíz morado. Además, se trata de un cereal que forma parte de la canasta básica de la población (ASERCA, 2016) y, a diferencia de las frutas y hortalizas, el maíz tiene diversos usos culinarios, pudiendo ser consumido como tortilla, en platillos e inclusive en la elaboración de postres o bebidas especiales.

En fechas recientes, se ha mostrado que se puede dar un uso más amplio al grano de maíz (incluyendo a la capa de aleurona y al pericarpio), así como a algunos residuos agrícolas como el olote, lo que abre nuevas perspectivas de uso y valoración de este cultivo; p. e. Manzano (2016) evaluó el proceso de extracción de antocianinas para la obtención del pigmento natural a partir de olote, buscando conferirle un valor agregado a este “desecho” de la cosecha de maíz y a la par, reducir los daños a la salud ocasionados por el consumo excesivo de colorantes sintéticos así como disminuir la contaminación generada por los residuos agrícolas. Otra propuesta de uso integral planteada por Soto *et al.* (2013) en Perú, declaran que es irracional el uso del grano sin ser separado del olote durante la obtención de pigmentos, por lo que sugieren procesar al maíz; es decir, obtener varios productos, como: olote triturado (útil para elaborar soluciones acuosas como la chicha morada o mazamorra morada), harina (adecuada para la panificación) y salvado a base de pericarpio (para elaborar alimentos para animales).

Además del análisis de varianza se realizó el análisis de componentes principales, para explorar el potencial productivo de antocianinas de las poblaciones, así como para detectar cuáles tuvieron características afines y a la vez, determinar qué estructura u órgano tuvo el mayor potencial productivo de antocianinas. Los resultados indican que en las 52 poblaciones de maíz estudiadas (Cuadro 1), los dos primeros componentes principales (CP) explicaron 90.99 % de la variabilidad del contenido de antocianinas totales. El CP1 explicó 67.24 % de la variación total, siendo las variables ATal, ATper y

ATgr las que en mayor proporción influyeron en la determinación del componente, mientras que el CP2 contribuyó con 23.75 % de la variación y se relacionó de forma positiva con ATolo.

En el Cuadro 5 se indican los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas y el primer y segundo componente principal (CP), así como los coeficientes de determinación.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación y de determinación del análisis de componentes principales para la caracterización y valoración de poblaciones de maíz, por su contenido de antocianinas totales.

Variable	Corr (Var _i , Prin _j)		CoefDeterm (Var _i , Prin _j)	
	CP1	CP2	CP1	CP2
<i>52 poblaciones (con y sin CAT)</i>				
ATal	0.8035	-0.3997	* 0.6456	0.1598
ATper	0.9464	0.0296	* 0.8957	0.0009
ATgr	0.9848	-0.0818	* 0.9699	0.0067
ATolo	0.4224	0.8848	0.1784	* 0.7828
Var. Exp. (%)	67.24 %	23.75 %		
Var. Exp. Acum. (%)	67.24 %	90.99 %		
<i>35 poblaciones (con CAT)</i>				
ATal	0.6114	-0.6341	0.3738	0.4020
ATper	0.9180	0.0668	* 0.8428	0.0045
ATgr	0.9618	-0.0454	* 0.9251	0.0021
ATolo	0.6006	0.6162	0.3607	* 0.3797
Var. Exp. (%)	62.56 %	19.71 %		
Var. Exp. Acum. (%)	62.56 %	82.27 %		

Corr (Var_i, Prin_j) = Coeficiente de correlación entre la variable y el componente principal; CoefDeterm (Var_i, Prin_j) = Coeficiente de determinación; CP1 y CP2 = Componente principal 1 y 2, respectivamente; CAT = Contenido de antocianinas totales; ATal = Contenido de antocianinas totales en capa de aleurona; ATper = Contenido de antocianinas totales en pericarpio; ATgr = Contenido de antocianinas totales en grano; ATolo = Contenido de antocianinas totales en olote; Var. Exp. = Varianza explicada; Var. Exp. Acum. = Varianza explicada acumulada; * = Coeficiente de determinación del vector característico de importancia que determina las características del CP.

Las poblaciones fueron diferenciadas en cinco grupos mediante el gráfico de dispersión (Figura 2). Los grupos se formaron con base en ATal, ATper, ATgr y ATolo y se caracterizaron por: **grupo I**, poblaciones de color de grano morado con ATal, ATper, ATgr y ATolo sobresalientes o en al menos tres de estas variables, este grupo fue conformado

por 33 poblaciones (1 a 18, 20, 22, 31 a 34, 36 a 40, 42 a 45), principalmente ubicadas en el cuadrante positivo del CP1 y en ambos cuadrantes del CP2; **grupo II**, poblaciones de color de grano morado con ATal, ATper, ATgr y ATolo sobresalientes, integrado por las poblaciones 35 y 41 y se localizaron en el cuadrante positivo en ambos CP; **grupo III**, poblaciones de diferentes colores de grano (rosa, azul y morado) con ATal sobresaliente, el grupo fue constituido por las poblaciones 27, 23, 24, 25, 21 y 46 y se ubicó en el cuadrante negativo de ambos CP; **grupo IV**, poblaciones de maíz Cacahuacintle de grano blanco y olote morado, sobresalientes por ATolo, fue integrado por las poblaciones 49, 47, 50, 51 y 48 que se localizaron en el cuadrante negativo del CP1 y en el cuadrante positivo del CP2 y, **grupo V**, poblaciones no sobresalientes por CAT, incluyendo a las poblaciones 29, 26, 28, 19, 30 y 52 que tuvieron granos de color trigueño, rojo, amarillo, morado, blanco y también una población de maíz Cacahuacintle de grano blanco, en ambos CP se ubicaron en el cuadrante negativo.

Fue notable que las poblaciones 19 y 21, que pertenecían a las 37 poblaciones de maíz morado (Cuadro 1), se asociaran al grupo V (poblaciones no sobresalientes por CAT) y al grupo III (poblaciones sobresalientes por ATal), respectivamente, ya que esto evidenció que fueron clasificadas erróneamente como maíces morados, pues resultó que en el caso de la población 19 se trató de un maíz de grano de color rojo y en el caso de la población 21, ésta fue afín a las características de las poblaciones con granos de color azul. Si bien, durante el proceso de mejoramiento genético de ambas poblaciones dentro del Programa de Mejoramiento de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, el objetivo fue incrementar su concentración de antocianinas, al incluirlas en el grupo de poblaciones de maíz morado, en donde predominaron los maíces de Ixtenco, se observó que estas poblaciones no consiguieron una CAT cercana a la de las poblaciones que aportaron los productores de la comunidad, lo cual pudo deberse a que tuvieron una conformación genética distinta (población 19 = maíz ancho harinoso y población 21 = generación F3 del cruzamiento de maíz morado peruano x maíz azul de Querétaro, en el cual predominaron las características del grano azul).

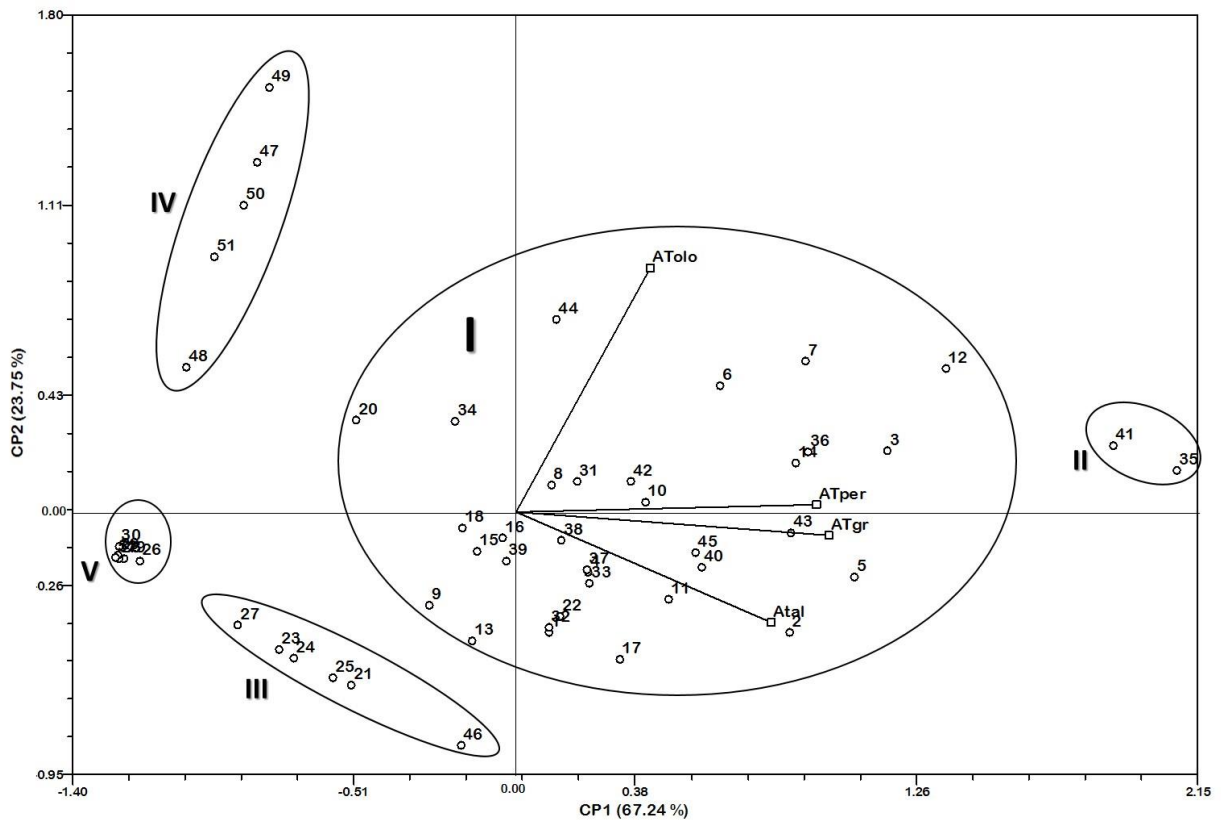


Figura 2. Distribución gráfica de 52 poblaciones de maíz en función de los primeros dos componentes principales. Grupo I = Poblaciones de color de grano morado, con ATal (contenido de antocianinas totales en capa de aleurona), ATper (contenido de antocianinas totales en pericarpio), ATgr (contenido de antocianinas totales en grano) y ATolo (contenido de antocianinas totales en olote) sobresalientes o en al menos tres de éstos; Grupo II = Poblaciones de color de grano morado, con ATal, ATper, ATgr y ATolo sobresaliente; Grupo III = Poblaciones de diferentes colores de grano (rosa, azul y morado) con ATal sobresaliente; Grupo IV = Poblaciones de maíz Cacahuacintle de grano blanco y olote morado, sobresalientes por ATolo; Grupo V = Poblaciones no sobresalientes por contenido de antocianinas totales.

Por lo anterior, y también tomando en cuenta que fue complicado diferenciar entre sí a las poblaciones de maíz morado al considerar a las 52 poblaciones de maíz que constituyen el germoplasma bajo estudio (Figura 2, grupo I), se realizó un nuevo análisis de componentes principales, pero solo tomando en cuenta a las 35 poblaciones que conformaron a los grupos I y II de la Figura 2.

Este análisis indicó que los dos primeros CP explicaron 82.27 % de la variación del contenido de antocianinas totales, en donde CP1 explicó 62.56 % de la variación total y

estuvo relacionado con ATper y ATgr, mientras que CP2 explicó 19.27 % de la variación total y se atribuyó principalmente a ATolo (Cuadro 5).

Con base en la Figura 3 y tomando en cuenta el valor de CAT en cada una de las cuatro variables evaluadas (Cuadro 7A, ver apéndice), también considerando que las poblaciones tuvieron un comportamiento sobresaliente o destacado cuando CAT fue superior al valor promedio, las 35 poblaciones de maíz morado se clasificaron en siete grupos, que tuvieron las siguientes características: **grupo I**, poblaciones con potencial de aprovechamiento integral, puesto que destacaron por su CAT en las cuatro variables evaluadas (ATgr = 0.2121 y 0.1883 g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATper = 2.4855 y 2.4354 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, ATolo = 0.7005 y 0.6984 g de AT • 100 g⁻¹ de olote y ATal = 0.0547 y 0.0493 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa), el grupo se formó por las poblaciones 35 y 41, y se ubicaron en el cuadrante positivo del CP1 y en el cuadrante negativo del CP2; **grupo II**, poblaciones sobresalientes nativas de Ixtenco, de color de grano morado que resaltaron en ATgr, ATper, ATolo y ATal o en al menos tres de éstos, el grupo fue conformado por las poblaciones 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 36, 40, 42, 43 y 45, ubicadas en el cuadrante positivo del CP1 y en ambos cuadrantes del CP2, con intervalos de ATgr = 0.1620 a 0.0762 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, ATper = 2.2658 a 0.7753 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, ATolo = 0.7715 a 0.1485 g de AT • 100 g⁻¹ de olote y ATal = 0.0414 a 0.0306 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; **grupo III**, poblaciones sobresalientes en ATal, incluyó a las poblaciones 1, 4, 17, 22, 32, 33, 38 y 39, ubicadas en ambos CP en el cuadrante negativo, con intervalos de ATgr = 0.0986 a 0.0570 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, ATper = 1.0608 a 0.5110 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, ATolo = 0.3832 a 0.1019 g de AT • 100 g⁻¹ de olote y ATal = 0.0415 a 0.0349 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; **grupo IV**, poblaciones intermedias, incluyó a las poblaciones 8, 31 y 37 ubicadas en el cuadrante negativo del CP1 y en el cuadrante positivo del CP2, con intervalos de ATgr = 0.0976 a 0.0661 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, ATper = 1.2787 a 0.5872 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, ATolo = 0.4673 a 0.1819 g de AT • 100 g⁻¹ de olote y ATal = 0.0356 a 0.0223 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; **grupo V**, población sobresaliente por ATolo, se conformó por la población 44 localizada en ambos CP en el cuadrante negativo, con ATgr = 0.0604 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, ATper = 0.6358 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, ATolo = 0.7704 g de AT • 100 g⁻¹ de olote y ATal = 0.0284 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; **grupo**

VI, población de germoplasma exótico (población 20), se encontró en el cuadrante negativo de ambos CP, con $AT_{gr} = 0.0495$ g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de grano, $AT_{per} = 0.6904$ g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de pericarpio, $AT_{olo} = 0.3447$ g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de olote y $AT_{al} = 0.0034$ g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de biomasa y, **grupo VII**, poblaciones no sobresalientes, en este grupo se encontraron las poblaciones 9, 13, 15, 16, 18 y 34, y se ubicaron en el cuadrante negativo del CP1 y ambos cuadrantes del CP2, sus intervalos fueron $AT_{gr} = 0.0647$ a 0.0405 g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de grano, $AT_{per} = 0.6953$ a 0.2043 g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de pericarpio, $AT_{olo} = 0.5710$ a 0.0824 g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de olote y $AT_{al} = 0.0364$ a 0.0287 g de AT $\cdot 100$ g⁻¹ de biomasa.

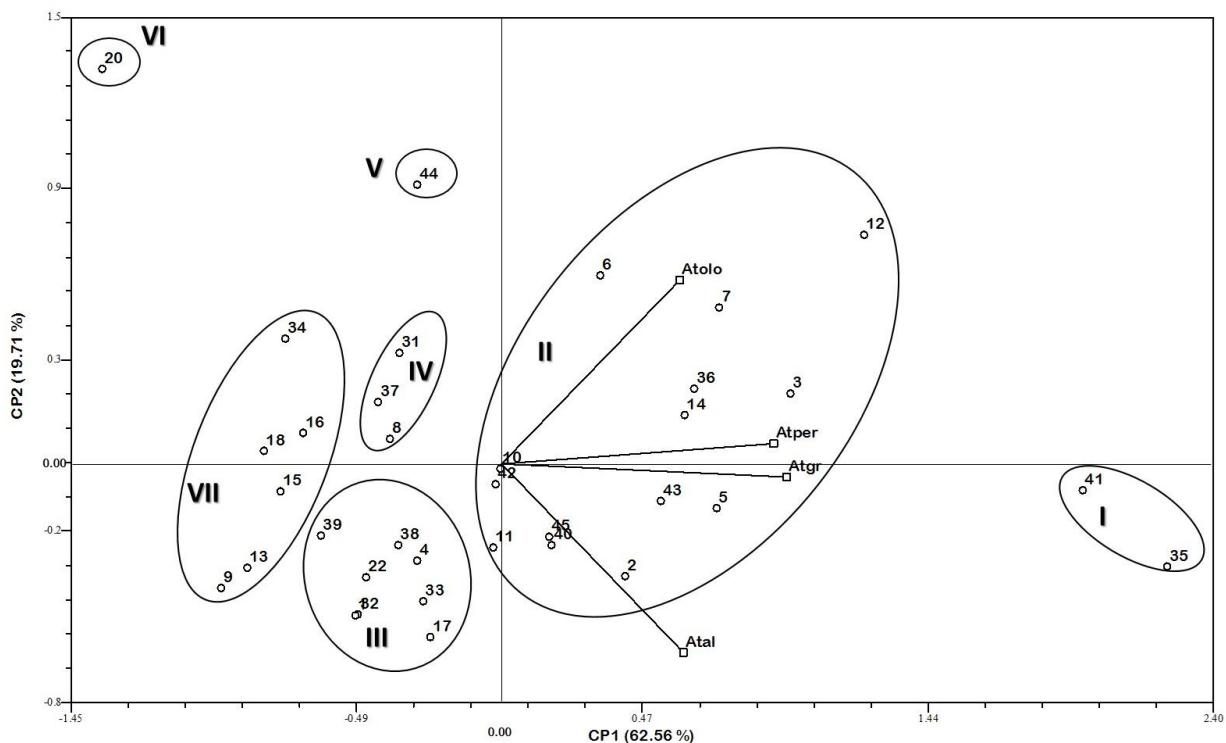


Figura 3. Distribución gráfica de 35 poblaciones de maíz morado en función de los primeros dos componentes principales. Grupo I = Poblaciones con potencial de aprovechamiento integral; Grupo II = Poblaciones sobresalientes nativas de Ixtenco; Grupo III = Poblaciones sobresalientes en contenido de antocianinas en aleurona; Grupo IV = Poblaciones intermedias; Grupo V = Población sobresaliente en contenido de antocianinas en olote, Grupo VI = Población de germoplasma exótico y Grupo VII = Poblaciones no destacadas por contenido de antocianinas totales.

Se considera que el desempeño notable del grupo I estuvo asociado a que sus poblaciones han concentrado alelos y genes favorables en su conformación genética,

pensando que se trata del grupo con mayor pureza, la cual ha sido promovida por la selección que han realizado los productores que cuidan de estos materiales; asimismo, el grupo II, se formó con poblaciones con gran potencial de aprovechamiento, por lo que sería posible que a partir de éstas, se propusieran esquemas de selección, o esquemas para derivar líneas o híbridos con el fin de incrementar el CAT; sin olvidar, que el alcance inmediato de dicho objetivo podría ser limitado por interacciones alélicas, epistáticas, y epigenéticas, pero la meta es alcanzable (Ford, 2000).

En cuanto a los grupos IV y VI, es interesante observar que fueron agrupamientos que se asociaron conforme al origen geográfico de las poblaciones, ya que en el grupo IV se encontró la población 37 (originaria de Oaxaca) que, a pesar de provenir de un ambiente distinto, tuvo características afines a las de las poblaciones 31 y 8 (nativas de Ixtenco); en cambio, la población 20, del grupo VI, a pesar de tener capacidad para acumular antocianinas y ser de grano morado, se diferenció completamente de los maíces morados mexicanos.

El grupo V se diferenció de los grupos I y II, debido a que la población 44 se formó a partir de mazorcas de varias poblaciones nativas de Ixtenco de grano morado, esperando incrementar CAT en todos los órganos y estructuras estudiados; sin embargo, la principal ganancia se tuvo en ATolo e inclusive, fue la población que tuvo el valor máximo para esta variable. Finalmente, el grupo VII concentró poblaciones que no fueron sobresalientes, de acuerdo a los estándares discutidos, pero que sí tuvieron capacidad para sintetizar antocianinas, aunque en menor grado que los grupos I y II.

3.5.1.3. Contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona (ATal)

Las 37 poblaciones de maíz morado estudiadas en este trabajo, mostraron que poseen la capacidad de sintetizar y acumular antocianinas en la capa de aleurona; pero, dicha capacidad fue diferente entre poblaciones, ambientes y, dada la interacción PobxAmb significativa, no todas las poblaciones siguieron la misma tendencia en los ambientes evaluados ($P \leq 0.01$) (Cuadro 2).

Las diez poblaciones superiores por su contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona (ATal), ordenadas de mayor a menor concentración, fueron: 35, 41, 33, 42, 38, 45, 4, 40, 7 y 43, con valores de 0.0547 a 0.0381 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice). También se encontró que 15 poblaciones más (poblaciones

32, 14, 10, 3, 1, 39, 17, 9, 36, 8, 22, 2, 11, 5 y 21; Cuadro 7A, ver apéndice), superaron al valor promedio de ATal (0.0340 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa). Se infiere que en general, los maíces morados producen mayor cantidad de antocianinas o una proporción similar de ATal, que los maíces de grano de color azul (estos acumulan antocianinas solo en la aleurona), pues los testigos de granos azules (poblaciones 23 a 25) tuvieron entre 0.0326 y 0.0247 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa (Cuadro 7A, ver apéndice); además, valores análogos en CAT (0.03 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) fueron reportados por Abdel *et al.* (2006), del Pozo-Insfran *et al.* (2006), de la Parra *et al.* (2007) y Espinosa *et al.* (2009), para genotipos de grano azul.

Aunque los maíces azules sólo sintetizan antocianinas en la capa de aleurona (Somavat, 2017), se ha evidenciado que la acumulación de antocianinas puede ser aún mayor; Urias-Lugo *et al.* (2015) cuantificaron hasta 0.1052 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en el híbrido de maíz azul élite 503 x 67; Urias-Peraldí *et al.* (2013) reportaron una concentración de 0.0783 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en el híbrido de maíz azul 33 x 58 y, en la presente investigación, ATal de la población 46 (testigo de grano azul) superó a la concentración de los otros genotipos azules (0.0491 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa); lo cual se atribuye a su origen genético y a la implementación de un ciclo de selección masal estratificada; la población base se conformó por un compuesto balanceado de mazorcas de polinización controlada (fraternales) con coloración de grano azul intenso (oscuro), obtenidas de distintas poblaciones nativas de maíz morado de Ixtenco, en 2013. Lo anterior demuestra que es posible incrementar ATal mediante esquemas de mejoramiento genético, también es un hecho que una gran cantidad de genes, interacciones génicas, epistáticas y epigenéticas, participan y controlan la síntesis del pigmento (Ford, 2000; Feschotte *et al.*, 2002), por lo que la obtención inmediata de materiales con alto potencial productivo del flavonoide puede resultar compleja, tal como ocurrió con la población 44, que se encontró entre las 5 poblaciones (poblaciones 44, 31, 37, 20 y 19) con ATal inferior (Cuadro 7A, ver apéndice), y que se formó bajo el mismo esquema que la población 46 (en este caso, el criterio de selección fue el color de grano morado intenso). Si bien la ATal que esta población produjo fue similar (0.0284 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) a la de los testigos azules, se consideró que el resultado de la práctica de mejoramiento genético no fue exitoso, ya que las poblaciones nativas de

grano morado, sin selección, tuvieron mayor concentración de ATal. Sin embargo, se hace hincapié en que existe la posibilidad de incrementar el potencial productivo de antocianinas en la capa de aleurona de estas poblaciones, especialmente en las 25 poblaciones con ATal por encima del valor promedio.

En ocasiones el proceso de mejoramiento puede ser azaroso, ya que el avance o la ganancia genética depende de la conformación genética de los materiales de los que parte el programa de mejoramiento genético, así como de una compleja red reguladora que comprende interacciones entre tejido específico, factores de desarrollo y factores ambientales (Cone, 2007). En el caso de la población 44, es probable que al conformar el compuesto balanceado con mazorcas de distintas poblaciones, y dado el origen nativo de éstas, se dieron combinaciones alélicas no muy oportunas, derivadas de la variabilidad genética intra e interpoblacional. Ron-Parra *et al.* (2016) señalan que para que haya pigmentación de la capa de aleurona, se requiere que los genes estén en estado homocigótico y Yáñez *et al.* (2016) indican que además se necesita la presencia de alelos dominantes, aunque como existe gran complejidad en la ruta de biosíntesis, también es probable que intervinieran otros factores como los señalados por Cone (2007).

Dentro del grupo de testigos, también se cuantificó ATal en granos de color rojo (población 26) y rosa (población 27), pues por la coloración percibida, se consideró que contenían antocianinas; no obstante, dicha concentración fue tan solo de 0.0028 y 0.0180 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, respectivamente; similares a ATal de las poblaciones 16, 44, 20 y 19 (Cuadro 7A, ver apéndice).

En la población 26 se observó que el pigmento se acumuló principalmente en el pericarpio y en menor cantidad en la capa de aleurona, y que pese a la intensidad de la coloración percibida, el rendimiento de antocianinas fue bajo, por lo que, tal vez, ese color sea debido a la presencia de flobafenos, que son pigmentos asociados a maíz, sintetizados en la ruta de los flavonoides (Figura 1, Figura 4h) y que parcialmente son responsables de impartir color rojo al grano (Peñarrieta *et al.*, 2014).

En la Figura 4 se muestra la coloración de la capa de aleurona de algunas poblaciones estudiadas (ordenadas de mayor a menor ATal); asimismo, dicha figura permite exhibir que aunque el color de grano azul, rojo, rosa o morado fue intenso y uniforme, una vez

que se retiró el pericarpio, la coloración de la capa de aleurona fue variable en la superficie, en tono e/o intensidad. Las Figuras 4a, 4i y 4g corresponden a las poblaciones de grano morado: 35 (ATal superior = 0.0547 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa), 19 (ATal inferior = 0.0011 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) y 20 (germoplasma exótico = 0.0034 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) que desplegaron coloraciones diferentes, siendo más intensa en los granos con mayor ATal. La población 21 de grano morado (Figura 4c; ATal = 0.0342 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) tuvo coloración similar a la de las poblaciones 46 y 24 de grano azul (Figura 4b y Figura 4d; ATal = 0.0491 y 0.0269 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, respectivamente), mientras que la población 37 de grano morado (Figura 4e; ATal = 0.0223 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) fue similar en color a la capa de aleurona de algunos granos de la población 27 (rosa) (Figura 4f; ATal = 0.0180 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa). Finalmente, en las poblaciones de grano amarillo, trigueño y blanco (Figuras 4j a 4n), no hubo pigmentación que evidenciara la presencia de antocianinas, aunque en las determinaciones de laboratorio sí se detectó, pero fue reducida o casi imperceptible (ATal = 0.0003 a 0.0020 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa) (Cuadro 7A, ver apéndice). En el caso de la población 20 (Figura 4g), se esperaba que, dado que posee germoplasma de Perú y que dichos maíces contienen altas concentraciones de antocianinas, tuviera ATal sobresaliente; sin embargo, algunas poblaciones nativas de Ixtenco superaron su ATal (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice).

El ambiente en el que ATal de los maíces morados fue superior fue en Pueblo, seguido por Cañada y finalmente Montecillo, con concentraciones desde 0.0383 hasta 0.0305 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa (Cuadro 6).

En Montecillo, Cañada y Pueblo, el valor máximo de ATal fue: 0.0649 (población 35), 0.0552 (población 1) y 0.0755 (población 41) g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, respectivamente (Cuadro 8A, ver apéndice).



Figura 4. Coloración de la capa de aleurona de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento. a = Población 35 (grano morado); b = Población 46 (grano azul); c = Población 21 (grano morado); d = Población 24 (grano azul); e = Población 37 (grano morado); f = Población 27 (grano rosa); g = Población 20 (grano morado); h = Población 26 (grano rojo); i = Población 19 (grano morado); j = Población 28 (grano amarillo); k = Población 29 (grano trigüeño); l = Población 30 (grano blanco); m = Población 49 (grano blanco, Cacahuacintle) y n = Población 52 (grano blanco, Cacahuacintle). Ordenadas de mayor a menor concentración de antocianinas totales.

Cuadro 6. Promedio por ambiente del contenido de antocianinas y valores máximos y mínimos de 37 poblaciones de maíz morado, estudiadas durante 2013 y 2014.

Ambiente	ATal	ATper	ATgr	ATolo
Montecillo	0.0305 _c	0.7771 _c	0.0718 _c	0.2880 _b
Cañada	0.0341 _b	1.0719 _b	0.0923 _b	0.2789 _b
Pueblo	0.0383 _a	1.3266 _a	0.1154 _a	0.5709 _a
DMS	0.0007	0.0603	0.0039	0.0232

ATal = Contenido de antocianinas totales en aleurona, g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; ATper = Contenido de antocianinas totales en pericarpio, g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; ATgr = Contenido de antocianinas totales en grano, g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATolo = Contenido de antocianinas totales en olote, g de AT • 100 g⁻¹ de olote. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

La interacción PobxAmb ($P \leq 0.01$) permitió observar que en los ambientes de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, 27 poblaciones tuvieron mayor capacidad de síntesis y acumulación de antocianinas en la capa de aleurona (Cuadro 8A, ver apéndice), lo que evidenció su alta adaptación a dichas localidades. En cambio, al comparar ATal de cada población con la obtenida en cada uno de los ambientes de estudio, se encontró que 15 poblaciones (1, 6, 8, 10, 14, 22, 31, 33, 37, 38, 39, 42, 43, 44 y 45; Cuadro 8A, ver apéndice) redujeron ATal en Montecillo (mostraron el potencial inferior bajo estas condiciones); por lo que se considera que hubo un impacto en la producción del pigmento que pudo estar relacionado con la modificación de los factores ambientales durante su cultivo. Hawrylak (2008) y Senica *et al.* (2017) indican que la altitud, temperaturas extremas, sequía, deficiencias de nitrógeno y fósforo, entre otros, son factores que afectan la concentración de antocianinas, siendo generalmente las condiciones que incrementan su producción. Dado que en Montecillo hubo cambios en el esquema de siembra, fertilización, disponibilidad de humedad, textura del suelo, altitud, etc., y en especial en las condiciones de manejo, con el fin de proveer al cultivo condiciones óptimas para la producción de grano, se especuló que dichos cambios, incrementarían la acumulación del pigmento en la capa de aleurona; sin embargo, es probable que al reducir la incidencia de factores que ocasionan estrés en la planta, se estuviera ocasionando la disminución del potencial productivo de antocianinas de las poblaciones. No obstante, para aseverar completamente que esto ocurrió, se requieren estudios adicionales.

Sin embargo, se identificaron 8 poblaciones (2, 7, 9, 32, 34, 35, 19 y 21; Cuadro 8A, ver apéndice) que tuvieron el mejor desempeño en Montecillo, por lo que se considera que éstas pueden adaptarse a los cambios ambientales (plasticidad) o tal vez, es probable que dentro de su conformación genética (con excepción de las poblaciones 19 y 21), existe una alta frecuencia de alelos dominantes y/o genes homocigóticos que les permiten preservar la capacidad de sintetizar y acumular antocianinas al cambiar drásticamente de ambiente.

La interacción PobxAmb también permitió identificar a las diez poblaciones que en dos o al menos en un ambiente, se ubicaron entre las diez poblaciones con mayor ATal, siendo éstas las poblaciones: 35, 41, 45, 17, 40, 33, 3, 7, 36 y 5 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Promedio del contenido de antocianinas totales en capa de aleurona y pericarpio, por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	ATal			ATper		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
35	Mor-21	0.0649a	0.0380ei	0.0611b	2.1188b	2.3485b	2.9418a
41	Mor-24	0.0462bc	0.0292km	0.0755a	4.8539a	1.9556d	1.9628ef
3	Mor-3	0.0372dg	0.0355gj	0.0388fj	2.1698b	2.2430bc	1.0841jm
7	Mor-7	0.0473b	0.0324jl	0.0364gk	1.1479df	0.9599ik	2.3723b
36	Mor-23	0.0338gk	0.0336ik	0.0412eg	1.2915ce	2.2913b	1.6010gh
5	Mor-5	0.0336gk	0.0407dg	0.0286lm	1.3671cd	2.9412a	1.7566fg
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	Mor-2	0.0354ei	0.0353gj	0.0327kl	2.1238b	2.2599bc	1.5779gh
11	Mor-11	0.0349fj	0.0314jm	0.0371gk	1.4048c	0.1665qt	2.4962b
12	Mor-12	0.0298jn	0.0293km	0.0328kl	2.1314b	2.8810a	1.7850fg
17	MorAz-17	0.0425bd	0.0233no	0.0439df	0.5979ko	0.4135nq	2.0990ce
33	Mor-25	0.0300in	0.0432ce	0.0513c	0.5369lp	0.4152nq	1.2553ik
40	Mor-29	0.0356eh	0.0344ik	0.0443df	0.6463ko	0.9096jl	2.0571de
43	Mor-bordo	0.0321gm	0.0420ce	0.0400eh	1.0108fh	1.4903ef	2.4635b
45	Mor-Altecsa	0.0279mo	0.0437cd	0.0454de	0.7621hl	0.569mo	2.3270bc
DMS		0.0055			0.2523		

No. = Número de identificación de la población; ATal = Contenido de antocianinas totales en aleurona, g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; ATper = Contenido de antocianinas totales en pericarpio, g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Las poblaciones 35 y 41 sobresalieron notablemente del resto, por ser estadísticamente diferentes, ya que en Montecillo tuvieron ATal de 0.0649 y 0.0462 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa y en Pueblo, de 0.0611 y 0.0755 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, respectivamente (Cuadro 7).

Debido a su capacidad de acumular antocianinas en la capa de aleurona, confirmada por ATal, se considera que las diez poblaciones mencionadas son germoplasma que debe ser conservado y mejorado dentro del Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados.

3.5.1.4. Contenido de antocianinas totales en pericarpio (ATper)

El pericarpio representa entre 5 y 6 % del peso del grano y las 37 poblaciones de maíz morado mostraron tener potencial para producir antocianinas en este tejido. La capacidad para sintetizar y acumular el pigmento en el pericarpio de estos maíces fue contrastante entre poblaciones y entre ambientes ($P \leq 0.01$). Además, debido a la interacción PobjAmb ($P \leq 0.01$) las poblaciones siguieron una tendencia diferente en los ambientes estudiados (Cuadro 2).

Se encontró que las poblaciones 41, 35, 12, 5, 2, 3, 36, 43, 7 y 14 fueron las diez sobresalientes por el contenido de antocianinas totales en pericarpio (ATper) (mencionadas de mayor a menor ATper); tuvieron desde 2.4855 hasta 1.4487 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice). Además, las poblaciones 41, 35, 12 y 5, destacaron notablemente porque produjeron más de 2 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, y sólo las dos primeras fueron estadísticamente similares. En siete poblaciones más (11, 37, 6, 45, 40, 17 y 31) se observó que ATper fue superior a ATper promedio = 1.0460 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio (Cuadro 3; Cuadro 8A, ver apéndice). Las 17 poblaciones señaladas, en su mayoría originarias de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, exhibieron notable potencial productivo de ATper; asimismo, superaron la capacidad de síntesis del pigmento de otros maíces morados evaluados, como fue el caso de las poblaciones 42, 20 y 44 que tuvieron entre 0.7753 y 0.6358 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; de las cuales se tenía la expectativa de que fueran más productivas que las poblaciones nativas, dado que en ellas se implementó la metodología de selección en busca de incrementar ATper (poblaciones 42 y 40), o se esperaba tener mayor ATper

debido a que en su conformación genética contenían germoplasma exótico peruano (población 20).

Asimismo, las 17 poblaciones sobresalientes tuvieron ATper similar a la del maíz morado de Perú estudiado por Monroy *et al.* (2016) (ATper = 1.06 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio), también a ATper de los maíces de las razas arrocillo y peruano, reportados por Salinas *et al.* (2005), cuyos ATper = 1.473 y 1.524 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, respectivamente; inclusive, existe la posibilidad de que los valores de ATper obtenidos en la presente investigación, pudieran estar subestimados en comparación con los valores de ATper determinados por Salinas *et al.* (2005), pues el método de extracción de antocianinas utilizado por estos investigadores, pudo ser más eficiente que el implementado en este trabajo, dado que ellos realizaron mayor número de extracciones (3 extracciones) y utilizaron un solvente de extracción más potente (metanol), por lo que si esta aseveración fuera comprobada, entonces, los maíces morados de Ixtenco pueden tener un potencial de producción de antocianinas superior. Sin embargo, es indudable que estos maíces nativos, representan una gran riqueza genética de amplia utilidad para los programas de mejoramiento genético enfocados al aprovechamiento de este metabolito secundario extraído del pericarpio.

En cuanto a los testigos, sólo las poblaciones 46, 26 y 27 (grano de color azul, rojo y rosa, respectivamente), tuvieron ATper de interés, con un valor de 0.0881, 0.0277 y 0.0183 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, correspondientemente. Puesto que los maíces de grano de color azul no acumulan antocianinas en el pericarpio (Salinas *et al.*, 2013; Somavat, 2017), la detección de ATper en la población 46, así como en las otras poblaciones de grano azul (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice), resultaron suspicaces, por lo que se revisó el registro fotográfico de las muestras de pericarpio, en busca de una explicación, encontrando que en el caso de la población 46, ATper se relacionó con el origen genético de la población, pues ésta se derivó de poblaciones de grano morado, por lo que algunos granos de las mazorcas estudiadas tuvieron pericarpio incoloro (típico en granos de color azul) y otros tuvieron pericarpio pigmentado (hubo segregación). En las poblaciones de grano azul, se concluyó que hubo trazas de la capa de aleurona que se quedaron adheridas al pericarpio (Figura 5p); lo mismo ocurrió con los testigos de grano blanco de la raza Cacahuacintle con olote morado (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver

apéndice), ya que pequeñas porciones del pedicelo del grano que estaban pigmentadas permanecieron adheridas al pericarpio.

Ya que las poblaciones 26 y 27 (grano rojo y rosa) fueron los únicos testigos que visiblemente mostraron acumulación de antocianinas en el pericarpio (Figura 5l y Figura 5m), se comparó su ATper con ATper de las 37 poblaciones de maíz morado estudiadas, determinando que sólo las poblaciones 19 y 21 tuvieron ATper inferior a estos testigos (0.0157 y 0.0036 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, respectivamente). Espinosa *et al.* (2009) indican que existe correlación positiva entre la intensidad del color observado con la concentración del pigmento, lo cual coincidió con el aspecto del pericarpio de estas dos poblaciones, ya que la coloración de la población 19 fue rojiza (Figura 5n) y la de la población 21, fue casi imperceptible (Figura 5o); en cambio, el color e intensidad del pericarpio de las poblaciones 41 y 35 (de ATper superior) fue marcadamente más oscuro (Figura 5a y Figura 5b). En general, se verificó que los maíces explorados poseen alto potencial para sintetizar antocianinas en el pericarpio, ya que, con base en ATper promedio, se tuvo que estas poblaciones producen entre 38 y 57 veces más ATper que las poblaciones 26 y 27, respectivamente.

Respecto al color del pericarpio del grano de maíz, Broa (2012) y Yáñez *et al.* (2016), describen que éste puede ser de color anaranjado, café claro, marrón, rojo (claro u oscuro), negro, blanco, amarillo o variegado. En las 37 poblaciones analizadas se encontró que a pesar de que éstas se identificaron como maíces de grano morado; la intensidad, el tono y distribución de la coloración en el pericarpio fue variable, como se muestra en la Figura 5. Lo anterior se asoció a la acción de los genes involucrados en la síntesis de antocianinas en el pericarpio, que afectaron el patrón de distribución del pigmento y su intensidad, lo cual, en consecuencia, afectó a ATper. Desde la Figura 5a hasta la Figura 5f, se muestran 6 de las 10 las poblaciones moradas con ATper superior, mientras que la Figura 5g corresponde a la población 37 cuyo origen es Oaxaca (1.2787 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio); la Figura 5h representa al pericarpio de la población 31, la cual tuvo ATper similar a ATper promedio (1.0580 y 1.0460 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, correspondientemente).



Figura 5. Coloración del pericarpio de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento. a = Población 41 (grano morado); b = Población 35 (grano morado); c = Población 12 (grano morado); d = Población 2 (grano morado); e = Población 43 (grano morado); f = Población 14 (grano morado); g = Población 37 (grano morado); h = Población 31 (grano morado); i = Población 20 (grano morado); j = Población 34 (grano morado); k = Población 9 (grano morado); l = Población 26 (grano rojo); m = Población 27 (grano rosa); n = Población 19 (grano morado); o = Población 21 (grano morado) y p = Población 24 (grano azul). Ordenadas de mayor a menor concentración de antocianinas totales.

De la Figura 5i a la Figura 5k se observa que hubo un cambio en el tono del pericarpio, dichas figuras muestran un tono más rojizo y menos oscuro y corresponden a las poblaciones 20, 34 y 9 (0.6904 a 0.2043 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio). Finalmente, la Figura 5n, con pericarpio rojizo y de menor concentración que las poblaciones de grano rojo y rosa (Figura 5l y Figura 5m), pertenece a la población 21 que solo tuvo 0.0036 g de AT g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, que aunque se consideró en el grupo de maíces morados, probablemente tuvo tan baja concentración porque se trata de la generación F3 del cruzamiento de un genotipo morado peruano x maíz azul en donde predominan las características del pericarpio de grano azul.

En referencia a los ambientes evaluados, se encontró que en Pueblo se tuvo ATper por encima de lo que se obtuvo en los otros dos ambientes, con una concentración de 1.3266 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio. La diferencia entre el ambiente con ATper inferior y el ambiente con ATper superior fue 0.5495 g de AT g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio (Cuadro 6).

La interacción PobxAmb ($P \leq 0.01$) permitió observar que en los dos ambientes de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, 32 poblaciones tuvieron mayor capacidad de síntesis y acumulación de antocianinas en el pericarpio, mientras que 5 poblaciones (16, 21, 37, 38 y 41) mostraron su mayor potencial de acumulación de antocianinas en el pericarpio en Montecillo (Cuadro 8A, ver apéndice); dentro de éstas últimas, llamó la atención la población 41, pues tuvo 4.8539 g de AT g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio. Dada la significancia de la interacción PobxAmb, se considera que ATper fue afectada negativamente por los mismos factores que fueron expuestos para ATal.

Asimismo, mediante la interacción PobxAmb se identificó que las poblaciones 35, 41, 12, 3, 7, 36, 5, 2, 11 y 43 se encontraron entre las diez poblaciones con mayor ATper, en todos los ambientes estudiados o en al menos dos de ellos (Cuadro 7). De estos diez genotipos, las poblaciones 35, 41 y 12 mostraron un desempeño destacado, pues mantuvieron ATper similar en cada ambiente; aunque además, exhibieron su mayor potencial en una localidad específica, p. e. de todas las poblaciones estudiadas, la población 35 tuvo ATper superior en Pueblo (2.9418 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio), la población 41 tuvo el mayor ATper en Montecillo (4.8539 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio),

y en la Cañada, la población 12 tuvo el máximo ATper (2.8810 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio) (Cuadro 7).

Con los valores de ATper obtenidos en estas poblaciones de maíces morados, se corrobora que el pericarpio es un tejido con amplio potencial de aprovechamiento, que inclusive, aunque representa una porción pequeña de la biomasa del grano, sigue siendo una fuente de antocianinas sobresaliente. Salinas *et al.* (2013) señalan que el pericarpio del maíz es un suministro adecuado para la obtención de colorantes naturales, y Soto *et al.* (2013) proponen que sea aprovechado como un subproducto derivado del procesamiento del grano de maíz, en el que por un lado se puede obtener harina del endospermo, rica en antocianinas y apropiada para la panificación y, por otro, producir salvado a partir del pericarpio pigmentado, que puede ser utilizado para alimentar animales, o como lo sugiere Aparicio (2013), para aprovechar tanto las propiedades de las antocianinas como las de otros compuestos funcionales presentes en este tejido (fibra cruda en forma de hemicelulosa, celulosa y lignina, proteínas, cenizas, azúcar).

3.5.1.5. Contenido de antocianinas totales en grano (ATgr)

El contenido de antocianinas totales en grano (ATgr) fue un indicador general que reflejó el potencial de las poblaciones para biosintetizar antocianinas (Cuadro 3), pues aunque algunas de ellas destacaron por su alto contenido en ATper y/o ATal, si la intención de aprovechamiento es utilizar el grano como tal, las concentraciones de antocianinas por unidad de peso de grano son diferentes, dada la proporción del grano que constituye la biomasa del pericarpio y el endospermo (que contiene a la capa de aleurona pigmentada).

Se detectó que entre poblaciones hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) para ATgr. Las diez poblaciones más productivas, ordenadas de mayor a menor ATgr, fueron: 35, 41, 12, 5, 3, 2, 14, 43, 36 y 7, con un intervalo de ATgr de 0.2121 a 0.1140 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Cuadro 7A, ver apéndice). En promedio, las 37 poblaciones evaluadas tuvieron 0.0920 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Cuadro 3); y solamente las poblaciones 40, 6, 45, 11, 17, 37 y 10, aunadas a las ya mencionadas, superaron ATgr promedio. En contraste, las cinco poblaciones de maíz morado con ATgr menor fueron 20, 9, 34, 21 y

19, con ATgr desde 0.0495 hasta 0.0019 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Cuadro 7A, ver apéndice).

Aunque ATgr de la población 35 fue el valor máximo obtenido, se tiene evidencia de que hay genotipos de grano morado con mayor rendimiento que el de esta población, siendo entre 1.4 hasta 8.4 veces superior, con una concentración desde 1.78 hasta 0.3045 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Li *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2008; Lopez-Martinez *et al.*, 2009; Yáñez *et al.*, 2016). La alta concentración de antocianinas en el grano de dichos genotipos se atribuye a que son variedades mejoradas o híbridos, en los cuales se ha incrementado la frecuencia de alelos favorables para aumentar ATgr, y también a que se ha ido uniformizando la coloración de los granos de la mazorca. En cambio, la mayoría de las poblaciones estudiadas se encuentran en su estado nativo; es decir, que aunque tienen capacidad sobresaliente para acumular antocianinas en el grano, dicha capacidad productiva aún tiene posibilidades de ser incrementada mediante manejo y a través de mejoramiento genético, tal como lo hicieron Yáñez *et al.* (2016) con la variedad de maíz negro INIAP-199 PL “Racimo de uva”, la cual se formó en un periodo aproximado de 10 años a partir de colectas de poblaciones nativas.

Sin embargo, aún en su estado actual, se observaron poblaciones que en cuanto a su ATgr fueron similares o superiores a híbridos o variedades que son reconocidas como fuentes de antocianinas, como la población 12 comparada con la variedad comercial de maíz morado de grano ceroso (Khampas *et al.*, 2013), las cuales tuvieron 0.1620 y 0.1650 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, respectivamente; o el maíz peruano (Salinas *et al.*, 2005), maíz morado dulce ceroso (Harakort *et al.*, 2014) y maíz boliviano “Kulli” (Cuevas *et al.*, 2011) con ATgr desde 0.0765 hasta 0.0716 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, que fueron superados o equivalentes a ATgr de las poblaciones 22, 1, 32, 4 y 42 (0.0792 a 0.0762 g de AT • 100 g⁻¹ de grano; Cuadro 7A, ver apéndice). También, el cultivar chino “Zihei” (Yang y Zhai, 2010a) y el maíz morado palomero (Lago *et al.*, 2013) tuvieron menor ATgr (0.0555 y 0.036 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) que las poblaciones 38, 8, 16, 13, 44 y 39 (0.0663 a 0.0570 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) (Cuadro 7A, ver apéndice).

En cuanto a los testigos con granos de color, sólo los de color azul (Figuras 6f y 6h) tuvieron ATgr comparable con ATgr de algunas de las poblaciones de grano morado; p. e. la población 46 (Figura 6f), que se derivó de plantas segregantes de poblaciones de

grano morado de Ixtenco, tuvo ATgr similar a la de la población 18 (0.0516 y 0.0504 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, respectivamente, pero las poblaciones 23, 24 y 25 no superaron ATgr de la población 21, que fue una de las poblaciones con ATgr más bajo (Cuadro 7A, ver apéndice). En el caso de los granos de color rojo y rosa (poblaciones 26 y 27; Figuras 6j y 6i) los valores de ATgr fueron tan solo de 0.0043 y 0.0180 g de AT • 100 g⁻¹ de grano y sólo se encontraron por encima de ATgr de la población 19 (Figura 6k).

En la Figura 6 se muestra el aspecto (coloración) del grano de algunas poblaciones evaluadas, cuyo ordenamiento fue de mayor a menor ATgr. De la Figura 6a a la Figura 6e, así como la Figura 6g, se observa que, entre sí, el aspecto de los granos se asemeja en gran medida; no obstante, la concentración del pigmento en éstas varió desde 0.2121 hasta 0.0495 g de AT • 100 g⁻¹ de grano. En la Figura 6f, al igual las Figuras 6h a la 6k, se exhiben los granos de poblaciones de grano azul, rosa, rojo y morado, las cuales revelan que una pigmentación más intensa se relaciona con un valor de ATgr más alto; sin embargo, esto no aplica cuando la coloración es rojiza, como en el caso de la Figura 6j y Figura 6k. Los testigos que no tuvieron coloración por antocianinas se muestran de la Figura 6l a la Figura 6p, incluyendo granos de color amarillo, trigüeño y blanco, que sólo registraron trazas de ATgr (Cuadro 7A, ver apéndice).

Con respecto a los ambientes, se encontró que los genotipos fueron más productivos en Pueblo (ATgr = 0.1154 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) (Cuadro 6). Además, en cada ambiente se identificó a la población con ATgr superior, teniendo que, en Montecillo, Cañada y Pueblo, fueron las poblaciones 41, 5 y 35, respectivamente, cuyos valores de ATgr fueron 0.2604, 0.2128 y 0.3073 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, correspondientemente (Cuadro 8).

Asimismo, mediante la interacción PobxAmb ($P \leq 0.01$) se observó que en los ambientes de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, casi todas las poblaciones (31 poblaciones) mostraron su máximo potencial de síntesis y acumulación de antocianinas en grano, mientras que el resto (poblaciones 41, 3, 2, 16, 34 y 21) expresaron dicho potencial en Montecillo (Cuadro 9A, ver apéndice).



Figura 6. Coloración del grano de algunas poblaciones de maíz estudiadas, con y sin pigmento. a = Población 35 (grano morado); b = Población 41 (grano morado); c = Población 12 (grano morado); d = Población 5 (grano morado); e = Población 10 (grano morado); f = Población 46 (grano azul); g = Población 20 (grano morado); h = Población 24 (grano azul); i = Población 27 (grano rosa); j = Población 26 (grano rojo); k = Población 19 (grano morado); l = Población 28 (grano amarillo); m = Población 29 (grano trigüeño); n = Población 49 (grano blanco Cacahuacintle); o = Población 30 (grano blanco) y p = Población 52 (grano blanco Cacahuacintle). Ordenadas de mayor a menor concentración de antocianinas totales.

Se concluyó que las diez poblaciones más prometedoras, porque destacaron por su ATgr entre las primeras diez posiciones en tres o en al menos dos ambientes de estudio fueron: 35, 41, 12, 3, 7, 36, 5, 2, 11 y 14 (Cuadro 8), lo cual indica que aunque en algunos ambientes su ATgr puede ser afectada negativamente por los factores que se explicaron para ATal, también es posible que estas poblaciones conserven un desempeño destacado, inclusive bajo condiciones ambientales contrastantes a las de su lugar de origen; p. e. las poblaciones 35 y 41, sobresalieron en los tres ambientes: Montecillo, Cañada y Pueblo, con ATgr desde 0.3073 hasta 0.1525 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio del contenido de antocianinas totales en grano y olote, por población y ambiente de una muestra representativa de poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	ATgr			Atolo		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
35	Mor-21	0.1734 ^b	0.1723 ^b	0.3073 ^a	0.1571 ^{nr}	0.5403 ^{cd}	1.5275 ^c
41	Mor-24	0.2604 ^a	0.1525 ^c	0.1926 ^b	0.2916 ^{il}	0.0288 ^{rs}	1.7749 ^b
12	Mor-12	0.1323 ^c	0.2077 ^a	0.1461 ^{ef}	0.1307 ^{ot}	0.4694 ^{de}	1.5273 ^c
3	Mor-3	0.1700 ^b	0.1562 ^{bc}	0.0999 ^{ik}	0.9313 ^b	0.4340 ^{ef}	0.3675 ^j
7	Mor-7	0.0990 ^{de}	0.0801 ^{ik}	0.1725 ^c	1.0111 ^b	0.5672 ^{bd}	0.7895 ^{fg}
36	Mor-23	0.0928 ^e	0.1282 ^{eg}	0.1482 ^{ef}	0.4056 ^{fh}	0.2371 ^{jm}	1.0244 ^d
5	Mor-5	0.1463 ^c	0.2128 ^a	0.1004 ^{ik}	0.4867 ^{df}	0.2476 ^{im}	0.1051 ^{np}
14	Mor-14	0.0937 ^e	0.1455 ^{cd}	0.1475 ^{ef}	0.6815 ^c	0.1778 ^{lp}	0.7048 ^{gh}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	Mor-2	0.1470 ^c	0.1413 ^{ce}	0.1075 ^{hj}	0.1901 ^{mq}	0.2023 ^{lo}	0.0531 ^p
11	Mor-11	0.1108 ^d	0.0374 ^{pr}	0.1558 ^{de}	0.2352 ^{kn}	0.0460 ^{rs}	0.3622 ^j
8	Mor-8	0.0555 ^{im}	0.0872 ^{ij}	0.0556 ^{oq}	0.4222 ^{eg}	0.6384 ^{bc}	0.3414 ^{jk}
34	Mor-28	0.0415 ^p	0.0400 ^{oq}	0.0397 ^q	0.5141 ^{de}	0.364 ^{fh}	0.8348 ^{ef}
	DMS	0.0166			0.0991		

No. = Número de identificación de la población; ATgr = Contenido de antocianinas totales en grano, g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATolo = Contenido de antocianinas totales en olote, g de AT • 100 g⁻¹ de olote; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

3.5.1.6. Contenido de antocianinas totales en olote (ATolo)

El olote ha sido considerado un residuo agrícola generado durante la cosecha de maíz, cuyo uso cotidiano ha sido como combustible, soporte para disminuir la erosión del suelo

o para alimentar al ganado (Córdoba *et al.*, 2013); sin embargo, recientemente se ha descubierto que se le puede conferir valor económico al aprovecharlo como fuente de compuestos químicos (Ashour *et al.*, 2013), sustrato microbiano para obtener xilanasas (Robledo *et al.*, 2012) y nanopartículas para acarrear medicamentos específicos hacia el colon (Kumar *et al.*, 2010), también se puede utilizar como biocombustible (Brunner *et al.*, 2011), fuente de energía en sistemas de gasificación y combustión (Zhang *et al.*, 2012) y, en genotipos con olote pigmentado, se propone la extracción del colorante natural (Soto *et al.*, 2013).

Bajo este enfoque, mediante la determinación del contenido de antocianinas totales en olote (ATolo) se encontró que las poblaciones con mayor ATolo (ordenadas de mayor a menor ATolo) fueron: 7, 44, 12, 35, 41, 6, 3, 34, 36 y 14 con concentraciones desde 0.7715 hasta 0.5489 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, las cuales, junto con las poblaciones 42, 8, 10, 31, 43 y 38 superaron al valor ATolo promedio, que fue de 0.3730 g de AT • 100 g⁻¹ de olote. En el caso contrario, fueron las poblaciones 21 y 19 las que tuvieron ATolo inferior, con valores de 0.0095 y 0.0053 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, respectivamente (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice).

En comparación con los resultados de otras investigaciones que han analizado el olote de poblaciones mejoradas de polinización libre, variedades sintéticas e híbridos de maíz morado, se encontró que la capacidad de síntesis de antocianinas en éste órgano supera notablemente a la de los maíces morados de Ixtenco, pues tienen ATolo entre 10.4 y 1.05 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (Acero y Díaz, 2004; Manzano, 2016; Mendoza *et al.*, 2016; Monroy *et al.*, 2016; Yáñez *et al.*, 2016). A pesar de esto, el aprovechamiento de los olotes de los maíces morados de Ixtenco sigue siendo un proyecto prometedor, pues en primera instancia, el usar al olote para obtener antocianinas, permitiría aprovechar alrededor de 20 % de la biomasa que es producida durante la cosecha de maíz y que usualmente se considera como residuo agrícola (Córdoba *et al.*, 2013); asimismo, en comparación con otros genotipos de olote morado, con ATolo desde 0.728 hasta 0.0307 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (Yang *et al.*, 2008; Wang y Zeng, 2009; Yang y Zhai, 2010b; Mendoza, 2012; Piyapanrungrueang *et al.*, 2016), los maíces morados estudiados en esta investigación, tienen ATolo sobresaliente, y con amplias posibilidades de ser incrementados mediante mejoramiento genético convencional.

En comparación con los testigos, las poblaciones 7 y 44, fueron las únicas que superaron ATolo promedio de las poblaciones de maíz Cacahuacintle con olote morado (poblaciones 47 a 51; ATolo promedio Cac= 0.7611 g de AT • 100 g⁻¹ de olote) (Cuadro 7A, ver apéndice). Además de las poblaciones 47 a 51, dentro de los testigos, solamente la población 26 (Figura 7h), pigmentó su olote con una coloración rojiza y tuvo ATolo reducida (0.0145 g de AT • 100 g⁻¹ de olote), aunque mayor que la de las poblaciones 21 (Figura 7i) y 19 (Figura 7j).



Figura 7. Coloración de olote de algunas poblaciones de maíz estudiadas. a = Población 49 (grano blanco Cacahuacintle); b = Población 48 (grano blanco Cacahuacintle); c = Población 7 (grano morado); d = Población 44 (grano morado); e = Población 12 (grano morado); f = Población 35 (grano morado); g = Población 45 (grano morado); h = Población 26 (grano rojo); i = Población 21 (grano morado); j = Población 19 (grano morado). Ordenadas de mayor a menor concentración de antocianinas totales.

En la Figura 7, se muestran, ordenadas de mayor a menor ATolo, los olotes de algunas poblaciones estudiadas. En las Figuras 7a y 7b, se observan olotes de pigmentación morada oscura y con coloración uniforme en toda su superficie; dichos olotes corresponden a las poblaciones 49 y 48 de maíz Cacahuacintle de grano blanco, cuyos ATolo fueron de 1.0359 y 0.8840 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, respectivamente (Cuadro 7A, ver apéndice). Por otro lado, en las Figuras 7c y 7d, se ilustra el aspecto de los olotes de las poblaciones de grano morado 7 y 44 que estadísticamente fueron similares en ATolo; sin embargo, tuvieron distintas coloraciones y patrones de pigmentación del olote, siendo más variable la población 7, que inclusive permitió observar que aunque el olote se presentó ligeramente pigmentado en el exterior, es posible que tenga valores altos de ATolo, pues acorde con Mendoza (2012), las antocianinas se acumulan principalmente en la periferia del eje de la espiga del olote (raquis). Asimismo, las Figuras 7e (población 12), 7f (población 35) y 7g (población 45), demuestran que aunque el color externo del olote puede percibirse intenso y oscuro, no necesariamente implica que se tenga una ATolo superior, pues en estas figuras se observa que las dos primeras poblaciones mostraron coloración contrastante y tuvieron alrededor de 0.70 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, mientras que la Figura 7g, de coloración oscura tuvo la mitad (0.3586 g de AT • 100 g⁻¹ de olote) y fue similar al valor promedio de ATolo de las poblaciones estudiadas (Cuadro 3; Cuadro 7A, ver apéndice). Por su parte, las Figuras 7h (población 26), 7i (población 21) y 7j (población 19) ilustran que aunque la pigmentación rojiza del olote puede ser intensa y uniforme, en general ATolo tendió a ser inferior a ATolo de olotes de color morado oscuro, pudiendo entonces considerarse que el pigmento presente pudiera ser debido a flobofenos y no a antocianinas, pues los primeros, son otros pigmentos presentes en maíz, que pueden conferirle una coloración rojiza (Peñarrieta *et al.*, 2014). Respecto al sobresaliente potencial productivo de antocianinas en olote de las poblaciones de maíz Cacahuacintle, se considera que se debe a que los productores de Ixtenco han seleccionado como característica principal y llamativa, la marcada pigmentación del olote, lo cual ha sido con la intención de incrementar la vistosidad y belleza de las mazorcas y semillas que comercializan y exponen en las Ferias del Maíz que celebran anualmente en su comunidad, así como su aprovechamiento en la elaboración de artesanías; mientras que en el caso de las poblaciones de grano morado,

el principal objetivo ha sido que la coloración del grano sea oscura e intensa, quedando en segundo término la coloración del olote.

En cuanto a ATolo en los ambientes evaluados, en promedio, las poblaciones tuvieron mayor ATolo en el ambiente de Pueblo, la cual fue equivalente a 0.5709 g de AT • 100 g⁻¹ de olote. También, se observó que bajo estas condiciones se duplicó el valor de ATolo de Montecillo y Cañada, los cuales fueron estadísticamente similares (Cuadro 6).

A través de la interacción PobxAmb, se observó que en Pueblo el valor ATolo superior fue de 2.0775 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (población 44), en Cañada fue de 0.8165 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (población 38) y en Montecillo fue de 1.4258 g de AT • 100 g⁻¹ de olote (población 6) (Cuadro 9A, ver apéndice). De igual forma, se identificó que las poblaciones 35, 12, 3, 7, 36, 8, 34, 41, 5 y 14 fueron las diez poblaciones que destacaron por ATolo entre las primeras diez posiciones en tres o por lo menos en dos ambientes de estudio (Cuadro 8), por lo que se considera que son poblaciones de interés para ser aprovechadas como germoplasma élite para el desarrollo de materiales altamente productivos de antocianinas en este órgano de la planta de maíz.

Se infiere que, aunque los factores ambientales pudieron ocasionar esos contrastes de ATolo entre ambientes, tal como los ocasionaron para ATal, en este caso la variación de ATolo entre ambientes tuvo mayor relación con las prácticas de selección que implementan los productores de Ixtenco, quienes comúnmente, en las poblaciones de maíz morado han centrado su atención en la selección de mazorcas de grano oscuro, sin que necesariamente también se elijan olotes de color morado oscuro. Asimismo, se contempla que dado que la pigmentación de olote es indeseable porque confiere coloraciones no deseadas a los productos derivados (Pajic, 2007), es poco el interés que se tiene por el color oscuro de olote.

Acero y Díaz (2004), indican que se produce mayor proporción de antocianinas en el olote que en el grano (específicamente en pericarpio); es por eso que se considera importante continuar las prácticas de mejoramiento genético en estas poblaciones para incrementar el potencial productivo de antocianinas en este órgano, pues además, se trata de una fuente con amplio potencial de aprovechamiento, el cual se ve reflejado en investigaciones como las de Nolzco y Araujo (2015) que obtuvieron una bebida de maíz morado a base de olote; Mamani-Choquepata *et al.* (2013) que evaluaron la dosis-efecto

en la vasodilatación de anillos aórticos de rata al ingerir bebidas de olote de maíz morado, que además fue de origen orgánico; Hañari-Quispe *et al.* (2015) que evaluaron el efecto hepatoprotector de extracto de olote morado en lesiones hepáticas en ratas, por mencionar algunos.

Asimismo, se considera que mediante mejoramiento genético convencional, a partir de las poblaciones sobresalientes, es posible avanzar rápidamente en el incremento de ATolo. Rodríguez *et al.* (2013) señalan que el color de olote puede ser fácilmente incrementado a través de selección fenotípica, pudiendo ser la selección recurrente de hermanos completos, una metodología adecuada mediante la elección de mazorcas u olotes con coloración oscura y uniforme. También, Landi *et al.* (2008) señalan que con un ciclo de selección para color de olote es posible fijar los alelos seleccionados.

3.5.1.7. Frecuencia de color de las mazorcas en 37 poblaciones de maíz morado

3.5.1.7.1. Análisis de Varianza

El análisis de varianza combinado, realizado para estudiar la frecuencia del color de las mazorcas de 37 poblaciones de grano morado, indicó que para las cinco categorías de color de mazorca evaluadas (morado, azul, rojo, pinto y blanco) hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para frecuencia de color de las mazorcas para 37 poblaciones de maíz morado, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.

FV	GL	Morado	Azul	Rojo	Pinto	Blanco
<i>Frecuencia de color de las mazorcas</i>						
Ambiente	2	0.0377 _{ns}	0.0039 _{ns}	0.0568*	0.0002 _{ns}	5.3x10 ⁻⁵ _{ns}
Rep(Amb)	9	0.0143 _{ns}	0.0152 _{ns}	0.0110 _{ns}	0.0041 _{ns}	1.0x10 ⁻⁴ _{ns}
Población	36	0.3604**	0.2580**	0.1610**	0.0305**	3.6x10 ⁻⁴ **
PobxAmb	72	0.0236 _{ns}	0.0169 _{ns}	0.0095 _{ns}	0.0059**	6.4x10 ⁻⁵ _{ns}
Error	320	0.0221	0.019	0.0098	0.0035	1.2x10 ⁻⁴
CV (%)		23.2	0.5	153.4	198.1	940.8

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; * = $P \leq 0.05$; ** = $P \leq 0.01$.

3.5.1.7.2. Frecuencia de color de las mazorcas y Análisis de Componentes Principales

En las 37 poblaciones de maíz morado, se encontró que la frecuencia máxima de mazorcas de color morado (Mor), azul (Az), rojo (Roj), pinto (Pto) y blanco (Bco) fue de 0.91 (población 20), 0.53 (población 17), 0.52 (población 19), 0.20 (población 21) y 0.03 (población 19), respectivamente (Cuadro 10A, ver apéndice).

La variación de colores de mazorca encontrada en estas poblaciones mostró que aunque se trata de un tipo de maíz en particular (maíces morados), por su origen nativo, así como la inmensa riqueza genética del cultivo y la gran cantidad de genes que intervienen en la síntesis de antocianinas, es posible que se desplieguen diversos fenotipos. Ortega *et al.* (1991) señalan que, inclusive dentro de poblaciones provenientes de la misma raza, se expresan variaciones. También, se observó que hubo poblaciones que tuvieron mayor frecuencia de mazorcas de color Mor y menor o nula frecuencia de mazorcas de color Roj, Pto y Bco, por lo cual se considera que la estructura genética de dichas poblaciones se encontró conformada por alelos favorables y genes en estado homocigótico dominante o heterocigótico, que condujeron a la mayor expresión del color de grano morado, como ocurrió en las poblaciones 36 (Mor = 0.90, Az = 0.10), 2 (Mor = 0.74, Az = 0.26), 41 (Mor = 0.86, Az = 0.12, Roj = 0.01, Pto = 0.006) y 35 (Mor = 0.85, Az = 0.15, Roj = 0.008).

Mediante el análisis de componentes principales se encontró que 90.09 % de la variabilidad de la frecuencia de color de las mazorcas fue explicada por los dos primeros CP (CP1 = 61.24 % de la variación total y CP2 = 28.85 % de la variación total). En el Cuadro 10 se indican los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas y el primer y segundo componente principal (CP), así como los coeficientes de determinación, que permitieron identificar que CP1 fue determinado por Roj, Pto y Bco, mientras que CP2 se relacionó con Mor y Az.

Además, con base en el gráfico de dispersión y tomando en cuenta la frecuencia de color de las mazorcas entre poblaciones ($P \leq 0.01$) (Cuadro 10A, ver apéndice), las poblaciones de maíz morado se clasificaron en tres grupos: **grupo I**, poblaciones con mayor frecuencia de mazorcas de color de grano morado; **grupo II**, poblaciones con

mayor frecuencia de mazorcas de color de grano azul y **grupo III**, poblaciones con mayor frecuencia de mazorcas de otros colores de grano (Figura 8).

Cuadro 10. Coeficientes de correlación y de determinación del análisis de componentes principales para la caracterización de poblaciones de maíz por la frecuencia de color de las mazorcas.

Variable	Corr (Var _i , Prin _j)		CoefDeterm(Var _i , Prin _j)	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Morado	-0.7095	0.7001	0.5034	* 0.4901
Azul	-0.2749	-0.9565	0.0756	* 0.9149
Rojo	0.9620	0.1487	* 0.9255	0.0221
Pinto	0.9173	-0.0141	* 0.8415	0.0002
Blanco	0.8463	0.1225	* 0.7162	0.0150
Var. Exp. (%)	61.24 %	28.85 %		
Var. Exp. Acum. (%)	61.24 %	90.09 %		

Corr (Var_i, Prin_j) = Coeficiente de correlación entre la variable y el componente principal; CoefDeterm (Var_i, Prin_j) = Coeficiente de determinación; CP1 y CP2 = Componente principal 1 y 2, respectivamente; Var. Exp. = Varianza explicada; Var. Exp. Acum. = Varianza explicada acumulada; * = Coeficiente de determinación del vector característico de importancia que determina las características del CP.

El grupo I fue conformado por 20 poblaciones (2 a 7, 11, 12, 14, 20, 22, 33, 35, 36, 40 a 45), las cuales fueron estadísticamente similares (con excepción de la población 5) y tuvieron una frecuencia de mazorcas Mor desde 0.91 hasta 0.64; el grupo se ubicó principalmente en el cuadrante negativo de ambos CP. El grupo II, comprendió a 14 poblaciones (1, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 31, 32, 34, 38 y 39) que estadísticamente fueron diferentes, con frecuencia de mazorcas Az desde 0.53 hasta 0.30; en el gráfico de dispersión dicho grupo se localizó en el cuadrante negativo del CP1 y en ambos cuadrantes del CP2. Finalmente, el grupo III, constituido por las poblaciones 19, 21 y 37 tuvo la más baja frecuencia de mazorcas Mor (desde 0.38 a 0.19) y en cuanto a los otros colores de mazorca, tuvo Az desde 0.22 hasta 0.008, Roj desde 0.53 a 0.19, Pto desde 0.203 hasta 0.183 y Bco desde 0.033 hasta 0, situándose en el cuadrante positivo del CP1 y en ambos cuadrantes del CP2 (Cuadro 10A, ver apéndice; Figura 8).

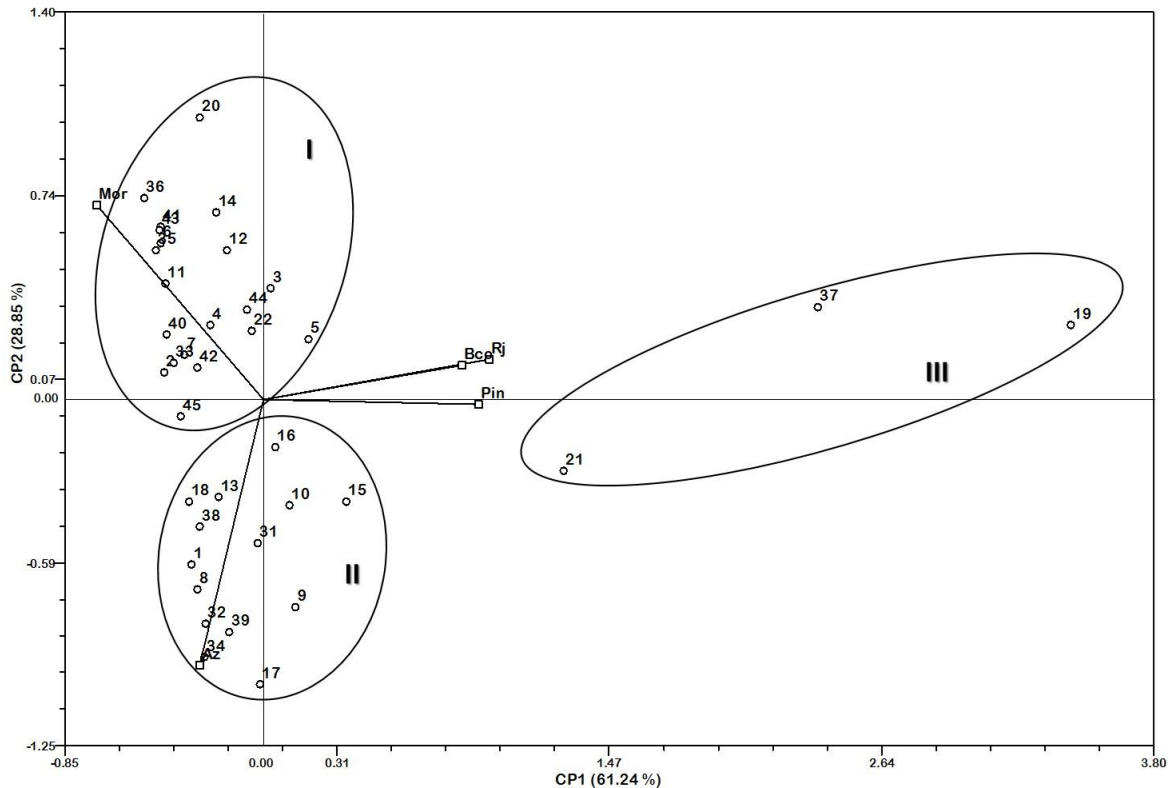


Figura 8. Distribución gráfica de 37 poblaciones de maíz morado en función de los primeros dos componentes principales. Grupo I = Poblaciones con mayor frecuencia de mazorcas de color de grano morado; Grupo II = Poblaciones con mayor frecuencia de mazorcas de color de grano azul y Grupo III = Poblaciones con mayor frecuencia de mazorcas de otros colores de grano.

Tomando en cuenta que la cuantificación de CAT se realizó sólo en mazorcas Mor de cada población, con el fin de determinar su máximo potencial productivo de antocianinas y que con frecuencia en poblaciones de maíz pigmentado existe segregación del color de grano entre y dentro de mazorcas, fue imprescindible estudiar la frecuencia de mazorcas Mor, pues se considera que las poblaciones que tengan una frecuencia superior, también podrán tener mayor rendimiento de antocianinas por unidad de superficie, como podría ser el caso de algunas poblaciones del grupo I.

Si bien, las poblaciones de maíz morado no tienen 100 % de mazorcas Mor, algunas sí poseen la capacidad de alcanzar hasta 90 % de mazorcas Mor (poblaciones 20 y 36), por lo tanto, se considera, que mediante una selección meticulosa del color de grano realizada durante la cosecha y depuración de la semilla, es posible que las poblaciones con una frecuencia menor de mazorcas Mor, en pocos ciclos de mejoramiento genético incrementen la cantidad de mazorcas Mor.

3.6. CONCLUSIONES

La valoración del potencial productivo de antocianinas de 37 poblaciones de maíz morado, realizada mediante la cuantificación del contenido de antocianinas totales (CAT) indicó que dichos maíces tienen alta capacidad para sintetizar y acumular antocianinas en olote, grano y sus estructuras (pericarpio y capa de aleurona).

En general, las poblaciones de maíz morado estudiadas tuvieron CAT superior o similar al de algunas variedades comerciales de polinización libre e híbridos de maíz morado; también al de algunas frutas y verduras como uva morada y zanahoria morada, que son apreciadas por su CAT. Lo anterior, corroboró que en el germoplasma de maíz nativo de México se resguarda un amplio potencial para aprovechar las propiedades bioactivas y como colorante natural de las antocianinas; especialmente los maíces morados de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, tienen un futuro prometedor.

En promedio, el contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona (AT_{al}) fue de 0.034 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; el contenido de antocianinas totales en pericarpio (AT_{per}) fue de 1.04 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; el contenido de antocianinas totales en grano (AT_{gr}) fue de 0.092 g de AT • 100 g⁻¹ de grano; y el contenido de antocianinas totales en olote (AT_{olo}) fue de 0.373 g de AT • 100 g⁻¹ de olote. Citados de mayor a menor potencial para sintetizar y acumular antocianinas se encontraron: pericarpio, olote, grano y capa de aleurona. El pericarpio superó 30.6 veces la capacidad de producir antocianinas a la capa de aleurona, aunque éste solamente constituyó entre 5 y 6 % del grano.

En cuanto a las diferencias de CAT entre poblaciones, el análisis de componentes principales permitió detectar que aun cuando las poblaciones 19 y 21 presentaron una coloración típica ocasionada por la presencia de antocianinas, éstas no tuvieron las mismas características que los maíces morados de Ixtenco. La población 19 se agrupó con las poblaciones que no sobresalieron por CAT (poblaciones 29, 26, 28, 30 y 52 con grano de color trigueño, rojo, amarillo, morado y blanco), mientras que la población 21 se asoció con las poblaciones que sobresalieron por AT_{al} (27, 23, 24, 25, 21 y 46 con grano de color rosa, azul y morado).

Un segundo análisis de componentes principales, sin considerar testigos ni poblaciones 19 y 21 permitió diferenciar en siete grupos al resto de los maíces morados.

Sobresalieron los grupos I y II que tuvieron poblaciones con potencial de aprovechamiento integral (destacaron por su CAT en las cuatro variables evaluadas las poblaciones 35 y 41) y otras poblaciones nativas de Ixtenco que resaltaron en ATgr, ATper, ATolo y ATal o en al menos tres de éstos (poblaciones 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 36, 40, 42, 43 y 45). El excelente desempeño del grupo I se asoció a la posible concentración de alelos y genes favorables en la conformación genética de las poblaciones, promovida por la selección que realizan los productores que cuidan de estos materiales.

Se considera factible realizar propuestas de esquemas de selección, derivación de líneas y formación de híbridos para ser implementadas en las poblaciones que conforman a los grupos I y II con el fin de incrementar CAT, sin olvidar que dicho objetivo podría ser limitado por interacciones alélicas, epistáticas y epigenéticas.

A nivel particular, los valores de ATal, ATper, ATgr y ATolo fluctuaron entre 0.0547 y 0.0011 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; 2.4354 y 0.0036 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; 0.2121 y 0.0019 g de AT • 100 g⁻¹ de grano; y 0.7704 y 0.0053 g de AT • 100 g⁻¹ de olote, respectivamente.

En cuanto a los ambientes, se tuvo que CAT fue superior en el ambiente de Pueblo, Tlaxcala, siendo estadísticamente diferente a los otros dos (Cañada, Tlaxcala y Montecillo, Edo. de México). Las concentraciones en Pueblo fueron de 0.0383 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en ATal; 1.3266 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, en ATper; 0.1154 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, en ATgr; y 0.0232 g de AT • 100 g⁻¹ de olote en ATolo. Se considera que además de las capacidades propias de cada población para acumular antocianinas, también hubo influencia de factores como aplicación de riego y fertilizantes (Montecillo) que pudieron afectar negativamente la concentración de antocianinas.

El potencial productivo de antocianinas totales en grano y olote de las poblaciones de maíz morado de Ixtenco es sobresaliente y prometedor, con posibilidades de ser aprovechado mediante el consumo directo del grano o bien, a través de su procesamiento para la obtención de subproductos como harinas (de grano y olote) y salvados ricos en antocianinas.

3.7. LITERATURA CITADA

Abdel A. E. S. M., J. C. Young and I. Rabalski (2006) Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:4696-4704.

Acero S. A. y A. J. Díaz M. (2004) Investigación para conocer la adaptación de 5 variedades de maíz morado: en las localidades de Chuquibamba, Siguis, y San Felipe, en el distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba. Productores y Mercados del Agro de la Sierra. 1-6 p. <https://es.scribd.com/document/220869444/Maiz-Morado>

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) (2016) Garantizar la seguridad alimentaria...es una prioridad estratégica, a la que tenemos que responder con visión de futuro y sin poner en riesgo el planeta. *Claridades Agropecuarias* 272:3-6.

Aparicio M. C. (2013) Evaluación de variedades pigmentadas de maíz para la producción de atole. Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustrias. Colegio de Postgraduados. Amatlán de los Reyes, Veracruz. 70 p.

Arroyo J., E. Raez, M. Rodríguez, V. Chumpitaz, J. Burga, W. Cruz y J. Valencia (2007) Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas hipercolesterolémicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 24(2):157-162.

Ashour A., M. Amer, A. Marzouk, K. Shimizu, R. Kondo and S. El-Sharkawy (2013) Corncobs as a potential source of functional chemicals. *Molecules*: doi:10.3390/molecules181113823

Ávalos G. A. y E. Pérez U. C. (2009) Metabolismo secundario de las plantas. *Serie Fisiología Vegetal-Reduca Biología* 2(3):119-145.

Betrán F. J., A. J. Backholt and L. W. Rooney (2001) Blue Corn. *In: Specialty Corns*. 2nd edition. A. R. Hallauer (ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 298-306.

Bowen-Forbes C. S., Y. Zhang and M. G. Nair (2010) Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 23:554-560.

Broa R. E. (2012) Evaluación del contenido de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación como una estrategia de desarrollo agrícola para la región oriente de Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Campus Puebla. Colegio de Postgraduados. 128 p.

Brunner T., W. Kanzian, I. Obernberger and A. Theissl (2011) Combustion properties of maize cobs-results from lab and pilot-scale tests. *In: Proceedings of the 19th European Biomass Conference & Exhibition*. pp 944-951.

Cabrera C. C. R. (2016) Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis de Licenciatura. Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima, Perú. 120 p.

- Castañeda O. A., M. L. Pacheco H., M. E. Páez H., J. A. Rodríguez and C. A. Galán V. (2009)** Chemical studies of anthocyanins: a review. *Food Chemistry* 113:859-871.
- Castillo F., E. Herrera, J. Romero, R. Ortega, M. Goodman y M. E. Smith (1999)** Diversidad genética y su aprovechamiento *in situ* a nivel regional. In: Farmer-participatory Plant Breeding in Latin America and the Caribbean: Proceedings of an International Symposium <http://ciat-library.ciar.org/FitomejoramientoParticipativo/NADINE-PDF/CASTILLO2.pdf>
- Cavalcante B. A. R., D. C. Murador, L. Mendes S. M. and V. Vera R. (2017)** Bioavailability of anthocyanins: gaps in knowledge, challenges and future research. *Journal of Food Composition and Analysis*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.031>
- Cone K. C. (2007)** Anthocyanin synthesis in maize aleurone tissue. *Plant Cell Monographs* 8:121-139.
- Cordera C. R. (2016)** El desarrollo ayer y hoy: idea y utopía. *ECONOMIAUNAM* 11(33):3-25.
- Córdoba J. A., E. Salcedo, R. Rodríguez, J. F. Zamora, R. Manríquez, H. Contreras, J. Robledo y E. Delgado (2013)** Caracterización y valoración química del olote: Degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista Latinoamericana de Química* 41(3):171-184.
- Cuevas M. E., A. Antezana y P. Winterhalter (2008)** Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz boliviano. Memorias Red-Alpha-Lagrotech. Comunidad Europea. Cartagena. pp: 79-95.
- Cuevas M. E., S. Hillebrand, A. Antezana and P. Winterhalter (2011)** Soluble and bound phenolic compounds in different Bolivian purple corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59:7068-7074.
- De la Parra C., S. O. Serna S. and R. Hai L (2007)** Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortilla, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:4177-4183.
- De la Rosa Millán J. (2009)** Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec Morelos. 84 p.
- Del Pozo-Insfran D., C. H. Brenes, S. O. Serna S. and S. T. Talcott (2006)** Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.). *Food Research International* 39:696-703.
- Delgado-Vargas F., A. R. Jiménez and O. Paredes-López (2000)** Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains – Characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40(3):173-289.
- Escribano-Bailón M. T., C. Santos-Buelga and J. C. Rivas-Gonzalo (2004)** Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A* 1054:129-141.

- Espinosa T. E., A. J. Gámez V., J. R. A. Dorantes G., M. A. Ávila P., I. Castro M., C. A. Núñez C., R. E. Hernández C. y F. P. Gámez V. (2012)** Bioquímica y genética de las antocianinas del grano de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuaria. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. México. 74 p.
- Espinosa T. E., M. C. Mendoza C., F. Castillo G., J. Ortiz C., A. Delgado A. y A. Carrillo S. (2009)** Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:303-309.
- Feschotte C., N. Jiang and S. R. Wessler (2002)** Plant transposable elements: where genetics meets genomics. *Nature Reviews Genetics* 3:329-341.
- Ford R. H. (2000)** Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *The American Biology Teacher* 62(3):181-188.
- Galani J. H. Y., J. S. Patel, N. J. Patel and J. G. Talati (2017)** Storage of fruits and vegetables in refrigeration increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanin and vitamin C with subsequent loss of their antioxidant capacity. *Antioxidants*: doi:10.3390/antiox6030059
- García-Lara, S., J. A. Gutiérrez-Urbe and S. O. Serna-Saldivar (2012)** Nutraceutical properties of blue maize. *In: Maize: cultivation, uses and health benefits*. J. C. Jimenez-Lopez (ed.). Nueva York, EUA. Nova Science Publishers. pp:113-135.
- Garzón G. A. (2008)** Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana* 13(3):27-36.
- Giusti M. M. and P. Jing (2008)** Analysis of anthocyanins. *In: Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. C. Socaciu (ed.). CRC Press LLC. USA. pp:480-497.
- Guillén-Sánchez J., S. Mori-Arismendi y L. M. Paucar-Menacho (2014)** Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. Subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria* 5:211-217.
- Halbwirth H., S. Martens, U. Wienand, G. Forkmann and K. Stich (2003)** Biochemical formation of anthocyanins in silk tissue of *Zea mays*. *Plant Science* 164:489-495.
- Hañari-Quispe R., J. Arroyo, O. Herrera-Calderón y H. Herrera-Moran (2015)** Efecto hepatoprotector del extracto hidroetanólico atomizado del maíz morado (*Zea mays* L.) en lesiones hepáticas inducidas en ratas. *Anales de la Facultad de Medicina* 76(2):123-128.
- Harakotr B., B. Suriharn, R. Tangwongchai, M. P. Scott and K. Lertrat (2014)** Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry* 164:510-517.
- Hawrylak N. B. (2008)** Changes in anthocyanin content as indicator of maize sensitivity to selenium. *Journal of Plant Nutrition* 31:1232-1242.
- Hussanun S., B. Suriharn and K. Lertrat (2014)** Yield and early maturity response to four cycles of modified mass selection in purple waxy corn. *Turkish Journal of Field Crops* 19(1):84-89.

- Jing P., V. Noriega, S. J. Schwartz and M. M. Giusti (2007)** Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:8625-8629.
- Kempton J. H. (1919)** Inheritance of spotted aleurone color in hybrids of Chinese maize. *Genetics* 4:261-274.
- Khampas S., K. Lertrat, K. Lomthaisong and B. Suriharn (2013)** Variability in phytochemicals and antioxidant activity in corn at immaturity and physiological maturity stages. *International Food Research Journal* 20:3149-3157.
- Koes R., W. Verweij and F. Quattrocchio (2005)** Flavonoids: a colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways. *TRENDS in Plant Science* 10:236-242.
- Kumar S., Y. S. Negi and J. S. Upadhyaya (2010)** Studies on characterization of corn cob based nanoparticles. *Advanced Materials Letters* 1(3): 246-253.
- Lago C., M. Landoni, E. Cassani, E. Doria, E. Nielsen and R. Pilu (2013)** Study and characterization of a novel functional food: purple popcorn. *Molecular Breeding* 31:575-585.
- Landi P., M. Canè and E. Frascaroli (2008)** Responses to divergent selection for cob color in maize. *Euphytica* 164(3):645-658.
- Lao F. and M. M. Giusti (2015)** Quantification of purple corn (*Zea mays* L.) anthocyanins using spectrophotometric and HPLC approaches: Method comparison and correlation. *Food Analytical Methods* 9(5):1367-1380.
- Lao F., G. T. Sigurdson and M. M. Giusti (2017)** Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16:234-246.
- Li C-H., H-W. Kim, S-R. Won, H-K. Min, K-J. Park, J-Y Park, M-S Ahn and H-I. Rhee (2008)** Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:11413-11416.
- Li Q., P. Somavat, V. Singh, L. Chatham, E. Gonzalez M. (2017)** A comparative study of anthocyanin distribution in purple and blue corn coproducts from three conventional processes. *Food Chemistry*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.146>
- Lopez-Martinez L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C. H. Lee, K. L. Parkin and H. S. Garcia (2009)** Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology* 42:1187-1192.
- Mamani-Choquepata R., P. V. Mamani-Quispe, L. Manchego-Rosado, O. Moreno-Loaiza y A. Paz-Aliaga (2013)** Curvas dosis-efecto de las antocianinas de tres extractos de *Zea mays* L. (maíz morado) en la vasodilatación de anillos aórticos de rata. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 30(4):722-724.
- Manzano N. P. A. (2016)** Extracción de antocianinas a partir de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) para el aprovechamiento de residuos agrícolas. Tesis de Licenciatura. Ing. Bioquímico. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. 48 p.

Mendoza M. C. G. (2012) Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 117 p.

Mendoza S. E. V., C. K. Curi B., V. J. Rojas M. and J. A. Alvarado K. (2016) Encapsulation, characterization and thermal stability of anthocyanins from *Zea mays* L. (purple corn). *Bolivian Journal of Chemistry* 33(5): 183-189.

Mercadante A. Z. and F. O. Bobbio (2008) Anthocyanins in foods: occurrence and physicochemical properties. *In: Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. C. Socaciu (ed.). CRC Press LLC. USA. pp: 241-268.

Ming J. M., L. S. Chia, N. K. Goh, T. F. Chia and R. Brouillard (2003) Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64:923-933.

Mol J., E. Grotewold and R. Koes (1998) How genes paint flowers and seeds. *TRENDS in Plant Science* 3:212-217.

Monroy Y. M., R. A. F. Rodrigues, A. Sartroratto and F. A. Cabral (2016) Extraction of bioactive compounds from cob and pericarp of purple corn (*Zea mays* L.) by sequential extraction in fixed bed extractor using supercritical CO₂, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids* 107:250-259.

Neuffer M. G., E. H. Coe and S. R. Wessler (1997) Mutants of maize. Cold Spring Harbor Laboratory Press. Nueva York. 468 p.

Nolazco C. D. y M. Araujo V. (2015) Obtención de un filtrante de maíz morado (*Zea mays* L.), evaluación de pérdida de color y degradación de antocianinas en el almacenaje. *Anales Científicos* 76(2):350-359.

Ortega P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. (1991) Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. pp:161-186.

Pajíc Z. (2007) Breeding of maize types with specific traits at the Maize Research Institute, Zemun polje. *Genetika* 39(2):169-180.

Peñarrieta J. M., L. Tejada, P. Mollinedo, J. L. Vila y J. A. Bravo (2014) Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química* 31(2):68-81.

Petroni K. and C. Tonelli (2011) Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science* 181:219-229.

Piyapanrungrueang W., W. Chantrapornchai, V. Haruthaithanasan, U. Sukatta and C. Aekatasanawan (2016) Comparison of anthocyanin extraction methods form high anthocyanin purple corn cob hybrid: KPSC 901, and quality of the extract powder. *Journal of Food Processing and Preservation* 40:1125-1133.

- Quiñones R. y E. Coy-Barrera (2015)** Composición de antocianinas monoméricas de cinco fenotipos de maíz coloreado (*Zea mays* L.) de la región central colombiana. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia* 4(1):38-51.
- Robledo O. A., C. N. Aguilar y J. C. Montañez S. (2012)** Uso del olote de maíz como sustrato microbiano para la obtención de xilanasas. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%207/7.html>
- Rodríguez V. M., P. Soengas, A. Landa, A. Ordás and P. Revilla (2013)** Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*:doi10.1007/s10681-013-0924-0.
- Rohlf F. J. (2009)** NTSYSpc: Numerical Taxonomy System. Ver. 2.21h for Windows. Exeter Software. Setauket, New York. 31 p.
- Ron-Parra J., M. M. Morales-Rivera, J. Jiménez-López, A. A. Jiménez-Cordero, L. L. Cruz-Larios and J. J. Sánchez-González (2016)** Maternal genetic inheritance of red pericarp in the grain of maize. *Maydica*:http://www.maydica.org/articles/61_3_21.pdf
- Salinas M. Y. (2000)** Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis de Doctorado. Programa de Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 101 p.
- Salinas M. Y., C. García S., B. Coutiño E. y V. A. Vidal M. (2013)** Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:285-294.
- Salinas M. Y., G. Salas S., D. Rubio H. and N. Ramos L. (2005)** Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *Journal of Chromatographic Science* 43:483-487.
- SAS (Statistical Analysis System) (2009)** Statistics Analysis System. Software Release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Senica M., F. Stampar, R. Veberic and M. Mikulic-Petkovsek (2017)** The higher the better? Differences in phenolics and cyanogenic glycosides in *Sambucus nigra* leaves, flowers and berries from different altitudes. *Journal of Food and Agriculture* 97(8):2623-2632.
- Serna S. S. O., J. A. Gutiérrez U., S. Mora R. y S. García L. (2013)** Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3):295-304.
- Sevilla R. y A. Valdez (1985)** Estudio de factibilidad del cultivo de maíz morado. Fondo de Promoción y Exportación (Fopex). Lima, Perú. 40 p.
- Sharma M., M. Cortes C., K. R. Ahern, M. McMullen, T. P. Brutnell and S. Chopra (2011)** Identification of the *Pr1* gene product completes the anthocyanin biosynthesis pathway of maize. *Genetics* 188:69-79.
- Silva L. A., C. M. Faria S., R. Paltram, H. Halbwirth and K. Bica (2017)** Extraction and consecutive purification of anthocyanins from grape pomace using ionic liquid solution. *Fluid Phase Equilibria*:<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2017.08.006>

Somavat P. (2017) Evaluation and modification of processing techniques for recovery of anthocyanins from colored corn. PhD thesis. Agricultural and Biological Engineering. University of Illinois at Urbana, Illinois USA. 158 p.

Soto H. H. M. P. (2014) Efecto antibacteriano y antifúngico comparativo de los extractos acuosos de *Zea mays* L. (maíz morado), *Rubus glaucus* (mora andina), *Opuntia soherensii* (ayrampo) y diseño de un gel de limpieza cutánea. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. E. A. P. de Farmacia y Bioquímica. Tesis Profesional de Químico Farmacéutico. Lima, Perú. 89 p.

Soto M. A. L., L. R. Ráez G. y R. Robles C. (2013) El maíz morado como materia prima industrial. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 16(1):85-91.

Terrones G. J. L. y L. F. Díaz Santillán (2016) Métodos de extracción del colorante de *Zea mays* L. (maíz morado) para la elaboración de una bebida saludable. Tesis Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Chachapoyas-Perú. 92 p.

Timmers M. A., M. H. Grace, G. G. Yousef and M. A. Lila (2017) Inter- and intra-seasonal changes in anthocyanin accumulation and global metabolite profiling of six blueberry genotypes. *Journal of Food Composition and Analysis* 59:105-110.

Tsuda T., F. Horio, K. Uchida, H. Aoki and T. Osawa (2003) Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside- rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *The Journal of Nutrition* 133:2125-2130.

Urias-Lugo D. A., J. B. Heredia, S. O. Serna-Saldivar, M. D. Muy-Rangel and J. B. Valdez-Torres (2015) Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA- Journal of Food* 13:336-339.

Urias-Peraldí, M., J. A. Gutiérrez-Urbe, R. E. Preciado-Ortiz, A. S. Cruz-Morales, S. O. Serna-Saldivar and S. García-Lara (2013) Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays*) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research* 141:69-76.

Wang Y. and M. Zeng (2009) Studies on Zhuo-Zi No. 1, a purple hybrid in maize (*Zea mays* L.). *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 83:2-3.

Yáñez C., J. Zambrano, M. Caicedo, J. Heredia, C. Sangoquiza, E. Villacrés, M. Racines y D. Caballero (2016) Ficha técnica de la variedad de maíz negro INIAP-199 "Racimo de uva". INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. Perú.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3166>. 55 p.

Yang Z. and W. Zhai (2010a) Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:169-176.

Yang Z. and W. Zhai (2010b) Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC–MS. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:470-476.

Yang Z., G. Fan, Z. Gu, Y. Han and Z. Chen (2008) Optimization extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob using tristimulus colorimetry. *European Food Research and Technology* 227:409-415.

Zapata S. (1996) Colorantes naturales. Exportación de productos procesados. *Agroenfoque* 83:40-43.

Zhang Y., A. E. Ghaly and B. Li (2012) Physical properties of corn residues. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 8(2):44-53.

Zhao X., M. Corrales, C. Zhang, X. Hu, Y. Ma and B. Tauscher (2008) Composition and thermal stability of anthocyanins from chinese purple corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:10761-10766.

Zhao X., C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher and X. Hu (2009) Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *European Food Research and Technology* 228:759-765.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ MORADO CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINAS

4.1. RESUMEN

Se ha reconocido que el maíz morado es un cultivo rico en antocianinas, las cuales dadas sus propiedades bioactivas y capacidad de pigmentar, pueden ser utilizadas por la industria nutracéutica, de los alimentos y textil; sin embargo, para aprovechar óptimamente las virtudes de los maíces morados, es necesario explorar, conocer y valorar su potencial productivo mediante la cuantificación de antocianinas totales; asimismo, se requiere llevar a cabo prácticas de mejoramiento genético clásico que permitan incrementar su concentración en el grano y otros órganos con capacidad de almacén. En el Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Pigmentados de Fisiotecnia Vegetal- Colegio de Postgraduados, en el ciclo Primavera-Verano, 2015 se seleccionaron 124 líneas S₂, que en su mayoría tuvieron color de grano morado intenso y morado rojizo, con el objetivo de determinar el contenido de antocianinas totales (AT) en grano completo, pericarpio y aleurona y caracterizarlas por sus parámetros de color. En promedio, las líneas tuvieron 0.0853 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, 0.9597 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio y 0.0315 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa (endospermo que incluye a la capa de aleurona). Los valores promedio de colorimetría indicaron que los granos fueron oscuros (L=10.5), las coordenadas de cromaticidad a y b, así como el ángulo hue (H) los ubicaron en el cuadrante de los colores rojos a amarillos (a = 3.3, b = 2.2 y H = 39.9°), y el color de grano según su croma (C) fue de baja saturación, describiéndose como de color apagado. En general, las líneas mostraron alto potencial productivo de antocianinas; no obstante, sólo 25 % de ellas fueron consideradas como líneas élite, siendo las diez con mayor potencial productivo: 118, 122, 198, 121, 120, 117, 147, 161, 123 y 124.

Palabras clave: *Zea mays* L., antocianinas totales, líneas endogámicas, maíz morado, potencial productivo, selección.

4.2. ABSTRACT

It has been recognized that purple corn is a crop rich in anthocyanins, which given its bioactive properties and ability to pigment, can be used by the nutraceutical, food and textiles industries; nevertheless, in order to use optimally the virtues of purple corn, it is necessary to explore, determine and value their productive potential by total anthocyanins quantification, as well, it is necessary to carry out plant breeding methodologies to increase its concentration of anthocyanins in the grain and in other organs with storage capacity. On the pigmented maize' breeding program of Colegio de Postgraduados during the Spring-Summer 2015 production cycle, 124 S₂ inbred lines were selected with the objective to determine their total anthocyanin content (TAC) in the whole grain, pericarp and aleurone, as well as to characterize them by parameters of color; their grain colors were intense purple and reddish purple. On average, the inbred lines had a TAC of 0.0853, 0.9597 and 0.0315 g of AT • 100 g⁻¹ in the whole grain, pericarp and aleurone, respectively. Mean colorimetric values indicated that the color of the grains was dark (L= 10.5), a and b chromaticity coordinates, as well as hue, located the color in the red to yellow quadrant of color (a = 3.3, b = 2.2 y H= 39.9 °) and chroma indicated that the grain color was of low saturation, describing it as dull. In general, the lines showed high productive potential of anthocyanins; however, just 25 % of them were considered as elite lines, the ten lines with higher productive potential of anthocyanins were: 118, 122, 198, 121, 120, 117, 147,161, 123 and 124.

Keywords: *Zea mays*, total anthocyanins, inbred lines, purple corn, productive potential, selection.

4.3. INTRODUCCIÓN

El desastroso panorama que a nivel mundial enfrenta la humanidad; es decir, la alta incidencia de enfermedades como las cardiovasculares, la diabetes, el cáncer, la desnutrición, entre otras (Griendling y FitzGerald, 2003; Shoji y Nakashima, 2004; Pandey *et al.*, 2010), más la necesidad de encontrar productos con un bajo impacto ambiental que puedan ayudar a mitigar los efectos del cambio climático (Lobell *et al.*, 2008), las nuevas demandas de los consumidores que buscan productos naturales, menos procesados y con menores o nulos efectos secundarios sobre la salud (Mercadante y Bobbio, 2008; Mateus y Freitas, 2009), así como el descubrimiento de diversos compuestos fitoquímicos que tienen un amplio potencial de aprovechamiento en la industria, han permitido el crecimiento y desarrollo de investigaciones en el área de la nutraceutica y de los alimentos funcionales (Birute *et al.*, 2009; Bhowmik *et al.*, 2013), cuya finalidad es encontrar opciones para contrarrestar dicha problemática.

En el proceso de búsqueda, se ha descubierto que las plantas producen y acumulan antocianinas, las cuales son un metabolito secundario con propiedades antioxidantes que pueden incidir favorablemente sobre la salud, al reducir la expresión de enfermedades coronarias, así como por su actividad anticancerígena, efecto vasoprotector, antiinflamatorio, prevención de déficits de memoria, funciones neuroprotectoras, efectos citoprotectores, etc. (Miyazawa *et al.*, 1999; Clifford, 2000; Ming *et al.*, 2003; Prior y Wu, 2006; Giusti y Jing, 2008; He y Giusti, 2010; Soto *et al.*, 2012) y que asimismo pueden ser utilizadas como un colorante natural en los alimentos y en la industria textil (Brat *et al.*, 2008; Boo *et al.*, 2012).

Dichos efectos benéficos, han impulsado la exploración de especies que puedan ser utilizadas para la extracción de antocianinas, encontrándose que el maíz de color de grano azul, rojo, morado y/o negro, puede ser una de las fuentes ideales ya que sintetiza al pigmento en el cariósido (Espinosa *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2009; Salinas *et al.*, 2013), además, representa a uno de los tres granos que alimentan a la humanidad, pues forma parte de la canasta básica en la alimentación de la población de países en vías de desarrollo, constituye la principal fuente de carbohidratos (Atlin *et al.*, 2011; FAO, 2011); del mismo modo, es un cereal barato de producir, fácil de almacenar que no se deteriora de forma inmediata si se mantiene seco (Escribano *et al.*, 2004).

No obstante, para su plena adopción como una fuente adecuada para la extracción de antocianinas, se requiere que sea altamente productivo en la síntesis y acumulación del pigmento por lo que una vez que se ha detectado la presencia de antocianinas, la siguiente etapa consiste en determinar en qué cantidad se encuentran (Cevallos y Cisneros, 2003; Hye y Verpoorte, 2010).

En las últimas décadas se han realizados diversos estudios sobre las antocianinas del maíz, algunos con la finalidad de detectar su presencia en poblaciones nativas, razas y materiales mejorados y otros para estimar la concentración del pigmento y para definir los tipos de antocianinas (Salinas *et al.*, 1999; Lopez-Martinez *et al.*, 2009; Salinas *et al.*, 2012, Fernández *et al.*, 2013; Salinas *et al.*, 2013; Urias *et al.*, 2013); de dichas pesquisas se ha concluido que los maíces nativos pigmentados poseen un gran potencial de aprovechamiento, constituyen un destacado reservorio y patrimonio genético; sin embargo, dada su baja productividad (rendimiento de grano), susceptibilidad a enfermedades así como la complejidad del carácter de color de grano, resulta imprescindible la implementación de metodologías de mejoramiento genético clásico para transformarlos en una fuente más redituable y eficiente para la extracción del colorante natural.

Si bien históricamente el objetivo principal del mejoramiento genético del maíz ha sido el incremento del rendimiento, en la actualidad se ha puesto mayor énfasis en el desarrollo de genotipos con composiciones químicas nutrimentales diferenciadas y con alta concentración de compuestos nutraceuticos (Wolfgang y McClafferty, 2007; Serna *et al.*, 2013).

Bajo este esquema y considerando que el maíz morado es rico en compuestos bioactivos (Yang y Zhai, 2010; Ramos-Escudero *et al.*, 2012), en el Programa de Mejoramiento Genético de Maíces Nativos de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados, desde el año 2013 se ha estudiado a los maíces morados de San Juan Ixtenco, Tlaxcala (México), los cuales evidentemente (por su coloración) producen antocianinas; sin embargo, aún se desconoce cuál es la magnitud del potencial productivo de antocianinas, por lo que se ha realizado la caracterización agronómica, la determinación del rendimiento y componentes del rendimiento y la cuantificación de antocianinas totales para poder valorarlos; a la par, se ha implementado la selección y el desarrollo de líneas

endogámicas en pro de obtener una mayor uniformidad en la pigmentación de las mazorcas y de los granos, y dada la correlación positiva existente entre la intensidad del color observado con la concentración del pigmento (Espinosa *et al.*, 2009) también se espera que mediante esta metodología de mejoramiento se incremente la cantidad de antocianinas totales en los genotipos evaluados.

Ya sea por selección o por generación de líneas endogámicas, durante el mejoramiento genético de las poblaciones nativas de maíces morados, constantemente se ha observado, que si bien, todas presentan pigmentación, existe variación en la expresión de las antocianinas en la frecuencia de mazorcas pigmentadas e inclusive en el patrón de pigmentación expresado entre granos, lo cual puede estar en función de las condiciones ambientales (estrés) o del control genético como la presión de selección y la expresión génica (Taylor y Briggs, 1990; Bridle y Timberlake, 1997).

En la presente investigación los objetivos del trabajo se enfocaron en determinar la concentración de antocianinas totales en grano completo, pericarpio y capa de aleurona de líneas S₂ y seleccionar a aquéllas con mayor potencial productivo, así como llevar a cabo su caracterización por inspección visual y colorimetría.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Material genético

En el Colegio de Postgraduados (CP), en el Campus Montecillo, durante el ciclo primavera-verano (P-V) 2014 se establecieron plantas provenientes de 100 mazorcas de polinización fraternal (#), las cuales fueron formadas en P-V 2013 en Montecillo y dos localidades ubicadas en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, a partir de 22 poblaciones nativas de maíz morado producidas en Tlaxcala en 2012, y algunas poblaciones pigmentadas formadas en el programa de mejoramiento de Montecillo. Las 100 mazorcas se eligieron de un grupo de 363 #, por tener color de grano morado y azul oscuro; en las plantas establecidas se realizaron autofecundaciones obteniéndose 289 líneas S₁, de las cuales solamente 100 fueron seleccionadas y establecidas en el ciclo P-V 2015, para avanzar en su nivel de endogamia a S₂. Las líneas S₂ se clasificaron en cinco grupos de color de grano, de las cuales solamente 124 líneas cumplieron con el criterio de selección de 255 obtenidas; dichas líneas fueron evaluadas en condiciones de laboratorio para estudiar la

magnitud de su potencial productivo de antocianinas. Como genotipos de referencia (testigos) se exploró un maíz de color azul (Az-2) y otros de color blanco (B-1) y rojo (RP-1).

4.4.2. Preparación de muestras, extracción y cuantificación de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales se determinó en el pericarpio (ATper) y en la capa de aleurona (ATal), para lo cual, de cada línea se tomó 25 granos de la parte central de la mazorca, los cuales se sumergieron 3.5 h en agua destilada para separar el pericarpio del resto del grano. Dichas estructuras se deshidrataron en una estufa de secado a 40 °C durante 48 h. Consecutivamente, se pesó cada estructura (Pper = Peso de pericarpio y Pal = Peso de aleurona, endospermo y embrión, ambos en gramos) y la biomasa total del grano (PTgr) se obtuvo al sumar Pper y Pal. A partir de Pper, Pal y PTgr se determinó el porcentaje de pericarpio (% per) y el porcentaje del resto del grano (% al) que conformaron a PTgr. Después, cada estructura fue pulverizada (0.5 mm) y en el caso de la aleurona, dado que es un tejido muy fino y difícil de separar del resto del grano, se molió junto con el endospermo y el embrión.

La extracción y cuantificación de ATper y ATal se realizó en la Unidad de Laboratorios del Campus Puebla del CP. La extracción se hizo por ultrasonido a partir de 25 mg de muestra (Per = pericarpio o Al = aleurona) en tubos Eppendorf® de 2 mL, se obtuvieron 3 repeticiones por muestra. A cada tubo se le agregó etanol a 96% y 1.5 N de ácido clorhídrico (85:15 v/v), en muestras de Al se utilizó una proporción sólido-líquido de 1:25 y en muestras de Per de 1:80. Inmediatamente los tubos se colocaron en un baño de ultrasonido (Ultrasonic Cleaner AutoSCIENCE® AS-5150B) durante 15 minutos, y a continuación, se centrifugaron en una micro-centrífuga (HERMLE® Z326K) a 11510 g durante 5 min; después el sobrenadante fue colectado; se procedió a realizar una segunda extracción y los dos extractos fueron concentrados.

La cuantificación de antocianinas se realizó utilizando un espectrofotómetro de microplaca Thermo Scientific® Varioskan Flash, en el que las lecturas de absorbancia se realizaron a 535 nm; de cada extracto se tomaron 3 alícuotas de 200 µL. El cálculo de antocianinas totales se hizo con la fórmula: $AT = \frac{A \cdot V_{ext} \cdot PM \cdot FD}{\epsilon \cdot Pmu}$ donde AT = contenido de antocianinas totales en mg g⁻¹ de grano, de pericarpio o de grano sin pericarpio (denominado biomasa) en ATgr, ATper y ATal, respectivamente, A = absorbancia, Vext

= volumen de extracción en mL, PM = peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449.2 g mol⁻¹), FD = factor de dilución, ϵ = coeficiente de extinción molar de la cianidina-3-glucósido (26900 L cm⁻¹ mg⁻¹) y Pmu = peso de la muestra en g. Una vez que se determinó ATper y ATal, los resultados se transformaron en gramos (g) de antocianinas totales. El contenido de antocianinas totales en el grano (ATgr) se determinó con la fórmula $ATgr = \left(\frac{\%per*ATper}{100}\right) + \left(\frac{\%al*ATal}{100}\right)$.

4.4.3. Clasificación de líneas, orden jerárquico y selección de líneas élite

Con base en ATgr, ATper y ATal, y considerando una variable a la vez, las líneas se clasificaron como: a) sobresalientes (25% del total de líneas = 31 líneas con mayor AT), b) intermedias (AT superiores a la media) y c) no sobresalientes (AT iguales o inferiores a la media). Posteriormente, para identificar la magnitud de su potencial productivo de antocianinas, así como para darles un orden jerárquico (señalar su posición del 1 al 124, iniciando por la línea de mayor potencial productivo), se detectó la presencia o ausencia de atributos deseables, considerando que la línea exhibió un atributo cuando AT fue superior a la media, pudiendo tener desde 0 (cuando ninguna de las variables tuvo AT superior a la media) hasta 3 atributos (cuando ATgr, ATper y ATal fueron mayores que la media). El orden jerárquico se realizó por: número de atributos exhibidos, ATgr, ATper y ATal, acomodados del valor superior al valor inferior. Finalmente, se categorizó como líneas élite a las primeras 31 líneas de la lista, que fueron equivalentes a 25 % del total de líneas estudiadas.

4.4.4. Evaluación visual del color de grano y parámetros de color

Para evaluar visualmente la coloración del grano se estableció una escala de color (Figura 1), la cual consistió en clasificar a las líneas en grupos: 1 = grano azul oscuro, 2 = grano rojo, 3 = grano morado azulado, 4 = grano morado rojizo y 5 = grano morado intenso.



Figura 1. Escala de color de grano utilizada para evaluar visualmente el color de grano de líneas S₂ de maíz morado: 1 = grano azul oscuro, 2 = grano rojo, 3 = grano morado azulado, 4 = grano morado rojizo y 5 = grano morado intenso.

El estudio colorimétrico se hizo con el equipo HunterLab Modelo 45/O, que generó los parámetros de color L, a y b; se tomaron cinco lecturas en cada línea. La variable L = luminosidad que, dependiendo de sus valores, señala que el color es claro si L = 51-100 y oscuro, si L = 0-50. Los valores de a y b, indican las coordenadas de cromaticidad en la escala HunterLab. Además, se estimó el ángulo hue (H) con la fórmula $H = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$ (grados); y croma, C, con $C = \sqrt{a^2 + b^2}$.

4.4.5. Análisis estadístico

El análisis de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) para Windows versión 9.0, realizando el análisis de varianza con el Diseño Completamente al Azar, así como la comparación de medias entre los tratamientos con la prueba de Tukey $\alpha = 0.05$.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las 124 líneas S₂ de maíz morado constituyeron 48.6 % del total de líneas S₂ producidas en 2015; 68 tuvieron color morado intenso (Figura 1.5), 45 fueron de grano morado rojizo (Figura 1.4) y el resto fueron de grano rojo (Figura 1.2), morado azulado (Figura 1.3) y azul oscuro (Figura 1.1), lo que en términos generales garantizó que las líneas tuvieran alto rendimiento de antocianinas, dada la correlación positiva que existe entre la intensidad del color observado con la concentración del pigmento (Espinosa *et al.*, 2009). El análisis de varianza indicó que hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre líneas en todas las variables evaluadas (Cuadro 1). En los parámetros de color se encontró que los coeficientes de variación fueron altos (L = 27.2 %, a = 48.4 %, b = 25.5 %, C = 35.9 % y H = 31.7%), lo cual se atribuyó a que la distribución del color en la

superficie del grano no fue uniforme y a que su acomodo en la muestra fue aleatorio; sin embargo, las mediciones fueron confiables ya que describieron al color de grano cuantitativamente.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de antocianinas totales y parámetros de color en líneas S₂ de maíz morado.

FV	GL	ATgr	ATper	ATal	L	a	b	C	H
Líneas	123	0.002**	5.69**	1.8x10 ^{-3**}	50.2**	14.9**	1.78**	12.2**	922.9**
Error	984¶	7.7x10 ⁻⁵	0.0171	1.0x10 ⁻⁵	8.2	2.5	0.322	2.2	159.8

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad, ATgr = Antocianinas totales en el grano completo, ATper = Antocianinas totales en el pericarpio, ATal = Antocianinas totales en la capa de aleurona, L= Luminosidad, a y b= Coordenadas de cromaticidad, C = Croma, H = Ángulo hue, ** = P ≤ 0.01; ¶GL del error para L, a, b, C y H =492.

4.5.1. Contenido de antocianinas totales (CAT)

El contenido de antocianinas totales (CAT) de las 124 líneas S₂ de maíz corroboró que es promisorio el potencial productivo de pigmentos, ya que tuvieron un intervalo de concentración de antocianinas en el grano (ATgr) de: 0.0135 a 0.3090 g de AT • 100 g⁻¹ de grano. Al analizar el contenido de antocianinas en el pericarpio (ATper) y en la aleurona (ATal), estructuras de almacenamiento del grano, se encontró que sintetizaron y acumularon el colorante natural en ambas, siendo notablemente mayor en el pericarpio que en la aleurona, cuyos intervalos fueron 0.0330 a 3.7609 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio y 0.0020 a 0.0677 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa en la aleurona. En promedio, las líneas tuvieron 0.0853, 0.9597, 0.0315 g de AT • 100 g⁻¹ en grano, pericarpio y aleurona, respectivamente (Cuadro 2).

4.5.2. Antocianinas totales en grano (ATgr)

Salinas *et al.* (2013) señalan que el contenido de antocianinas reportado en maíz varía de acuerdo con las técnicas de extracción y del germoplasma utilizado. Al comparar ATgr de las líneas con las descritas en la literatura, además de coincidir con lo anterior, se encontró que la clasificación del color de grano es variable entre los reportes; por ejemplo, Salinas *et al.* (2012) indican que los granos que estudiaron fueron de color azul/morado mientras que, de acuerdo con la escala propuesta en este trabajo, esos granos son de color azul oscuro y distaron del color morado. En consecuencia, al consultar las fuentes de información para cotejar el potencial de estas líneas fue

necesario analizar el origen geográfico, fotografías del grano exhibidas en los artículos y las unidades en las que se mostraron los resultados. En la exploración se encontró que el maíz morado AREQ516540TL tuvo $AT_{gr} = 0.851 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano (Lopez-Martinez *et al.*, 2009), siendo 2.75 veces superior a la línea 118 que tuvo la concentración máxima de AT_{gr} , y también fue similar a la concentración encontrada por Zhao *et al.* (2008) en un híbrido chino de grano “negro” ($0.3045 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano). Las líneas 118, 122, 198, 121, 120, 212, 117, 129, 148 y 127, ordenadas de mayor a menor AT_{gr} , tuvieron entre 0.3090 y $0.1840 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano. También fueron las diez líneas con los valores máximos de AT_{gr} e inclusive más productivas que una variedad comercial de maíz morado de grano ceroso, cuyo rendimiento fue de $0.165 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano (Khampas *et al.*, 2013).

Las líneas sobresalientes para AT_{gr} (25 % del total de líneas con mayor AT), que incluyeron a las diez mencionadas previamente, así como a las líneas 147, 161, 158, 176, 132, 123, 155, 154, 135, 124, 159, 144, 139, 167, 165, 173, 105, 104, 162, 149 y 103, también ordenadas de mayor a menor AT_{gr} , tuvieron el intervalo de concentración de 0.3090 a $0.1039 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano, las cuales con excepción de la línea 103, superaron en rendimiento al híbrido morado estudiado por Wang y Zeng (2009) que tuvo $0.106 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano. Además, las concentraciones fueron similares a la reportada por Espinosa *et al.* (2009) en granos de color púrpura ($0.1269 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano), así como a las de Lopez-Martinez *et al.* (2009) en el genotipo Mm04c1 de grano negro ($0.121 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano) y a los de grano morado rojizo de la raza arrocillo, analizados por Salinas *et al.* (2005) con $0.115 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano.

De las quince líneas S_2 intermedias (AT superior a la media, 0.0856 a $0.1007 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano): 142, 207, 106, 136, 134, 146, 116, 114, 115, 125, 151, 214, 164, 141 y 133, así como doce líneas del grupo de líneas no sobresalientes (AT igual o inferior a la media, 0.0767 a $0.0853 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano): 185, 137, 128, 156, 101, 171, 119, 163, 110, 178, 112 y 169, se observó que mostraron mayor concentración que la reportada por Salinas *et al.* (2005) para granos de la raza peruano ($0.0765 \text{ g de AT} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de grano), raza que en investigaciones relacionadas, con frecuencia es señalada como la fuente de antocianinas de maíz con mayores concentraciones (Zhao *et al.*, 2009, Žilic *et al.*, 2012; Ryu *et al.*, 2013; Collison *et al.*, 2015).

Del mismo modo, las líneas 200, 211, 145, 143, 109, 130, 140, 157 y 180 (no sobresalientes) tuvieron concentraciones de antocianinas mayores que el maíz morado boliviano “Kculli” (0.0716 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) descrito por Cuevas *et al.* (2011). Implícitamente, otras líneas del mismo grupo mostraron un desempeño superior al del cultivar chino “Zihei” de grano morado cuya capacidad de acumulación de antocianinas fue de 0.0555 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Yang y Zhai, 2010). Inclusive, las diez líneas con ATgr inferiores (0.0135-0.03 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) tuvieron mayor potencial de sintetizar y acumular antocianinas que los genotipos de referencia Az-2 y RP-1 (Cuadro 2).

Estos resultados fueron trascendentes, pues al tratarse de líneas con 75 % de homocigosis y AT por encima de las reportadas para híbridos y variedades comerciales de maíz morado, se espera que para su aprovechamiento en futuras combinaciones de cruzamientos híbridos, la capacidad de producir antocianinas se incremente por efecto de heterosis (Wolfgang y McClafferty, 2007). Además, es posible que el potencial productivo de pigmentos de las líneas pueda ser mayor, ya que en la cuantificación de antocianinas de este estudio solamente se realizaron dos extracciones y el solvente de extracción utilizado fue etanol acidificado, mientras que Yang *et al.* (2009) indican que con dos extracciones se obtiene 94.3 % del total de las antocianinas contenidas en la muestra y Xu *et al.* (2010) señalan que la extracción de este pigmento con metanol es 20 % más efectiva que con etanol.

4.5.3. Antocianinas totales en pericarpio (ATper)

Aun cuando las líneas en estudio fueron seleccionadas sólo por su color oscuro e intenso (Figura 1) tratando de asegurar elevadas concentraciones de pigmento, se observó que algunas tuvieron concentraciones bajas; hubo una diferencia de 0.2955 g de AT entre el valor mínimo y el valor máximo de ATgr (Cuadro 2); lo cual se atribuyó a que el patrón de acumulación de antocianinas tanto en el pericarpio como en la capa de aleurona fue variable; por ejemplo, la línea 103 pigmentó toda la superficie de las estructuras, mientras que algunas otras no colorearon todo el pericarpio o toda la superficie del endospermo. En algunos genotipos la porción de pericarpio cercana al pedicelo del grano no tuvo coloración (línea 107) o mostraron patrones rayados (líneas 126 y 221) mientras que en

la aleurona, las disparidades que se observaron fueron por diferentes tonalidades del color en granos de un mismo genotipo (línea 126), ausencia o ligera presencia del pigmento (línea 214) o presencia de moteados (línea 212).

El pericarpio acumuló 30.46 veces más de lo que en promedio se concentró en la aleurona; sin embargo, solamente constituyó 5.5 % del peso total del grano, lo que implica que para obtener 0.9597 g de AT, se necesita 1.818 kg de grano para extraer las antocianinas de 100 g de pericarpio; no obstante, si el pericarpio posee un tipo de antocianina útil para la industria nutracéutica, esta estructura es una excelente fuente de extracción de antocianinas. Así, con una producción de 3 ton ha⁻¹ de alguna población generada con estas líneas se obtendría 1.5836 kg de AT • ha⁻¹, exclusivamente de pericarpio.

La AT_{per} en las líneas sobresalientes (25% del total de líneas con mayor AT): 118, 158, 129, 198, 127, 117, 120, 212, 122, 132, 159, 121, 135, 173, 123, 148, 147, 167, 161, 176, 157, 124, 155, 165, 154, 214, 213, 128, 149, 110 y 143, ordenadas de mayor a menor AT_{per}, osciló entre 3.7609 y 1.3286 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, de las cuales sólo las últimas cinco, tuvieron concentración menor a la reportada por Salinas *et al.* (2005) para el pericarpio de granos de maíz de las razas arrocillo y peruano (1.473 y 1.524 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, respectivamente); sin embargo, estas líneas sobresalientes, acumularon más pigmento que el maíz morado de Perú que tuvo 1.06 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio (Monroy *et al.*, 2016). Las líneas intermedias (AT superior a la media): 144, 211, 105, 139, 151, 156, 136, 137, 199, 104, 103, 116, 130, 164, 200, 133, 207 y 171 tuvieron entre 1.3202 y 0.9781 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; las líneas 222, 186, 195, 174, 108, 205, 168, 221, 203 y 197 del grupo de líneas no sobresalientes (AT igual o inferior a la media) rindieron 0.033-0.710 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio. Todas las líneas fueron más productivas en AT_{per} que Az-2, RP-1 y B-1 (Cuadro 2).

4.5.4. Antocianinas totales en aleurona (AT_{al})

Las líneas sobresalientes en AT_{al} tuvieron desde 0.0424 hasta 0.0677 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, y fueron: 115, 120, 122, 179, 198, 125, 146, 162, 118, 104, 108, 112, 117, 185, 161, 131, 103, 180, 203, 209, 172, 220, 219, 100, 105, 147, 142, 106, 144, 155 y 186, mencionadas de mayor a menor AT_{al}, las cuales sintetizaron menos antocianinas

que el híbrido de maíz azul elite 503 x 67 con 0.1052 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Urias-Lugo *et al.*, 2015) y algunos de los 25 híbridos azules evaluados por Urias-Peraldí *et al.* (2013) como 33 x 58 que produjo 0.0783 g de AT • 100 g⁻¹ de grano. Las diez líneas con contenido máximo en este tejido, acumularon mayor cantidad de antocianinas que el maíz boliviano “Tuimuru” de color azul claro, cuya concentración fue de 0.0510 g de AT • 100 g⁻¹ de grano (Cuevas *et al.*, 2011).

En las treinta líneas intermedias (AT superior a la media) ATal fluctuó entre 0.0317 y 0.0416 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, con concentraciones similares (0.03 g de AT • 100 g⁻¹ de grano) a las descritas para materiales de grano azul (del Pozo-Insfran *et al.*, 2006). Asimismo fueron análogas a la obtenida en el testigo Az-2 (0.0268 g de AT • 100 g⁻¹ de grano). Con estos resultados se respalda que los maíces morados poseen mayor capacidad de síntesis y almacenamiento de antocianinas que los maíces azules que sólo producen el pigmento en la aleurona; inclusive, se encontraron líneas que aunque no son altamente productivas en el pericarpio, con lo que acumulan en la aleurona siguen siendo más productivos que los azules.

4.5.5. Líneas elite: por alto contenido de antocianinas en grano, pericarpio y aleurona

La valoración integral del potencial productivo de las líneas S₂ mostró que 74.2 % de ellas tuvieron entre uno y tres de los atributos estudiados. 19 líneas tuvieron los tres atributos, 28 líneas tuvieron dos y 45 líneas únicamente mostraron uno. Las 31 líneas que se clasificaron como elite tuvieron entre dos y tres atributo, éstas fueron: 118, 122, 198, 121, 117, 147, 161, 123, 124, 144, 139, 165, 105, 104, 103, 207, 116, 164, 212, 148, 176, 132, 135, 167, 173, 162, 149, 142, 106 y 136, todas de grano morado intenso (Figura 1.5), a excepción de: 164, 167 y 149, cuyo color fue morado rojizo (Figura 1.4). En el Cuadro 2, se muestra el orden que tomaron las líneas, es decir, su posición en función del potencial productivo de antocianinas que tuvieron, el contenido de pigmento en el grano completo, pericarpio, aleurona y los parámetros de color de una muestra de las 124 líneas S₂ estudiadas. Destacaron las líneas 118, 122, 198 y 120, porque en ATgr, ATper y ATal se ubicaron en las primeras diez posiciones por su alto contenido (fueron sobresalientes).

Cuadro 2. Orden, contenido de antocianinas totales en grano, pericarpio, aleurona y parámetros de color de una muestra de un total de 124 líneas S₂ de maíz morado.

Orden	Línea	ATgr	ATper	ATal	L	a	b	C	H
1	118	0.3090 ⁽¹⁾	3.7609 ⁽¹⁾	0.0532 ⁽⁹⁾	5.9	1.5	2.7	3.2	61.3
2	122	0.2526 ⁽²⁾	2.4035 ⁽⁹⁾	0.0605 ⁽³⁾	8.5	0.5	1.7	1.8	73.5
3	198	0.2401 ⁽³⁾	3.0417 ⁽⁴⁾	0.0550 ⁽⁵⁾	7.0	1.0	2.2	2.5	66.7
4	121	0.2332 ⁽⁴⁾	2.1627 ⁽¹²⁾	0.0330 ⁽⁵⁷⁾	7.1	1.3	2.2	2.6	59.2
5	120	0.2161 ⁽⁵⁾	2.6328 ⁽⁷⁾	0.0619 ⁽²⁾	13.2	2.0	1.5	2.5	41.2
6	117	0.1983 ⁽⁷⁾	2.6825 ⁽⁶⁾	0.0510 ⁽¹³⁾	8.4	1.6	1.9	2.5	51.8
7	147	0.1730 ⁽¹¹⁾	1.8778 ⁽¹⁷⁾	0.0447 ⁽²⁶⁾	10.3	1.3	1.5	2.0	51.5
8	161	0.1646 ⁽¹²⁾	1.7707 ⁽¹⁹⁾	0.0493 ⁽¹⁵⁾	8.3	1.8	2.1	2.9	52.2
9	123	0.1315 ⁽¹⁶⁾	1.9648 ⁽¹⁵⁾	0.0350 ⁽⁵²⁾	7.5	2.3	2.2	3.2	45.4
10	124	0.1205 ⁽²⁰⁾	1.6794 ⁽²²⁾	0.0385 ⁽⁴⁰⁾	7.6	1.3	1.9	2.4	56.0
17	207	0.0986 ⁽³³⁾	0.9803 ⁽⁴⁸⁾	0.0332 ⁽⁵⁶⁾	8.2	1.5	1.9	2.5	55.6
18	116	0.0926 ⁽³⁸⁾	1.0554 ⁽⁴³⁾	0.0333 ⁽⁵⁵⁾	10.1	2.2	1.7	2.8	36.5
19	164	0.0867 ⁽⁴⁴⁾	1.0135 ⁽⁴⁵⁾	0.0359 ⁽⁴⁵⁾	9.5	6.0	3.1	6.8	27.7
31	136	0.0943 ⁽³⁵⁾	1.1520 ⁽³⁸⁾	0.0280 ⁽⁷⁷⁾	9.6	1.9	1.7	2.6	43.0
34	114	0.0925 ⁽³⁹⁾	0.6910 ⁽⁷⁰⁾	0.0397 ⁽³⁴⁾	8.5	2.2	1.9	3.1	42.7
92	174	0.0324 ⁽¹¹¹⁾	0.0517 ⁽¹¹⁸⁾	0.0315 ⁽⁶²⁾	13.8	3.6	1.9	4.1	30.2
100	202	0.0577 ⁽⁸⁶⁾	0.6089 ⁽⁷⁶⁾	0.0305 ⁽⁶⁷⁾	18.8	5.7	1.9	6.2	26.8
122	197	0.0300 ⁽¹¹⁵⁾	0.0330 ⁽¹²⁴⁾	0.0298 ⁽³⁾	19.9	5.3	2.1	5.9	25.5
123	205	0.0191 ⁽¹²³⁾	0.0419 ⁽¹²⁰⁾	0.0174 ⁽⁵²⁾	12.3	6.8	3.8	7.8	29.6
124	222	0.0135 ⁽¹²⁴⁾	0.0710 ⁽¹¹⁵⁾	0.0104 ⁽¹¹²⁾	16.7	10.2	5.8	11.8	31.0
Testigos	Azul-2	0.0258	0.0032	0.0268	19.9	3.1	6.1	6.8	63
	Blanco	0.00042	0.0007	0.0004	53.5	-0.4	14.2	14	91.6
	Rojo	0.0045	0.0277	0.0028	22.6	10.6	10.5	15	44.7
DMS		0.0183	0.2724	0.0066	8.0	4.4	1.6	4.1	35.4
Media		0.0853	0.9597	0.0315	10.5	3.3	2.2	4.1	39.9
Mínimo		0.0135	0.0330	0.0020	5.7	0.5	1.1	1.8	10.2
Máximo		0.3090	0.7609	0.0677	24.5	10.5	5.8	11.8	73.5

ATgr = Antocianinas totales en grano, en g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATper = Antocianinas totales en el pericarpio, en g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; ATal = Antocianinas totales en la capa de aleurona, en g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; L = Luminosidad; a y b = Coordenadas de cromaticidad; C = Croma; H = Ángulo hue; DMS = Diferencia mínima significativa. El orden y el número entre paréntesis muestran la posición que ocupó la línea por su potencial productivo y en dicha variable, respectivamente, la cual se encuentra entre 1 y 124.

4.5.6. Parámetros de color

Las mediciones de L oscilaron entre 5.7 y 24.5, en promedio $L = 10.5$ (Cuadro 2); es decir, que el color de los granos fue oscuro, muy cercano al negro; 108 líneas fueron estadísticamente iguales, con intervalo de 5.7 a 13.7 y en su mayoría se trató de granos de color morado intenso (67 líneas, Figura 1.5) y morado rojizo (39 líneas, Figura 1.4), los cuales fueron más oscuros que los maíces estudiados por Salinas *et al.* (2005) ($L = 11.16-16.08$). Respecto al parámetro a, todos los valores fueron positivos y se encontraron en el intervalo de 0.5 a 10.5, en promedio $a = 3.3$; también b, todos sus valores fueron positivos y se encontraron entre 1.1 y 5.8, en promedio $b = 2.2$, dichas coordenadas se ubicaron en el eje a^+ y b^+ ; es decir, en el cuadrante de los colores rojos a amarillos.

Los valores de croma (C) fluctuaron entre 1.8-11.8, siendo en promedio $C = 4.1$ (Cuadro 2); 94 líneas fueron estadísticamente iguales (68 de grano morado intenso, 22 de grano morado rojizo y 4 de grano morado azulado, Figuras 1.5, 1.4 y 1.3, respectivamente) cuyo C fluctuó entre 1.8-4.9; lo que indica que el color de los granos de estas líneas fue de baja saturación, baja intensidad e impuro (se mezcló con una reducida cantidad de blanco), por lo que se les catalogó como de un color apagado, neutro o débil. Las diez líneas con los valores inferiores de C, que se encontraron entre 1.8 y 2.5, fueron las de color de grano morado intenso y dentro de éstas fueron las de los granos más oscuros (pigmentó toda la superficie del grano) y tuvieron un C similar a los reportados por Salinas *et al.* (2005) para granos de la raza arrocillo ($C = 2.0$), cónico ($C = 2.3$) y purépecha ($C = 2.8$). En contraste, las diez líneas con C máximos ($C = 6.2 - 11.8$) fueron de granos morado rojizo, rojo y azul oscuro (Figuras 1.4, 1.2 y 1.1, respectivamente), cuyo color fue “más vivo” por encontrarse más saturado.

El intervalo de H fue de 10.2° a 73.5° y en promedio $H = 39.9^\circ$ (Cuadro 2), lo que significó que el tono del grano de las líneas fue del rojo intenso al anaranjado, los valores de H fueron superiores (con excepción de la línea 200, $H = 10.2^\circ$) a los de las razas peruano, arrocillo, cónico y purépecha, con ángulos en el tono rojo intenso de 11.8° , 10.3° , 8.2° y 15.4° , respectivamente (Salinas *et al.*, 2005). Las diez líneas con los mayores ángulos ($H = 59.7^\circ - 73.5^\circ$) tuvieron color de grano morado intenso (Figura 1.5), mientras que las diez líneas con los menores ángulos ($H = 10.2^\circ - 24.3^\circ$) fueron

de color morado rojizo, morado azulado y rojo (Figuras 1.4, 1.3 y 1.2, respectivamente); 61 líneas fueron estadísticamente similares y abarcaron $H = 38.1^\circ - 73.5^\circ$. El valor de H no reflejó los matices de color morado o púrpura de los granos evaluados, sino coloraciones rojizas a anaranjadas. Aunque H no representó el color observado y clasificado en esta investigación, se detectó que el color de grano fue más oscuro conforme H se incrementó.

4.6. CONCLUSIONES

Las líneas de maíz morado mostraron alto potencial para producir antocianinas, su rendimiento promedio fue de 0.0853, 0.9597 y 0.0315 g de AT \cdot 100 g⁻¹ de grano completo, de pericarpio y de aleurona, respectivamente. Del total de líneas evaluadas, 74.2 % tuvo concentraciones sobresalientes en uno hasta los tres órganos estudiados. En general, la clasificación visual del color de las líneas fue morado intenso y, con base en los parámetros de colorimetría, se refirió como un color de baja saturación, baja intensidad, apagado y oscuro, ubicado en el cuadrante de los colores rojos a amarillos de la escala HunterLab. Fueron 31 líneas las que expresaron el máximo potencial productivo de antocianinas (líneas élite), las cuales, aunado a sus características agronómicas y de rendimiento de grano favorables, podrán considerarse como base genética del programa de mejoramiento genético de maíces pigmentados.

4.7. LITERATURA CITADA

Atlin G. N., N. Palacios, R. Babu, B. Das, S. Twumasi-Afriyie, D. K. Friesen, H. De Groote, B. Vivek and K.V. Pixley (2011) Quality protein maize: progress and prospects. *Plant Breeding Reviews* 34:83-130.

Bhowmik D., H. Gopinath, B. P. Kumar, S. Duraivel and K. P. Sampath K. (2013) Nutraceutical- A bright scope and opportunity of Indian healthcare market. *The Pharma Innovation* 1:29-41.

Birute G. A., E. Juárez H., E. Sieiro O., R. Romero V. y J. L. Silencio B. (2009) Los nutraceuticos: lo que es conveniente saber. *Revista Mexicana de Pediatría* 76:136-145.

Boo H. O., S. J. Hwang, C. S. Bae, S. H. Park, B. G. Heo and S. Gorinstein (2012) Extraction and characterization of some natural plant pigments. *Industrial Crops and Products* 40:129-135.

Brat P., F. Tourniaire and M. J. Amiot-Carlin (2008) Stability and analysis of phenolic pigments *In: Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. C. Socaciu (ed.) CRC Press LLC. USA. pp:71-83.

Bridle P. and C. F. Timberlake (1997) Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. *Food Chemistry* 58:103-109.

Cevallos C. B. A. and L. Cisneros Z. (2003) Stoichiometric and kinetic studies of phenolic antioxidants from andean purple corn and red-fleshed sweet potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:3313-3319.

Clifford M. N. (2000) Anthocyanins nature, occurrence and dietaryburden. *Journal of the Science and Food and Agriculture* 80(70):1063-1072.

Collison A., L. Yang, L. Dykes, S. Murray and J. M. Awika (2015) Influence of genetic background on anthocyanin and copigment composition and behavior during thermoalkaline processing of maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63:5528-5538.

Cuevas M. E., S. Hillebrand, A. Antezana and P. Winterhalter (2011) Soluble and bound phenolic compounds in different Bolivian purple corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59:7068-7074.

Del Pozo-Insfran D., C. H. Brenes, S. O. Serna S. and S. T. Talcott (2006) Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.). *Food Research International* 39:696-703.

Escribano-Bailón M. T., C. Santos-Buelga and J. C. Rivas-Gonzalo (2004) Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A* 1054:129-141.

Espinosa T. E., M. C. Mendoza C., F. Castillo G., J. Ortiz C., A. Delgado A. y A. Carrillo S. (2009) Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnía Mexicana* 32:303-309.

FAO (2011) The State of Agriculture 2010-2011. Roma, Italy, pp:65-76.

Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnía Mexicana* 36:275-283.

Giusti M. M. and P. Jing (2008) Analysis of anthocyanins. *In: Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. C. Socaciu (ed.) CRC Press LLC. USA. pp:480-497.

Griendling K. K. and G. A. FitzGerald (2003) Oxidative stress and cardiovascular injury: Part I: basic mechanisms and *in vivo* monitoring of ROS. *Circulation* 108:1912-1916.

He J. and M. M. Giusti (2010) Anthocyanins: natural colorants with health promoting properties. *Annual Review of Food and Science and Technology* 1:163-187.

Hye K.K. and R. Verpoorte (2010) Sample preparation for plant metabolomics. *Phytochemical Analysis* 21:4-13.

Khampas S., K. Lertrat, K. Lomthaisong and B. Suriharn (2013) Variability in phytochemicals and antioxidant activity in corn at immaturity and physiological maturity stages. *International Food Research Journal* 20:3149-3157.

Lobell D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon and R. L. Naylor (2008) Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607-610.

Lopez-Martinez L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C. H. Lee, K. L. Parkin and H. S. Garcia (2009) Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology* 42:1187-1192.

Mateus N. and V. de Freitas (2009) Anthocyanins as food colorants. *In: Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications*. K. Gould, K. Davies, C. Winefield (eds.) Ed. Springer. New York. EUA. pp:283-298.

Mercadante A. Z. and F. O. Bobbio (2008) Anthocyanins in foods: occurrence and physicochemical properties. *In: Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. C. Socaciu (ed.) CRC Press LLC. EUA. pp:241-268.

Ming J. M., L. S. Chia, N. K. Goh, T. F. Chia and R. Brouillard (2003) Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64:923-933.

Miyazawa T., K. Nakagawa, M. Kudo, K. Muraishi and K. Someya (1999) Intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyaniding-3-glucoside and cyanidine-3, 5-diglucoside, into rats and humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:1083-1091.

Monroy Y. M., R. A. F. Rodrigues, A. Sartoratto and F. A. Cabral (2016) Extraction of bioactive compounds from cob and pericarp of purple corn (*Zea mays* L.) by sequential extraction in fixed bed extractor using supercritical CO₂, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids* 107:250-259.

Pandey M., R. K. Verma and S. A. Saraf (2010) Nutraceuticals: new era of medicine and health. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 3:11-15.

Prior L. R. and X. Wu (2006) Anthocyanins: structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. *Free Radical Research* 40:1014-1028.

Ramos-Escudero F., A. M. Muñoz, C. Alvarado-Ortiz, A. Alvarado and J. A. Yañez (2012) Purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds profile and its assessment as an agent against oxidative stress in isolated mouse organs. *Journal of Medicinal Food* 15:206-215.

Ryu S. H., L. Werth, S. Nelson, J. C. Scheerens and R. C. Pratt (2013) Variation of kernel anthocyanin and carotenoid pigment in USA/Mexico borderland landraces of maize. *Economic Botany* 67:98-109.

Salinas M. Y., C. García S., B. Coutiño E. y V. A. Vidal M. (2013) Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:285-294.

Salinas M. Y., F.J. Cruz C., S. A. Díaz O. y F. Castillo G. (2012) Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutraceutico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:33-41.

Salinas M. Y., G. Salas S., D. Rubio H. and N. Ramos L. (2005) Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *Journal of Chromatographic Science* 43:483-487.

Salinas M. Y., M. Soto H., F. Martínez B., V. González H. y R. Ortega P. (1999) Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 22:161-174.

Serna S. S. O., J. A. Gutiérrez U., S. Mora R. y Silverio García L. (2013) Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3):295-304.

Shoji Y. and H. Nakashima (2004) Nutraceuticals and delivery systems. *Journal of Drug Targeting* 12:385-391.

Soto V. A., A. Gutiérrez, J. N. Losso, Z. Xu and J. Finley (2012) Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:6658-6677.

Taylor P. L. and W. R. Briggs (1990) Genetic regulation and photocontrol of anthocyanin accumulation in maize seedlings. *The Plant Cell* 2:115-127.

Urias P. M., J. A. Gutiérrez U., R. E. Preciado O., A. S. Cruz M., S. O. Serna S. y S. García L. (2013) Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays* L.) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research* 141:69-76.

Urias-Lugo D. A., J. B. Heredia, S. O. Serna-Saldivar, M. D. Muy-Rangel and J. B. Valdez-Torres (2015) Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA- Journal of Food* 13:336-339.

Urias-Peraldí, M., J. A. Gutiérrez-Urbe, R. E. Preciado-Ortiz, A. S. Cruz-Morales, S. O. Serna-Saldivar and S. García-Lara (2013) Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays*) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research* 141: 69-76.

Wang Y. and M. Zeng (2009) Studies on Zhuo-Zi No. 1, a purple hybrid in maize (*Zea mays* L.). *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 83:2-3.

Wolfgang H. P. and B. McClafferty (2007) HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science* 47:S88-S105.

Xu Z., J. Wu, Y. Zhang, X. Hu, X. Liao and Z. Wang (2010) Extraction of anthocyanins from red cabbage using high pressure CO₂. *Bioresources Technology* 101:7151-7157.

Yang Z. and W. Zhai (2010) Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:169-176.

Yang Z., Z. Chen, S. Yuan, W. Zhai and X. Piao (2009) Extraction and identification of anthocyanin from purple corn (*Zea mays* L.). *International Journal of Food Science and Technology* 44:2485-2492.

Zhao X., C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher and X. Hu (2009) Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *European Food Research and Technology* 228:759-765.

Zhao X., M. Corrales, C. Zhang, X. Hu, Y. Ma and B. Tauscher (2008) Composition and thermal stability of anthocyanins from chinese purple corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:10761-10766.

Žilic S., A. Serpen, G. Akillioğlu, V. Gökmen and J. Vančetović (2012) Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:1224-1231.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN GENERAL

La gran cantidad de artículos científicos divulgados referentes al contenido y tipo de antocianinas del maíz, ha evidenciado que en el mundo existe interés por estudiar, valorar y aprovechar la capacidad del maíz para producir dicho pigmento (Lopez-Martinez *et al.*, 2009; Fernández *et al.*, 2013; Salinas *et al.*, 2013; Urias *et al.*, 2013; Lago *et al.*, 2014). Aunque las investigaciones se han centrado, en mayor proporción, sobre el estudio de maíces de color azul y rojo; en tiempos recientes se ha observado que los maíces morados tienen un potencial superior para producir antocianinas, ya que éstos las sintetizan tanto en la capa de aleurona como en el pericarpio, mientras que los maíces azules sólo lo hacen en la capa de aleurona (Somavat, 2017) y los maíces rojos, generalmente sólo acumulan antocianinas en el pericarpio o producen flobafenos, que son otro tipo de pigmentos que confieren coloración rojiza (Peñarrieta *et al.*, 2014; Yáñez *et al.*, 2016). Asimismo, se ha encontrado que los maíces morados tienen capacidad para concentrar antocianinas en el olote, los cuales también son de amplio interés (Soto *et al.*, 2013; Manzano, 2016; Mendoza *et al.*, 2016; Monroy *et al.*, 2016; Yáñez *et al.*, 2016).

Los descubrimientos científicos con respecto a las propiedades bioactivas de las antocianinas del maíz (Lao *et al.*, 2017), así como la crisis del siglo XXI que contempla problemas en el sector alimentario, de la salud, ambiental y económico (Nascimento, 2016), han sido factores que han impulsado el deseo y la necesidad de aprovechar estas sustancias. Por ejemplo, se ha propuesto utilizarlas para hacer frente a la alta incidencia de enfermedades de tipo crónico degenerativo, ya que su consumo genera reacciones en el organismo que actúan contra el estrés oxidativo, la inflamación, la actividad mutagénica y carcinogénica, entre otras (Tsuda *et al.*, 2003; Arroyo *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2009; Serna *et al.*, 2013; Harakotr *et al.*, 2014; Soto, 2014; Hañari-Quispe *et al.*, 2015), pudiendo prevenir la expresión de estas enfermedades. Asimismo, se ha considerado promover el consumo directo del grano de maíz morado como un alimento funcional, pues dado su contenido de antocianinas y la importancia que tiene en la base alimentaria de la población mexicana y de otros países en vías de desarrollo (principal fuente de carbohidratos), se reconoce como una comida saludable, segura y nutritiva, que a la vez puede ayudar a confrontar al hambre, la pobreza y al crecimiento

de la clase media y de la población urbana. Además, este tipo de maíz puede ayudar a prevenir enfermedades como la diabetes y la obesidad, las cuales en tan solo cuatro décadas han cambiado el perfil epidemiológico de México (Escobedo *et al.*, 2011; Rivera *et al.*, 2012; Zárate, 2012), por lo que se considera que es momento de revalorar y reincorporar a este recurso genético en la cultura culinaria mexicana.

Como un segundo enfoque de aprovechamiento (más especializado), se plantea concebir al grano y al olote de maíz morado como materia prima para la obtención de subproductos, ya que a través de su procesamiento (extracción del pigmento, separación del grano en sus estructuras para obtener harinas, salvado y esquilmos; disminución del tamaño de partícula para su incorporación en otros productos, etc.) es posible integrarlos masivamente en diferentes industrias, como la de los alimentos, cosmetológica y textil, en donde pueden fungir como pigmento natural atóxico, pues no se ha registrado una dosis de antocianinas tóxica o letal (Nabae *et al.*, 2008). Además, es un grano que nutre, da color y no ocasiona alergias como la leche, el huevo, el pescado, los crustáceos, las nueces, el trigo, los cacahuates, la soya y la grana cochinilla, ni genera urticaria, asma, hiperactividad o contaminación ambiental, como lo hacen los colorantes sintéticos (Robinson *et al.*, 2001; Eremektar *et al.*, 2007; Amchova *et al.*, 2015). También, debido a sus propiedades bioactivas y estabilidad, se contempla que existe una gran proyección de uso en la industria nutracéutica para generar fármacos que no tengan efectos secundarios en la salud, como sí los tienen diversos medicamentos alópatas (Kumar *et al.*, 2010; García-Lara, 2012; Bhowmik *et al.*, 2013; Urias-Peraldí *et al.*, 2013).

Aunque la presente investigación demostró que las poblaciones de maíz morado tienen un gran potencial para acumular antocianinas (en especial las poblaciones mexicanas), pues en promedio tuvieron una concentración de antocianinas totales en la capa de aleurona (AT_{al}) de 0.0349 g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa, en el pericarpio (AT_{per}) de 1.1053 g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio, en el grano (AT_{gr}) de 0.0961 g de AT • 100 g⁻¹ de grano y en el olote (AT_{olo}) de 0.3938 g de AT • 100 g⁻¹ olote; y además superaron el potencial de los maíces morados de origen exótico u origen distinto a Ixtenco (población 20 y 37) y otros maíces pigmentados (poblaciones 23 a 27) (Cuadro 7A, ver apéndice), en cuanto a rendimiento de grano (R_{to}) se observó que su productividad fue baja (en promedio 2879 kg ha⁻¹) en comparación con los maíces blancos o amarillos, aunque se

encontró por encima o similar al Rto promedio del estado de Tlaxcala (2300 kg ha⁻¹) y al Rto de los ejidos de San Juan Ixtenco (3000 kg ha⁻¹) (Aparicio, 2013; Hernández, 2014). Dada la perspectiva de aprovechamiento, es importante trabajar en el incremento de la productividad de estos maíces, así como en el aumento de la frecuencia de mazorcas de color de grano morado (FrecMzMor) dentro de cada población, y en la reducción de problemas como la incidencia de enfermedades en la mazorca, acame y el “rediseño” del arquetipo de planta a través de mejoramiento genético convencional, pues finalmente, todos éstos elementos permitirán aumentar la concentración de antocianinas por unidad de superficie.

Estas modificaciones en las poblaciones de maíz morado deberán realizarse con cautela, ya que al tratarse de un “maíz de uso especial”, en donde la calidad es sumamente relevante, será imprescindible el manejo cuidadoso y el monitoreo de las características de interés durante el desarrollo de las metodologías de mejoramiento aplicadas en el programa (Hallauer, 2001).

Si bien la selección o hibridación son metodologías que permiten obtener mayor provecho de un recurso genético, en el mejoramiento genético de una especie, una etapa inicial es la exploración de la diversidad genética, la cual en este estudio permitió conocer el comportamiento agronómico, potencial de Rto y de antocianinas de sólo una parte de la diversidad de los maíces morados de San Juan Ixtenco, Tlaxcala. Asimismo, ayudó a identificar que el manejo del cultivo, así como la variación genética que está presente dentro de las poblaciones, son algunos factores que influyen en la capacidad de las poblaciones para producir antocianinas, a los cuales se suman otros factores ambientales, así como las interacciones génicas, alélicas, epistáticas y epigenéticas (Ford, 2000; Feschotte *et al.*, 2002), que en este trabajo no fueron evaluadas.

Con los resultados de esta investigación, se considera que hubo avances en el conocimiento de la diversidad genética de los maíces morados de Ixtenco, Tlaxcala, así como en la selección de poblaciones sobresalientes para su conservación en las siguientes fases de un programa de mejoramiento, cumpliendo de esta forma con la necesidad de conocer a cada población, para posteriormente poder utilizar su riqueza genética para desarrollar nuevas variedades o poblaciones mejoradas que combinen en lo más posible sus características ventajosas (Palacios, 2013). De las 37 poblaciones

estudiadas (en su mayoría nativas) e inicialmente consideradas todas poblaciones de maíz morado, dos de ellas fueron excluidas de esta clasificación (población 19 y 21) porque con base en el registro fotográfico y contenido de antocianinas totales (CAT) del olote, grano y estructuras del grano evaluadas, no cumplieron con las características típicas de los maíces morados. En el resto de las poblaciones se encontró que aunque fueron diferentes entre sí, la mayoría tuvo altos valores de ATal, ATper, ATgr y ATolo, y dado que esto puede ser un indicador de que las poblaciones concentran en su constitución genética alelos favorables y genes en estado homocigótico que les permiten acumular antocianinas, se tiene una alta probabilidad de incrementar el potencial de aprovechamiento y de mejorar los atributos de estas poblaciones nativas mediante selección fenotípica (Rodríguez *et al.*, 2013), tal como se ha hecho con los maíces morados peruanos. Yáñez *et al.* (2016) liberaron la variedad INIAP-199 “Racimo de uva”, la cual formaron a partir de germoplasma nativo andino y mejoraron por selección. Adicionalmente, se propone que en las siguientes fases de mejoramiento genético, se incremente CAT tanto en las brácteas o totomoxtles como en las vainas foliares (especialmente órganos y tejidos ubicados en la zona de la mazorca), ya que también exhiben capacidad de acumulación y síntesis de compuestos antociánicos, aunque visualmente se percibe que lo hacen en diferentes grados (no todas las brácteas y vainas se pigmentan, o si lo hacen, no ocurre en toda su superficie). Lo anterior es posible, dado que el maíz tiene la capacidad de sintetizar antocianinas en todos los órganos de la planta (Li *et al.*, 2008; Mendoza, 2012).

También, con el fin de realizar un análisis integral del potencial de aprovechamiento de las 35 poblaciones de maíz morado, se conjuntó la información referente a su Rto, FrecMzMor, ATal, ATper, ATgr, ATolo, índice de desgrane y la proporción del grano constituido por el pericarpio y la aleurona (biomasa compuesta por capa de aleurona + endospermo + embrión), para estimar el rendimiento de antocianinas totales por unidad de superficie ($AT \cdot ha^{-1}$), obteniendo valores en kg de AT en biomasa $\cdot ha^{-1}$ ($ATal \cdot ha^{-1}$), kg de AT en pericarpio $\cdot ha^{-1}$ ($ATper \cdot ha^{-1}$), kg de AT en grano $\cdot ha^{-1}$ ($ATgr \cdot ha^{-1}$) y kg de AT en olote $\cdot ha^{-1}$ ($ATolo \cdot ha^{-1}$). Aunque las poblaciones destacaron en algunas características deseadas, considerando que tuvieron dicho atributo cuando el valor fue superior al valor promedio de la variable en cuestión, también pudieron tener un

comportamiento indeseable o no sobresaliente en otros caracteres de interés. En algunas poblaciones esto afectó negativamente al rendimiento de $AT \cdot ha^{-1}$. Lo anterior se observó notablemente cuando Rto y FrecMzMor fueron bajos, p. e. aun cuando la población 37 fue la más rendidora en grano ($4271 \text{ kg } ha^{-1}$), la baja FrecMzMor (28.9 %) redujo el rendimiento de $AT \cdot ha^{-1}$, y aunque la población 20 tuvo alta FrecMzMor (90.5 %) su Rto fue el más bajo ($882 \text{ kg } ha^{-1}$), lo que la posicionó entre las poblaciones con menor $AT \cdot ha^{-1}$ (Cuadro 1).

En el Cuadro 1, se muestra Rto, FrecMzMor, valores estimados de rendimiento de grano exclusivamente morado (R_{mor}) y de contenido de antocianinas totales por unidad de superficie ($AT_{al} \cdot ha^{-1}$, $AT_{per} \cdot ha^{-1}$, $AT_{gr} \cdot ha^{-1}$ y $AT_{olo} \cdot ha^{-1}$) de las 35 poblaciones de maíz morado estudiadas. Además, en la columna No.^(On), se indica el número que identifica a la población y entre paréntesis, la posición que ocupó dicha población por su CAT, de las 35 poblaciones. Para asignar la posición, las poblaciones fueron ordenadas de mayor a menor $AT_{gr} \cdot ha^{-1}$, después por $AT_{per} \cdot ha^{-1}$, $AT_{olo} \cdot ha^{-1}$ y $AT_{al} \cdot ha^{-1}$ (también de mayor a menor concentración), ya que se consideró que en ese orden de importancia, la población sobresalió para aprovechar su capacidad para acumular antocianinas. Una vez acomodadas por este criterio, la posición de las poblaciones fue determinada del 1 al 35, siendo la primera posición la que de forma integral, tuvo mayor potencial para acumular antocianinas.

En promedio, las 35 poblaciones de maíz morado tuvieron Rto de $2879 \text{ kg } ha^{-1}$, con FrecMzMor de 66.2 %, lo que generó que R_{mor} fuera de $1859 \text{ kg } ha^{-1}$, de los cuales AT_{grha} fue de $1.87 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$. De manera particular, $1.23 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$ provinieron del pericarpio y $0.64 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$ de la capa de aleurona. En promedio, del olote se estimó una producción de $0.81 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$ (Cuadro 1), puesto que la producción de olote por unidad de superficie es baja (Cuadro 2).

El máximo potencial para acumular antocianinas integralmente, fue presentado por la población 35 que ocupó la primera posición. Tuvo una producción estimada de $5.17 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$ en grano ($3.89 \text{ kg de } AT$ correspondieron a pericarpio y $1.28 \text{ kg de } AT$ a la capa de aleurona), así como $1.73 \text{ kg de } AT \cdot ha^{-1}$ en olote. Otras poblaciones sobresalientes (ubicadas en las primeras diez posiciones) fueron: 41, 3, 36, 12, 14, 43, 40, 6 y 5 (Cuadro 1). En comparación con la variedad INIAP-199 “Racimo de uva”, el

CAT de los maíces morados de Ixtenco fue menor, pues se estimó que dicha variedad con Rto promedio de 2700 kg ha⁻¹ sintetiza 11.52 kg de AT • ha⁻¹ en grano y 5.68 kg de AT • ha⁻¹ en olote; sin embargo, la diferencia entre éstas se debe a que la variedad peruana ha sido sometida a selección, mientras que los maíces de Ixtenco aún son poblaciones nativas, con mucho potencial de mejoramiento.

Se contempla que para mejorar a los maíces morados de Ixtenco, las modificaciones en las poblaciones deberán enfocarse a incrementar CAT mediante el aumento de Rto y FrecMzMor. Una ruta para alcanzar este objetivo es la selección, que en el caso de Rto puede lograrse a corto o mediano plazo, al seleccionar mazorcas pesadas, largas y gruesas. En el caso de FrecMzMor, la estrategia será llevar a una siguiente generación de cultivo solamente mazorcas de grano morado (descartando las azules, rojas y pintas), ya que esta práctica podría conducir a la acumulación de alelos favorables y amplificar la posibilidad de que durante la recombinación genética, los genes se encuentren en estado homocigótico dominante, y por ende, haya una mayor probabilidad de que se presente la pigmentación morada intensa. Espinosa *et al.* (2009) señalan que existe correlación entre la intensidad del color y la concentración de antocianinas, por lo que se esperaría tener mayor CAT. Asimismo, una vez que las poblaciones muestren mayor homogeneidad, especialmente en FrecMzMor (la más baja fue de 41.7 %, Cuadro 1), otra forma de aumentar CAT será a través del manejo agrícola, como la fertilización y la aplicación de riego (Cabrera, 2016), y en cuestión de mejoramiento genético, la derivación de líneas endogámicas y la formación de cruzamientos híbridos serían otro medio de incrementar CAT.

Cuadro 1. Rendimiento de grano, frecuencia de mazorcas de grano morado y valores estimados de contenido de antocianinas por unidad de superficie de 35 poblaciones de maíz morado.

No. ^(On)	Población	Rto	FcMzMor	RMor	ATgr	ATal	ATper	ATolo
		<i>kg • ha⁻¹</i>	%			<i>kg • ha⁻¹</i>		
1 ⁽²¹⁾	Mor-1	3021	55.5	1676	1.32	0.60	0.72	0.25
2 ⁽¹¹⁾	Mor-2	2495	73.8	1840	2.41	0.61	1.80	0.26
3 ⁽³⁾	Mor-3	3181	75.5	2400	3.50	0.84	2.66	1.42
4 ⁽¹⁴⁾	Mor-4	3033	75.4	2288	1.79	0.88	0.91	0.71
5 ⁽¹⁰⁾	Mor-5	2524	64.2	1621	2.48	0.49	1.99	0.49
6 ⁽⁹⁾	Mor-6	2681	84.6	2268	2.50	0.68	1.82	1.63
7 ⁽¹²⁾	Mor-7	2709	73.8	1998	2.28	0.75	1.53	1.53
8 ⁽²⁴⁾	Mor-8	3330	53.3	1773	1.17	0.59	0.58	0.82
9 ⁽³⁴⁾	Mor-9	3117	42.8	1333	0.59	0.46	0.13	0.27
10 ⁽²⁰⁾	Mor-10	2902	52.2	1514	1.42	0.55	0.87	0.71
11 ⁽¹³⁾	Mor-11	2475	80.8	2000	2.03	0.69	1.34	0.42
12 ⁽⁵⁾	Mor-12	2621	78.8	2064	3.34	0.60	2.74	1.55
13 ⁽²²⁾	Mor-13	3242	59.8	1938	1.23	0.56	0.67	0.14
14 ⁽⁶⁾	Mor-14	2666	82.9	2211	2.88	0.79	2.09	1.33
15 ⁽³³⁾	Mor-15	2314	50.3	1164	0.64	0.36	0.28	0.38
16 ⁽²⁷⁾	Mor-16	2961	59.6	1765	1.14	0.48	0.66	0.52
17 ⁽²⁵⁾	MorAz-17	2850	41.7	1188	1.17	0.42	0.75	0.11
18 ⁽³¹⁾	Mor-mix	3025	60.8	1838	0.93	0.56	0.37	0.57
20 ⁽³⁵⁾	Mor-20	882	90.5	798	0.39	0.03	0.36	0.36
22 ⁽¹⁷⁾	Mor-22	2847	69.3	1974	1.56	0.62	0.94	0.36
31 ⁽²⁸⁾	Mor-20	2914	52.0	1515	1.14	0.38	0.76	0.58
32 ⁽²⁶⁾	Mor-26	2952	49.9	1474	1.15	0.53	0.62	0.25
33 ⁽¹⁸⁾	Mor-25	2794	74.2	2072	1.56	0.82	0.74	0.62
34 ⁽³²⁾	Mor-28	3646	46.7	1701	0.69	0.52	0.17	1.04
35 ⁽¹⁾	Mor-21	2881	84.6	2437	5.17	1.28	3.89	1.73
36 ⁽⁴⁾	Mor-23	3171	90.0	2854	3.48	0.97	2.51	1.60
37 ⁽²³⁾	Mor-Oax	4271	28.9	1234	1.20	0.25	0.95	0.33
38 ⁽¹⁹⁾	Mor-22	3737	58.3	2180	1.45	0.82	0.63	0.79
39 ⁽³⁰⁾	Mor-27	3572	47.0	1677	0.96	0.58	0.38	0.53
40 ⁽⁸⁾	Mor-29	2959	76.7	2268	2.57	0.82	1.75	0.78
41 ⁽²⁾	Mor-24	2608	86.4	2254	4.24	1.07	3.17	1.68
42 ⁽¹⁵⁾	Mor-Ixtenco SMC ₁	3281	71.3	2340	1.78	0.87	0.91	1.33
43 ⁽⁷⁾	Mor-bordo	2561	85.8	2198	2.76	0.79	1.97	0.97
44 ⁽²⁹⁾	Comp. Mor-SMC ₁	2353	71.4	1680	1.02	0.48	0.53	1.49
45 ⁽¹⁶⁾	Mor-Altecsa	2188	69.2	1513	1.58	0.60	0.98	0.74
	Promedio	2879	66.2	1859	1.87	0.64	1.23	0.81

Rto = Rendimiento de grano; FcMzMor = Frecuencia de mazorcas de grano morado; RMor = Rendimiento de grano morado; ATgr = Antocianinas en grano; ATal = Antocianinas en la capa de aleurona; ATper = Antocianinas en pericarpio; ATolo = Antocianinas en olate. No. = Identificación de la población; ^(On) = Posición que ocupó la población por su contenido de antocianinas, va del 1 al 35.

Para el mejoramiento genético de maíces pigmentados estas poblaciones representan germoplasma valioso, ya que tienen amplia capacidad de acumular antocianinas en las estructuras del grano y en el olote (esto permitió hacer agrupamientos de las poblaciones en el Capítulo III); sin embargo; para el mercado que demanda antocianinas, estos maíces aún no son relevantes ya que no se habían estudiado y han sido los productores de maíz morado de Perú los que hasta el momento han exportado grano y harina de maíz morado a EUA, Japón y Alemania²⁰.

Con el fin de conocer la rentabilidad de producir este tipo de maíz y comercializarlo en el mercado internacional, se hizo una estimación de los ingresos económicos por hectárea ($\$ \cdot \text{ha}^{-1}$, en pesos mexicanos) que se obtendrían exclusivamente de la venta de maíz de grano morado (quitando otros colores de grano), para lo cual se tomó como referencia el precio al cual se comercializa el grano de maíz peruano, considerando que $\$ 1.00$ dólar equivale a $\$ 17.79$ pesos mexicanos. Además, con base en el precio de exportación del grano reportado por Cabrera (2016) y Yáñez *et al.* (2016), se plantearon 3 escenarios sobre $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$, siendo: **A** = compra del grano directamente al productor en el campo a $\$ 0.874$ dólares $\cdot \text{kg}^{-1}$, **B** = el grano se transporta al embarque para su exportación y se vende a $\$ 2.02$ dólares $\cdot \text{kg}^{-1}$ y **C** = la producción se clasifica por calidades de grano, en donde el grano de primera constituye 66.7 % de la producción y se vende a $\$ 1.32$ dólares $\cdot \text{kg}^{-1}$, el grano de segunda conforma 30 % de la producción y se vende a $\$ 0.66$ dólares $\cdot \text{kg}^{-1}$ y el esquilmo (se obtiene al separar al grano de la mazorca) que equivale a 3.3 % de la producción, se vende en $\$ 0.1101$ dólares $\cdot \text{kg}^{-1}$ (Cuadro 2).

Mediante dicha estimación, se observó que con tan sólo vender el grano de maíz morado, en promedio se tendría un ingreso económico de $\$ 28,898.00 \cdot \text{ha}^{-1}$, $\$ 66,790.00 \cdot \text{ha}^{-1}$ y $\$ 29,599.00 \cdot \text{ha}^{-1}$, en el escenario A, B y C, respectivamente (Cuadro 2). Aunque en la estimación de $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$ no se contemplaron los gastos de producción, se evidenció que valorar la calidad del grano, le confiere valor agregado al cultivo de maíz, ya que actualmente la tonelada de maíz blanco se comercializa en $\$ 124.01$ dólares en el Centro Sur de Chicago, Illinois²¹.

²⁰<http://www.minagri.gob.pe/portal/34-sector-agrario/cultivos-andinos/274-exportacion-de-cultivos-?start=4>
Consultada 26 septiembre de 2017

²¹ <http://www.infoaserca.gob.mx/fisicos/fisico.asp?de=maiz> Consultada 29 de septiembre de 2017

Sí también se comercializara el olote pigmentado, se aprovecharía esta biomasa que comúnmente se ha considerado como residuo agrícola. En esta investigación, se calculó que en promedio las 35 poblaciones estudiadas produjeron 193 kg de olote \cdot ha⁻¹ de los cuales se determinó que se pueden extraer 0.81 kg de AT (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Además, se planteó que si se procesara el grano y el olote, en lugar de venderse como materia prima, las ganancias económicas serían superiores, pues por alguna razón los países que industrializan al maíz morado pagan más por este grano que por el grano blanco o amarillo, y no difunden abiertamente el precio de mercado de las antocianinas purificadas, aunque como un indicador, se sabe que 5 mg del estándar cianidina-3-glucósido tiene un costo de \$6,495.00 M.N.²². En concreto, se considera que para acrecentar el valor del maíz morado en el sitio donde se produce, en este caso México, es necesario continuar con el desarrollo de variedades mejoradas, con estrategias de manejo agrícola durante el cultivo, cosecha y postcosecha del maíz, así como el desarrollo de la tecnología para su procesamiento en la industria y la diversificación de subproductos.

En el Cuadro 2, como resultado adicional del análisis de rentabilidad del cultivo de maíz morado, en la columna No.^(On) se muestra entre paréntesis la posición que ocupó la población por \$ \cdot ha⁻¹ que se tuvo en los tres escenarios propuestos, ocupando la primera posición la población 36 con \$ 44,371.00 \cdot ha⁻¹, \$ 102,550.00 \cdot ha⁻¹ y \$ 45,447.00 \cdot ha⁻¹, en el escenario A, B y C, respectivamente.

Las diez poblaciones sobresalientes por rentabilidad económica fueron: 36, 35, 3, 42, 4, 40, 6, 41, 14 y 43. Las poblaciones 42 y 4 no se encontraron entre las diez con mayor potencial productivo de antocianinas; sin embargo, debido a su Rto y FrecMzMor (más de 3000 kg \cdot ha⁻¹ y más de 70 %, respectivamente), se ubicaron en la cuarta y quinta posición de rentabilidad, mientras que en CAT ocuparon la posición quince y catorce (Cuadro 1 y Cuadro 2). Por el contrario, las poblaciones 12 y 5, que sí sobresalieron por CAT (posición cinco y diez), debido a su bajo rendimiento (2621 y 2524 kg \cdot ha⁻¹) y en el caso de la población 5, también baja FrecMzMor (64.2 %), en rentabilidad ocuparon la posición trece y veintiséis, correspondientemente (Cuadro 1 y Cuadro 2)

²² <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/> Consultada 29 de septiembre de 2017

Cuadro 2. Kilogramos de grano morado, aleurona, pericarpio, olote e ingresos económicos por unidad de superficie de 35 poblaciones de maíz morado.

No. ^(On)	Población	Kggr	Kgal	Kgper	Kgolo	A	B	C
		kg • ha ⁻¹				\$ • ha ⁻¹		
1 ⁽²⁵⁾	Mor-1	1676	1577	99	160	26,067	60,245	26,699
2 ⁽¹⁸⁾	Mor-2	1840	1749	92	177	28,613	66,130	29,307
3 ⁽³⁾	Mor-3	2400	2261	139	246	37,321	86,257	38,227
4 ⁽⁵⁾	Mor-4	2288	2179	109	235	35,573	82,218	36,436
5 ⁽²⁶⁾	Mor-5	1621	1521	100	176	25,205	58,253	25,816
6 ⁽⁷⁾	Mor-6	2268	2119	149	245	35,262	81,498	36,118
7 ⁽¹⁵⁾	Mor-7	1998	1895	103	198	31,068	71,806	31,822
8 ⁽²⁰⁾	Mor-8	1773	1673	100	176	27,572	63,724	28,241
9 ⁽³¹⁾	Mor-9	1333	1276	57	132	20,733	47,919	21,236
10 ⁽²⁸⁾	Mor-10	1514	1416	98	158	23,538	54,401	24,109
11 ⁽¹⁴⁾	Mor-11	2000	1902	99	195	31,103	71,886	31,858
12 ⁽¹³⁾	Mor-12	2064	1943	121	218	32,087	74,159	32,865
13 ⁽¹⁷⁾	Mor-13	1938	1834	104	167	30,138	69,655	30,869
14 ⁽⁹⁾	Mor-14	2211	2066	145	243	34,370	79,437	35,204
15 ⁽³⁴⁾	Mor-15	1164	1104	60	126	18,096	41,824	18,535
16 ⁽²¹⁾	Mor-16	1765	1669	97	176	27,448	63,438	28,114
17 ⁽³³⁾	MorAz-17	1188	1117	70	111	18,465	42,675	18,912
18 ⁽¹⁹⁾	Mor-mix	1838	1754	83	171	28,573	66,039	29,266
20 ⁽³⁵⁾	Mor-20	798	745	53	103	12,406	28,673	12,707
22 ⁽¹⁶⁾	Mor-22	1974	1861	112	203	30,686	70,923	31,431
31 ⁽²⁷⁾	Mor-20	1515	1443	73	142	23,561	54,454	24,133
32 ⁽³⁰⁾	Mor-26	1474	1382	91	141	22,913	52,958	23,469
33 ⁽¹²⁾	Mor-25	2072	1972	101	205	32,223	74,474	33,005
34 ⁽²²⁾	Mor-28	1701	1626	76	183	26,452	61,137	27,094
35 ⁽²⁾	Mor-21	2437	2277	160	247	37,890	87,572	38,809
36 ⁽¹⁾	Mor-23	2854	2705	149	288	44,371	102,550	45,447
37 ⁽³²⁾	Mor-Oax	1234	1160	74	179	19,193	44,358	19,658
38 ⁽¹¹⁾	Mor-22	2180	2071	109	206	33,896	78,341	34,718
39 ⁽²⁴⁾	Mor-27	1677	1604	73	172	26,078	60,272	26,711
40 ⁽⁶⁾	Mor-29	2268	2119	149	241	35,267	81,509	36,122
41 ⁽⁸⁾	Mor-24	2254	2126	128	241	35,047	81,002	35,898
42 ⁽⁴⁾	Mor-Ixtenco SMC ₁	2340	2218	122	253	36,388	84,101	37,271
43 ⁽¹⁰⁾	Mor-bordo	2198	2084	114	244	34,177	78,991	35,006
44 ⁽²³⁾	Comp. Mor-SMC ₁	1680	1601	79	193	26,125	60,381	26,759
45 ⁽²⁹⁾	Mor-Altecsa	1513	1433	80	208	23,525	54,372	24,096
	Promedio	1859	1757	102	193	28,898	66,790	29,599

Kggr = Kilogramos de grano morado; Kgal = Kilogramos de aleurona (biomasa conformada por endospermo + aleurona + embrión), Kgper = Kilogramos de pericarpio; Kgolo = Kilogramos de olote; A = Ingreso económico calculado a \$15.54 kg⁻¹; B = Ingreso económico calculado a \$35.93 kg⁻¹; C = Ingreso económico calculado con base a clasificación de la calidad de grano y esquilmos; No. = Identificación de la población; ^(On) = Posición que ocupó la población por su ingreso económico, va del 1 al 35.

Puesto que otra finalidad de estudiar a los maíces morados mexicanos es la de aprovechar en el país este recurso genético, se recomienda que la población adopte su consumo, para lo cual se requiere cambiar estereotipos sobre el color del maíz, pues existen regiones de México en donde se ignora que el maíz pigmentado es comestible (especialmente en las ciudades), y que además genera beneficios en la salud. Por lo anterior, es importante continuar difundiendo el conocimiento generado y recopilado sobre el maíz morado en: textos, ponencias, talleres, pláticas, carteles, recorridos de campo, ferias científicas, etc., en los que pueda hablarse de la diversidad genética y de los usos del maíz en México, y particularmente de sus propiedades bioactivas.

Se recomienda consumir al maíz morado en fresco (elote), ya que a diferencia del maíz azul o rojo, desde esta etapa fenológica (estado lechoso), visualmente se detecta la abundante presencia de antocianinas. También habrá que consumirlo en atoles, harinas del grano mezcladas con canela y poca azúcar (pinole), bebida refrescante (dejar reposar los granos y el olote en agua durante la noche para extraer los pigmentos), etc. Wu *et al.* (2006) indican que en EUA la dosis diaria de consumo de antocianinas es de 12.5 a 200 mg, lo que equivale a un consumo de 13 a 208 g de grano con ATgr de 0.0961 g de AT • 100 g⁻¹ de grano, que fue el valor promedio de ATgr para los maíces morados. Idealmente habrá que consumir al grano de maíz en la forma más natural posible.

5.1. LITERATURA CITADA

Amchova P., H. Kotolova and J. Ruda-Kucerova (2015) Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 73(3):914-922.

Aparicio M. C. (2013) Evaluación de variedades pigmentadas de maíz para la producción de atole. Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustrias. Colegio de Postgraduados. Amatlán de los Reyes, Veracruz. 70 p.

Arroyo J., E. Raez, M. Rodríguez, V. Chumpitaz, J. Burga, W. Cruz y J. Valencia (2007) Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas hipercolesterolémicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 24(2):157-162.

Bhowmik D., H. Gopinath, B. P. Kumar, S. Duraivel and K. P. Sampath K. (2013) Nutraceutical- A bright scope and opportunity of Indian healthcare market. *The Pharma Innovation* 1:29-41.

Cabrera C. C. R. (2016) Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima, Perú. 120 p.

Eremektar G., H. Selcuk and S. Meric (2007) Investigation of the relation between COD and the toxicity in a textile finishing industry wastewater: Effect of preozonation. *Desalination* 211:314-320.

Escobedo-de la Peña J., L. V. Buitrón-Granados, J. C. Ramírez-Martínez, R. Chavira-Mejía, Herman Schargrotsky y B. Marcet Champagne. 2011. Diabetes en México. Estudio CARMELA. *Cirugía y Cirujanos* 79(5):424-432.

Espinosa T. E., M. C. Mendoza C., F. Castillo G., J. Ortiz C., A. Delgado A. y A. Carrillo S. (2009) Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:303-309.

Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283.

Feschotte C., N. Jiang and S. R. Wessler (2002) Plant transposable elements: where genetics meets genomics. *Nature Reviews Genetics* 3:329-341.

Ford R. H. (2000) Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *The American Biology Teacher* 62(3):181-188.

García-Lara, S., J. A. Gutiérrez-Urbe and S. O. Serna-Saldivar (2012) Nutraceutical properties of blue maize. In: Maize: cultivation, uses and health benefits. J. C. Jimenez-Lopez (ed.). Nueva York, EUA. Nova Science Publishers. pp:113-135.

Hallauer A. R. (2001) Specialty corns. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N. W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. 469 p.

Hañari-Quispe R., J. Arroyo, O. Herrera-Calderón y H. Herrera-Moran (2015) Efecto hepatoprotector del extracto hidroetanólico atomizado del maíz morado (*Zea mays* L.) en lesiones hepáticas inducidas en ratas. *Anales de la Facultad de Medicina* 76(2):123-128.

Harakotr B., B. Suriharn, R. Tangwongchai, M. P. Scott and K. Lertrat (2014) Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry* 164:510-517.

Hernández R. C. (2014) La tierra del maíz. 1^a edición. Gobierno del estado de Tlaxcala. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Instituto Tlaxcalteca de la Cultura. Tlaxcala, Tlaxcala, México. 115 p.

Kumar S., Y. S. Negi and J. S. Upadhyaya (2010) Studies on characterization of corn cob based nanoparticles. *Advanced Materials Letters* 1(3): 246-253.

- Lago C., M. Landoni, E. Cassani, E. Doria, E. Nielsen and R. Pilu (2013)** Study and characterization of a novel functional food: purple popcorn. *Molecular Breeding* 31:575-585.
- Lago C., M. Landoni, E. Cassani, S. Attanasiu, E. Cantaluppi and R. Pilu (2014)** Development and characterization of a coloured sweet corn line as a new functional food. *Maydica* 59:191-200.
- Lao F., G. T. Sigurdson and M. M. Giusti (2017)** Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16:234-246.
- Li C-H., H-W. Kim, S-R. Won, H-K. Min, K-J. Park, J-Y Park, M-S Ahn and H-I. Rhee (2008)** Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:11413-11416.
- Lopez-Martinez L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C. H. Lee, K. L. Parkin and H. S. Garcia (2009)** Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology* 42:1187-1192.
- Manzano N. P. A. (2016)** Extracción de antocianinas a partir de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) para el aprovechamiento de residuos agrícolas. Tesis de Licenciatura. Ing. Bioquímico. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. 48 p.
- Mendoza M. C. G. (2012)** Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 117 p.
- Mendoza S. E. V., C. K. Curi B., V. J. Rojas M. and J. A. Alvarado K. (2016)** Encapsulation, characterization and thermal stability of anthocyanins from *Zea mays* L. (purple corn). *Bolivian Journal of Chemistry* 33(5): 183-189.
- Monroy Y. M., R. A. F. Rodrigues, A. Sartoratto and F. A. Cabral (2016)** Extraction of bioactive compounds from cob and pericarp of purple corn (*Zea mays* L.) by sequential extraction in fixed bed extractor using supercritical CO₂, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids* 107:250-259.
- Nabae K., S. Hayashi, M. Kawabe, T. Ichihara, A. Hagiwara, S. Tamano, Y. Tsushima, K. Uchida, T. Koda, M. Nakamura, K. Ogawa and T. Shirai (2008)** A 90-day oral toxicity study of purple corn color, a natural food colorant, in F344 rats. *Food and Chemical Toxicology* 46: 774-780.
- Nascimento B. M. (2016)** Infectious diseases in the XXI century. *Acta Paulista de Enfermagem* 29(2): <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0194201600018>
- Palacios R. N. (2013)** Una perspectiva y tecnología de los maíces criollos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3-A):271.
- Peñarrieta J. M., L. Tejada, P. Mollinedo, J. L. Vila y J. A. Bravo (2014)** Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química* 31(2):68-81.

Rivera D. J. A., M. Hernández A., C. A. Aguilar S., F. Vadillo O. y C. Murayama R. (2012) Síntesis Ejecutiva del libro *Obesidad en México: Recomendaciones para una política de Estado*. UNAM 1-17. <http://www.oda-alc.org/documentos/1365120227.pdf>

Robinson T., G. McMullan, R. Marchant and P. Nigam (2001) Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology* 77:247-255.

Rodríguez V. M., P. Soengas, A. Landa, A. Ordás and P. Revilla (2013) Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*: DOI 10.1007/s10681-013-0924-0

Salinas M. Y., C. García S., B. Coutiño E. y V. A. Vidal M. (2013) Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:285-294.

Serna S. S. O., J. A. Gutiérrez U., S. Mora R. y S. García L. (2013) Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3):295-304.

Somavat P. (2017) Evaluation and modification of processing techniques for recovery of anthocyanins from colored corn. PhD thesis. Agricultural and Biological Engineering. University of Illinois at Urbana, Illinois USA. 158 p.

Soto H. H. M. P. (2014) Efecto antibacteriano y antifúngico comparativo de los extractos acuosos de *Zea mays* L. (maíz morado), *Rubus glaucus* (mora andina), *Opuntia soherensii* (ayrampo) y diseño de un gel de limpieza cutánea. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. E. A. P. de Farmacia y Bioquímica. Tesis Profesional de Químico Farmacéutico. Lima, Perú. 89 p.

Soto M. A. L., L. R. Ráez G. y R. Robles C. (2013) El maíz morado como materia prima industrial. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 16(1):85-91.

Tsuda T., F. Horio, K. Uchida, H. Aoki and T. Osawa (2003) Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside- rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *The Journal of Nutrition* 133:2125-2130.

Urias P. M., J. A. Gutiérrez U., R. E. Preciado O., A. S. Cruz M., S. O. Serna S. y S. García L. (2013) Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays* L.) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research* 141:69-76.

Urias-Peraldí, M., J. A. Gutiérrez-Urbe, R. E. Preciado-Ortiz, A. S. Cruz-Morales, S. O. Serna-Saldivar and S. García-Lara (2013) Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays*) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research* 141:69-76.

Wu X., G. R. Beecher, J. M. Holden, D. B. Haytowitz, S. E. Gebhardt and R.L. Prior (2006) Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:4069-4075.

Yáñez C., J. Zambrano, M. Caicedo, J. Heredia, C. Sangoquiza, E. Villacrés, M. Racines y D. Caballero (2016) Ficha técnica de la variedad de maíz negro INIAP-199 “Racimo de uva”. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. Perú.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3166>. 55 p.

Yang Z., G. Fan, Z. Gu, Y. Han and Z. Chen (2008) Optimization extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob using tristimulus colorimetry. *European Food Research and Technology* 227:409-415.

Zárate H. M. (2012) Manual de procedimientos estandarizados para la vigilancia epidemiológica de Diabetes mellitus tipo 2. Secretaria de Salud. México. 78 p.
https://epidemiologiatlax.files.wordpress.com/2013/08/10_2012_manual_diabetes-m2.pdf

Zhao X., C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher and X. Hu (2009) Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *European Food Research and Technology* 228:759-765.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES GENERALES

APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para la evaluación de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México durante 2013 y 2014.

FV	GL	Pgr	Polo	Grmz	Pfg	PIG	Dolo	AsF	Amz	Posmz
<i>Rendimiento y sus componentes</i>							<i>Fenológicas</i>		<i>Agronómicas</i>	
Ambiente	2	1264 _{ns}	156.8**	93401**	0.181 _{ns}	2.8x10 ⁶ **	2.085**	10.5 _{ns}	333517**	0.151**
Rep (Amb)	9	1008 _{ns}	12.9 _{ns}	9369**	0.051*	5284 _{ns}	0.169**	6.7**	799**	0.002 _{ns}
Población	52	2170**	27.2**	9092**	0.122**	34685**	0.306**	2.7**	1638**	0.011**
PobxAmb	104	993**	10.7**	4430**	0.032**	39658**	0.064 _{ns}	2.4**	589**	0.003**
Error	601 [¶]	621	7.2	3237	0.021	14881	0.052	1.2	209.1	0.001
CV (%)		24	23.1	17.7	11.8	28.8	9.3	25.4	10.3	6

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; Pgr = Peso de grano; Polo = Peso de olote; Grmz = Número de granos por mazorca; Pfg = Profundidad de grano; PIG = Peso individual de grano; Dolo = Diámetro de olote; AsF = Días de asincronía floral; Amz = Altura de mazorca, Posmz = Posición de mazorca; * = $P \leq 0.01$; ** = $P \leq 0.05$; ns = No significativo; [¶]GL del error para Amz y Posmz = 665 y para AsF = 666.

Cuadro 2A. Promedio de rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

Pob	Población	Rto	Lmz	Dmz	Pmz	Nhil	Ghil	DFM	DFF	Apta	Smz	Id
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>												
1	Mor-1	3021 ^{ad}	11.6 ^{ad}	4.8 ^{ad}	111.9 ^{bg}	15.3 ^{ah}	21.6 ^{ac}	92.3 ^{il}	96.1 ^{hk}	225.7 ^{cf}	2.2 ^{bf}	90.46 ^{ab}
2	Mor-2	2495 ^{be}	11.3 ^{bd}	5.0 ^{ab}	110.9 ^{cg}	15.4 ^{ag}	20.5 ^{bc}	92.0 ^{jl}	96.1 ^{hk}	216.4 ^{dg}	2.3 ^{cf}	90.38 ^{ab}
3	Mor-3	3181 ^{ad}	12.0 ^{ad}	5.0 ^{ab}	118.3 ^{af}	15.6 ^{af}	21.8 ^{ac}	95.2 ^{el}	99.8 ^{cj}	232.6 ^{ae}	2.2 ^{bf}	89.76 ^{ac}
4	Mor-4	3033 ^{ad}	11.9 ^{ad}	4.8 ^{ad}	112.3 ^{bg}	15.0 ^{ah}	21.6 ^{ac}	94.8 ^{el}	98.9 ^{dk}	233.3 ^{ae}	2.1 ^{bf}	89.72 ^{ac}
5	Mor-5	2524 ^{be}	11.8 ^{ad}	4.7 ^{ae}	105.1 ^{cg}	14.3 ^{ch}	21.1 ^{bc}	94.8 ^{el}	99.1 ^{dk}	226.3 ^{cf}	2.1 ^{bf}	89.12 ^{ae}
6	Mor-6	2681 ^{ae}	11.9 ^{ad}	4.9 ^{ac}	115.9 ^{ag}	14.8 ^{ah}	20.5 ^{bc}	94.5 ^{el}	99.0 ^{dk}	233.3 ^{ae}	2.1 ^{bf}	89.22 ^{ad}
7	Mor-7	2709 ^{ad}	11.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	108.5 ^{cg}	15.3 ^{ah}	20.4 ^{bc}	94.0 ^{el}	98.2 ^{ek}	226.1 ^{cf}	2.4 ^{cf}	90.10 ^{ac}
8	Mor-8	3330 ^{ad}	11.8 ^{ad}	5.0 ^{ab}	119.0 ^{af}	15.0 ^{ah}	21.9 ^{ac}	93.3 ^{fl}	97.4 ^{ek}	233.7 ^{ae}	2.3 ^{cf}	90.08 ^{ac}
9	Mor-9	3117 ^{ad}	12.3 ^{ad}	4.9 ^{ac}	124.4 ^{ad}	14.9 ^{ah}	22.0 ^{ac}	95.5 ^{dl}	99.7 ^{cj}	226.5 ^{cf}	2.2 ^{bf}	90.09 ^{ac}
10	Mor-10	2902 ^{ad}	11.8 ^{ad}	5.2 ^a	124.5 ^{ad}	16.6 ^a	21.1 ^{bc}	96.4 ^{ck}	100.7 ^{cj}	240.0 ^{ad}	2.4 ^{cf}	89.58 ^{ac}
11	Mor-11	2475 ^{be}	11.6 ^{ad}	4.9 ^{ac}	114.3 ^{ag}	15.6 ^{af}	21.0 ^{bc}	92.9 ^{gl}	97.3 ^{fk}	224.7 ^{cf}	2.4 ^{cf}	90.26 ^{ab}
12	Mor-12	2621 ^{be}	11.2 ^{bd}	4.8 ^{ad}	106.8 ^{cg}	15.3 ^{ah}	21.0 ^{bc}	94.5 ^{el}	98.8 ^{dk}	224.5 ^{cf}	2.2 ^{bf}	89.42 ^{ad}
13	Mor-13	3242 ^{ad}	11.7 ^{ad}	5.0 ^{ab}	121.7 ^{ae}	14.9 ^{ah}	21.6 ^{ac}	92.7 ^{hl}	96.8 ^{gk}	228.3 ^{bf}	2.4 ^{cf}	91.38 ^a
14	Mor-14	2666 ^{be}	11.3 ^{bd}	4.9 ^{ac}	104.9 ^{cg}	15.9 ^{ad}	20.9 ^{bc}	94.0 ^{el}	98.9 ^{dk}	229.4 ^{af}	2.1 ^{bf}	89.03 ^{ae}
15	Mor-15	2314 ^{ce}	11.7 ^{ad}	5.1 ^{ab}	122.4 ^{ad}	16.1 ^{ac}	20.7 ^{bc}	96.1 ^{ck}	100.9 ^{cj}	235.0 ^{ae}	2.2 ^{bf}	89.16 ^{ae}
16	Mor-16	2961 ^{ad}	11.7 ^{ad}	4.8 ^{ad}	117.5 ^{ag}	15.0 ^{ah}	21.7 ^{ac}	92.0 ^{jl}	96.0 ^{hk}	227.6 ^{cf}	2.2 ^{bf}	90.04 ^{ac}
17	MorAz-17	2850 ^{ad}	11.8 ^{ad}	4.9 ^{ac}	122.4 ^{ad}	15.2 ^{ah}	22.4 ^{ac}	92.3 ^{il}	96.3 ^{gk}	226.7 ^{cf}	2.4 ^{cf}	90.69 ^{ab}
18	Mor-mix	3025 ^{ad}	12.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	121.8 ^{ad}	15.0 ^{ah}	23.0 ^{ac}	93.9 ^{el}	98.0 ^{ek}	232.4 ^{ae}	2.5 ^{df}	90.68 ^{ab}
22	Mor-22	2847 ^{ad}	11.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	115.2 ^{ag}	16.3 ^{ac}	20.1 ^{bc}	97.3 ^{cj}	101.6 ^{bj}	231.0 ^{af}	2.3 ^{cf}	89.69 ^{ac}
31	Mor-20	2914 ^{ad}	11.3 ^{bd}	4.8 ^{ad}	104.5 ^{cg}	15.8 ^{ae}	19.7 ^{bc}	94.1 ^{el}	98.9 ^{dk}	228.9 ^{af}	2.4 ^{cf}	90.63 ^{ab}
32	Mor-26	2952 ^{ad}	12.8 ^{ad}	5.1 ^{ab}	125.3 ^{ad}	16.0 ^{ad}	22.9 ^{ac}	92.7 ^{hl}	97.0 ^{gk}	225.8 ^{cf}	2.5 ^{df}	90.44 ^{ab}
33	Mor-25	2794 ^{ad}	12.4 ^{ad}	4.8 ^{ad}	112.2 ^{bg}	15.3 ^{ah}	22.3 ^{ac}	92.6 ^{hl}	97.1 ^{gk}	235.0 ^{ae}	2.4 ^{cf}	90.09 ^{ac}
34	Mor-28	3646 ^{ac}	12.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	117.1 ^{ag}	15.4 ^{ag}	23.0 ^{ac}	93.4 ^{el}	97.5 ^{ek}	235.8 ^{ae}	2.6 ^{ef}	89.27 ^{ad}

Continúa...

Cuadro 2A. Continuación...

35	Mor-21	2881 ^{ad}	12.0 ^{ad}	4.9 ^{ac}	114.5 ^{ag}	14.7 ^{ah}	21.2 ^{ac}	91.8 ^{kl}	95.8 ^{ik}	231.9 ^{ae}	2.4 ^{cf}	89.87 ^{ac}
36	Mor-23	3171 ^{ad}	10.7 ^{cd}	4.9 ^{ac}	95.7 ^{cg}	15.6 ^{af}	18.3 ^c	93.9 ^{el}	98.3 ^{ek}	231.6 ^{ae}	2.5 ^{df}	89.92 ^{ac}
38	Mor-22	3737 ^{ac}	12.4 ^{ad}	4.8 ^{ad}	117.9 ^{ag}	15.0 ^{ah}	23.1 ^{ac}	91.8 ^{kl}	95.5 ^{jk}	235.2 ^{ae}	2.4 ^{cf}	90.54 ^{ab}
39	Mor-27	3572 ^{ac}	12.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	124.2 ^{ad}	16.5 ^{ab}	22.6 ^{ac}	93.4 ^{el}	97.4 ^{ek}	230.6 ^{af}	2.2 ^{bf}	89.74 ^{ac}
40	Mor-29	2959 ^{ad}	11.6 ^{ad}	5.0 ^{ab}	108.7 ^{cg}	15.2 ^{ah}	20.4 ^{bc}	91.7 ^{kl}	95.8 ^{ik}	229.0 ^{af}	2.5 ^{df}	89.37 ^{ad}
41	Mor-24	2608 ^{be}	11.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	102.7 ^{cg}	14.9 ^{ah}	19.8 ^{bc}	92.2 ^{il}	96.3 ^{gk}	223.4 ^{cg}	2.7 ^f	89.31 ^{ad}
Otras Poblaciones Nativas												
23	Az-1	2938 ^{ad}	11.8 ^{ad}	5.0 ^{ab}	124.7 ^{ad}	14.9 ^{ah}	21.9 ^{ac}	96.9 ^{ck}	101.3 ^{bj}	224.4 ^{cf}	2.3 ^{cf}	91.23 ^a
24	Az-2	2844 ^{ad}	11.7 ^{ad}	5.1 ^{ab}	127.7 ^{ad}	15.2 ^{ah}	21.1 ^{bc}	95.6 ^{dl}	99.9 ^{cj}	233.0 ^{ae}	2.4 ^{cf}	91.05 ^a
25	Az-3	2504 ^{be}	11.1 ^{bd}	4.8 ^{ad}	114.8 ^{ag}	14.8 ^{ah}	20.5 ^{bc}	96.0 ^{ck}	100.1 ^{cj}	226.5 ^{cf}	2.1 ^{bf}	90.49 ^{ab}
27	Ros	2359 ^{ce}	11.6 ^{ad}	5.0 ^{ab}	113.3 ^{bg}	14.8 ^{ah}	19.8 ^{bc}	93.3 ^{fl}	97.1 ^{gk}	213.0 ^{eg}	2.4 ^{cf}	89.24 ^{ad}
28	Am	3504 ^{ad}	12.0 ^{ad}	4.7 ^{ae}	131.8 ^{ad}	13.2 ^{hj}	22.0 ^{ac}	95.6 ^{dl}	99.9 ^{cj}	231.8 ^{ae}	2.0 ^{af}	89.39 ^{ad}
29	Trigñ	3560 ^{ac}	12.9 ^{ac}	5.2 ^a	156.3 ^a	14.9 ^{ah}	23.0 ^{ac}	100.7 ^{ad}	105.6 ^{ac}	253.4 ^{ab}	1.8 ^{ad}	91.03 ^{ab}
30	Bco	3519 ^{ad}	13.1 ^{ad}	5.0 ^{ab}	154.2 ^{ab}	14.3 ^{ch}	24.3 ^{ab}	98.8 ^{be}	103.4 ^{bf}	254.0 ^a	1.9 ^{ae}	91.29 ^a
47	Cac-olomor	3111 ^{ad}	12.8 ^{ad}	4.9 ^{ac}	127.2 ^{ad}	14.6 ^{ah}	22.3 ^{ac}	97.5 ^{ci}	102.5 ^{bg}	228.0 ^{bf}	2.0 ^{af}	89.94 ^{ac}
48	Cac-olomor	3797 ^{ab}	12.4 ^{ad}	5.0 ^{ab}	120.3 ^{af}	14.6 ^{ah}	20.7 ^{bc}	95.8 ^{cl}	100.6 ^{cj}	230.2 ^{af}	2.5 ^{df}	90.28 ^{ab}
49	Cac-olomor	3528 ^{ac}	12.6 ^{ad}	5.0 ^{ab}	123.4 ^{ad}	15.6 ^{af}	21.8 ^{ac}	95.7 ^{cl}	100.7 ^{cj}	235.7 ^{ae}	2.2 ^{bf}	90.25 ^{ab}
50	Cac-olomor	2666 ^{be}	12.7 ^{ad}	4.7 ^{ae}	103.9 ^{cg}	13.2 ^{hj}	21.2 ^{ac}	98.3 ^{bg}	103.5 ^{bf}	227.4 ^{cf}	2.3 ^{cf}	89.66 ^{ac}
51	Cac-olomor	2510 ^{be}	13.0 ^{ab}	5.1 ^{ab}	119.2 ^{af}	13.7 ^{eh}	20.5 ^{bc}	98.5 ^{bf}	103.6 ^{be}	228.8 ^{af}	2.3 ^{cf}	90.46 ^{ab}
Poblaciones Premejoradas												
19	Mor-ancho	2770 ^{ad}	12.3 ^{ad}	4.6 ^{be}	115.7 ^{ag}	11.3 ^j	21.3 ^{ac}	103.3 ^{ab}	107.4 ^{ab}	219.5 ^{dg}	1.5 ^{ab}	87.90 ^{bg}
20	Mor-20	882 ^e	11.3 ^{bc}	4.2 ^e	79.0 ^{fg}	11.5 ^{ij}	18.4 ^c	101.1 ^{ac}	104.6 ^{ad}	198.6 ^{gh}	1.9 ^{ae}	87.07 ^{cg}
21	Mor-21	1702 ^{de}	10.7 ^{cd}	4.2 ^e	75.6 ^g	13.6 ^{fi}	20.6 ^{bc}	90.5 ^l	93.1 ^k	175.9 ^h	2.0 ^{af}	88.74 ^{af}
26	Rojo-p SMC ₃	3354 ^{ad}	12.6 ^{ad}	4.3 ^{de}	101.3 ^{cg}	13.2 ^{hj}	22.8 ^{ac}	97.9 ^{bh}	102.1 ^{bh}	205.7 ^{fg}	1.3 ^a	85.62 ^{fg}
37	Mor-Oax	4271 ^{ab}	13.3 ^{ab}	4.6 ^{be}	113.5 ^{bg}	14.1 ^{dh}	26.0 ^a	105.3 ^a	109.9 ^a	246.7 ^{ac}	1.7 ^{ac}	85.50 ^g
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	3281 ^{ad}	12.2 ^{ad}	4.9 ^{ac}	116.8 ^{ag}	15.5 ^{af}	21.2 ^{ac}	93.5 ^{el}	97.7 ^{ek}	228.7 ^{af}	2.5 ^{df}	89.18 ^{ad}
43	Mor-bordo	2561 ^{be}	10.7 ^{cd}	4.6 ^{be}	89.9 ^{dg}	15.1 ^{ah}	19.1 ^c	93.7 ^{el}	98.3 ^{ek}	219.3 ^{dg}	2.5 ^{df}	88.91 ^{ae}

Continúa...

Cuadro 2A. Continuación...

44	Comp. Mor-SMC ₁	2353 ^{ce}	11.7 ^{ad}	4.8 ^{ad}	105.9 ^{cg}	14.9 ^{ah}	20.4 ^{bc}	96.9 ^{cj}	101.8 ^{bi}	220.5 ^{dg}	2.5 ^{df}	88.50 ^{ag}
45	Mor-Altecsa	2188 ^{ce}	10.6 ^d	4.4 ^{ce}	79.1 ^{ef}	14.4 ^{bh}	18.4 ^c	92.6 ^{hl}	96.9 ^{gk}	215.7 ^{dg}	2.6 ^{ef}	86.29 ^{dg}
46	C. Az-SMC ₁	3463 ^{ad}	12.6 ^{ad}	5.2 ^a	131.2 ^{ad}	15.5 ^{af}	22.4 ^{ac}	92.8 ^{hl}	97.0 ^{gk}	235.6 ^{ae}	2.5 ^{df}	90.23 ^{ab}
52	Cac MMR	3032 ^{ad}	13.1 ^{ab}	4.9 ^{ac}	109.5 ^{cg}	13.3 ^{hj}	21.2 ^{ac}	96.3 ^{ck}	100.5 ^{cj}	230.3 ^{af}	2.3 ^{cf}	86.04 ^{eg}
53	Cruza Cac	4494 ^a	13.6 ^a	5.1 ^{ab}	137.4 ^{ac}	14.6 ^{ah}	22.8 ^{ac}	96.3 ^{ck}	100.7 ^{cj}	232.3 ^{ae}	2.1 ^{bf}	88.27 ^{ag}
DMS		1822	2.2	0.5	42.6	2.1	4.8	5.4	6.2	25.5	0.7	3.13

No. = Número de identificación de la población, Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Lmz = Longitud de mazorca en cm; DMz = Diámetro de mazorca en cm; Pmz = Peso de mazorca en g; Nhil = Número de hileras por mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en porcentaje; Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 3A. Promedio de rendimiento, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.

No.	Población	Rendimiento			Lmz			Dmz			Pmz		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>													
1	Mor-1	2450 ^{bd}	3542 ^{ac}	2856 ^{ae}	12.4 ^{ab}	11.5 ^a	11.2 ^a	4.8 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	106.7 ^{ac}	118.7 ^{ab}	108.3 ^{ad}
2	Mor-2	1750 ^{cd}	3004 ^{ac}	2552 ^{ae}	12.1 ^{ab}	11.2 ^a	10.5 ^a	5.0 ^{ab}	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	101.7 ^{ac}	121.0 ^{ab}	108.6 ^{ad}
3	Mor-3	2611 ^{ad}	3779 ^{ab}	3014 ^{ae}	13.2 ^{ab}	11.8 ^a	11.5 ^a	4.9 ^{ab}	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	120.1 ^{ac}	124.5 ^{ab}	110.9 ^{ad}
4	Mor-4	1989 ^{cd}	3465 ^{ac}	3123 ^{ae}	11.7 ^{ab}	11.9 ^a	12.1 ^a	4.5 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	85.5 ^{ac}	117.3 ^{ab}	120.7 ^{ad}
5	Mor-5	1399 ^{cd}	3110 ^{ac}	2642 ^{ae}	12.5 ^{ab}	11.5 ^a	11.7 ^a	4.6 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.8 ^{ab}	93.3 ^{ac}	108.7 ^{ab}	110.4 ^{ad}
6	Mor-6	1942 ^{cd}	3151 ^{ac}	2732 ^{ae}	12.5 ^{ab}	11.7 ^a	11.7 ^a	4.8 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	103.0 ^{ac}	127.3 ^{ab}	115.6 ^{ad}
7	Mor-7	1650 ^{cd}	3116 ^{ac}	2965 ^{ae}	12.1 ^{ab}	11.5 ^a	10.8 ^a	5.0 ^{ab}	5.0 ^a	5.1 ^a	87.0 ^{ac}	121.5 ^{ab}	109.0 ^{ad}
8	Mor-8	2472 ^{bd}	3448 ^{ac}	3763 ^{ad}	12.3 ^{ab}	11.2 ^a	11.9 ^a	5.1 ^{ab}	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	122.1 ^{ac}	117.9 ^{ab}	118.0 ^{ad}
9	Mor-9	2909 ^{ad}	3423 ^{ac}	2960 ^{ae}	14.0 ^a	11.7 ^a	11.4 ^a	5.0 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	142.9 ^a	126.3 ^{ab}	106.7 ^{ad}
10	Mor-10	2167 ^{cd}	3090 ^{ac}	3266 ^{ae}	12.3 ^{ab}	10.6 ^a	12.6 ^a	5.0 ^{ab}	5.1 ^a	5.3 ^a	108.7 ^{ac}	113.3 ^{ab}	145.5 ^{ad}
11	Mor-11	1899 ^{cd}	2692 ^{ac}	2762 ^{ae}	12.5 ^{ab}	11.1 ^a	11.3 ^a	4.7 ^{ab}	5.1 ^a	5.0 ^{ab}	112.0 ^{ac}	116.1 ^{ab}	114.2 ^{ad}
12	Mor-12	2357 ^{cd}	2509 ^{ac}	2916 ^{ae}	12.4 ^{ab}	10.1 ^a	11.5 ^a	5.0 ^{ab}	4.7 ^{ab}	4.7 ^{ab}	116.1 ^{ac}	93.6 ^{ab}	113.1 ^{ad}
13	Mor-13	2797 ^{ad}	3214 ^{ac}	3604 ^{ae}	12.8 ^{ab}	11.2 ^a	11.7 ^a	5.2 ^{ab}	5.0 ^a	5.0 ^{ab}	122.9 ^{ac}	118.7 ^{ab}	123.9 ^{ad}
14	Mor-14	2297 ^{cd}	2789 ^{ac}	2835 ^{ae}	12.1 ^{ab}	10.8 ^a	11.4 ^a	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	97.6 ^{ac}	105.3 ^{ab}	109.1 ^{ad}
15	Mor-15	2501 ^{ad}	2469 ^{ac}	1976 ^{ae}	13.2 ^{ab}	11.3 ^a	11.1 ^a	5.3 ^a	5.1 ^a	5.1 ^a	140.8 ^a	117.9 ^{ab}	114.4 ^{ad}
16	Mor-16	2359 ^{cd}	3373 ^{ac}	2926 ^{ae}	11.8 ^{ab}	11.6 ^a	11.7 ^a	4.7 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	99.4 ^{ac}	125.1 ^{ab}	121.2 ^{ad}
17	MorAz-17	2673 ^{ad}	3011 ^{ac}	2822 ^{ae}	12.3 ^{ab}	11.4 ^a	11.9 ^a	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.8 ^{ab}	121.5 ^{ac}	126.3 ^{ab}	119.3 ^{ad}
18	Mor-mix	2277 ^{cd}	3729 ^{ab}	2861 ^{ae}	12.9 ^{ab}	12.9 ^a	11.6 ^a	5.1 ^{ab}	5.1 ^a	4.8 ^{ab}	115.5 ^{ac}	136.7 ^{ab}	111.5 ^{ad}
22	Mor-22	2807 ^{ad}	2897 ^{ac}	2829 ^{ae}	12.3 ^{ab}	11.1 ^a	11.0 ^a	5.3 ^a	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	120.4 ^{ac}	116.9 ^{ab}	108.8 ^{ad}
31	Mor-20	1720 ^{cd}	4191 ^{ab}	2534 ^{ae}	12.6 ^{ab}	11.6 ^a	10.0 ^a	4.9 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.7 ^{ab}	99.3 ^{ac}	108.1 ^{ab}	105.0 ^{ad}
32	Mor-26	2051 ^{cd}	3491 ^{ac}	3315 ^{ae}	14.6 ^a	12.2 ^a	11.6 ^a	5.4 ^a	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	144.3 ^a	124.1 ^{ab}	107.4 ^{ad}
33	Mor-25	1342 ^{cd}	3250 ^{ac}	3428 ^{ae}	11.5 ^{ab}	12.9 ^a	12.5 ^a	5.0 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.7 ^{ab}	98.3 ^{ac}	118.1 ^{ab}	116.7 ^{ad}

Continúa...

Cuadro 3A. Continuación...

34	Mor-28	2175 ^{cd}	4636 ^{ab}	4126 ^{ad}	12.6 ^{ab}	11.8 ^a	12.7 ^a	5.0 ^{ab}	4.8 ^{ab}	5.1 ^a	105.6 ^{ac}	109.6 ^{ab}	136.1 ^{ad}
35	Mor-21	1764 ^{cd}	3175 ^{ac}	3425 ^{ae}	13.8 ^a	11.3 ^a	11.4 ^a	4.9 ^{ab}	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	120.3 ^{ac}	112.8 ^{ab}	111.7 ^{ad}
36	Mor-23	318 ^d	3707 ^{ac}	3348 ^{ae}	9.0 ^b	11.3 ^a	10.5 ^a	4.6 ^{ab}	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	42.5 ^c	103.9 ^{ab}	100.8 ^{ad}
38	Mor-22	2732 ^{ad}	3861 ^{ab}	4116 ^{ad}	13.2 ^{ab}	11.9 ^a	12.5 ^a	4.7 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.9 ^{ab}	113.7 ^{ac}	114.8 ^{ab}	123.2 ^{ad}
39	Mor-27	2245 ^{cd}	4630 ^{ab}	3511 ^{ae}	13.0 ^{ab}	11.7 ^a	12.6 ^a	5.0 ^{ab}	5.0 ^a	5.0 ^{ab}	117.8 ^{ac}	122.5 ^{ab}	130.7 ^{ad}
40	Mor-29	1497 ^{cd}	3207 ^{ac}	3868 ^{ad}	12.6 ^{ab}	11.2 ^a	11.2 ^a	5.2 ^{ab}	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	113.6 ^{ac}	105.6 ^{ab}	107.5 ^{ad}
41	Mor-24	1245 ^{cd}	3280 ^{ac}	2960 ^{ae}	12.6 ^{ab}	11.7 ^a	10.1 ^a	5.2 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.9 ^{ab}	105.5 ^{ac}	110.3 ^{ab}	93.0 ^{bd}
Otras Poblaciones Nativas													
23	Az-1	2927 ^{ad}	3374 ^{ac}	2509 ^{ae}	12.6 ^{ab}	12.0 ^a	11.0 ^a	5.0 ^{ab}	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	130.8 ^{ab}	135.2 ^{ab}	109.6 ^{ad}
24	Az-2	3596 ^{ad}	2671 ^{ac}	2452 ^{ae}	12.7 ^{ab}	10.8 ^a	12.0 ^a	4.9 ^{ab}	5.1 ^a	5.1 ^a	128.5 ^{ab}	124.6 ^{ab}	130.1 ^{ad}
25	Az-3	2683 ^{ad}	2587 ^{ac}	2287 ^{ae}	11.7 ^{ab}	10.5 ^a	11.2 ^a	4.7 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.8 ^{ab}	113.1 ^{ac}	113.4 ^{ab}	117.4 ^{ad}
27	Ros	2047 ^{cd}	2598 ^{ac}	2276 ^{ae}	13.0 ^{ab}	11.3 ^a	10.8 ^a	4.6 ^{ab}	5.2 ^a	5.0 ^{ab}	98.6 ^{ac}	129.6 ^{ab}	107.9 ^{ad}
28	Am	2935 ^{ad}	2993 ^{ac}	4314 ^{ad}	13.2 ^{ab}	10.1 ^a	13.1 ^a	4.8 ^{ab}	4.5 ^{ab}	5.0 ^{ab}	135.2 ^{ab}	109.0 ^{ab}	152.1 ^{ac}
29	Trigñ	2573 ^{ad}	3143 ^{ac}	4717 ^{ab}	12.0 ^{ab}	12.7 ^a	13.8 ^a	4.8 ^{ab}	5.2 ^a	5.5 ^a	121.9 ^{ac}	157.5 ^a	180.9 ^a
30	Bco	3226 ^{ad}	2861 ^{ac}	4397 ^{ac}	12.7 ^{ab}	12.3 ^a	14.2 ^a	4.7 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.4 ^a	124.7 ^{ab}	150.6 ^a	179.9 ^a
47	Cac-olomor	2875 ^{ad}	3403 ^{ac}	2997 ^{ae}	13.8 ^a	12.5 ^a	12.5 ^a	5.2 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.9 ^{ab}	139.0 ^a	117.4 ^{ab}	128.3 ^{ad}
48	Cac-olomor	4070 ^{ac}	2509 ^{ac}	4948 ^a	13.5 ^a	11.1 ^a	13.1 ^a	5.5 ^a	4.8 ^{ab}	5.0 ^{ab}	141.9 ^a	104.3 ^{ab}	128.7 ^{ad}
49	Cac-olomor	2933 ^{ad}	2503 ^{ac}	5000 ^a	13.8 ^a	11.8 ^a	12.4 ^a	5.2 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.0 ^{ab}	142.3 ^a	93.1 ^{ab}	136.6 ^{ad}
50	Cac-olomor	2041 ^{cd}	1495 ^{bc}	4306 ^{ad}	12.9 ^{ab}	12.3 ^a	13.1 ^a	4.8 ^{ab}	4.5 ^{ab}	5.0 ^{ab}	99.4 ^{ac}	80.8 ^{ab}	130.4 ^{ad}
51	Cac-olomor	1642 ^{cd}	2443 ^{ac}	3228 ^{ae}	14.3 ^a	13.4 ^a	11.6 ^a	5.4 ^a	5.0 ^a	4.9 ^{ab}	137.7 ^a	115.8 ^{ab}	108.7 ^{ad}
Poblaciones Premejoradas													
19	Mor-ancho	5857 ^{ab}	2312 ^{bc}	914 ^{de}	13.7 ^a	13.1 ^a	10.4 ^a	5.1 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.1 ^b	147.1 ^a	142.1 ^{ab}	65.7 ^d
20	Mor-20	2277 ^{cd}	242 ^c	126 ^e	13.2 ^{ab}	9.8 ^a	10.2 ^a	4.5 ^{ab}	3.9 ^b	4.2 ^b	96.2 ^{ac}	61.8 ^b	78.8 ^{cd}
21	Mor-21	2019 ^{cd}	1903 ^{bc}	1183 ^{ce}	11.5 ^{ab}	10.9 ^a	10.0 ^a	4.2 ^b	4.5 ^{ab}	4.0 ^b	74.8 ^{ac}	88.0 ^{ab}	63.8 ^d
26	Rojo-p SMC ₃	5975 ^a	2711 ^{ac}	1375 ^{be}	14.4 ^a	13.4 ^a	11.0 ^a	4.5 ^{ab}	4.6 ^{ab}	4.0 ^b	125.8 ^{ab}	124.2 ^{ab}	66.2 ^d
37	Mor-Oax	3793 ^{ad}	5900 ^a	3120 ^{ae}	14.7 ^a	12.2 ^a	13.1 ^a	4.8 ^{ab}	4.5 ^{ab}	4.5 ^{ab}	111.7 ^{ac}	107.1 ^{ab}	121.8 ^{ad}

Continúa...

Cuadro 3A. Continuación...

42	Mor-Ixtenco SMC ₁	2520 ^{ad}	3449 ^{ac}	3873 ^{ad}	12.1 ^{ab}	11.6 ^a	12.8 ^a	5.1 ^{ab}	4.7 ^{ab}	5.0 ^{ab}	109.4 ^{ac}	101.9 ^{ab}	139.1 ^{ad}
43	Mor-bordo	1465 ^{cd}	2421 ^{ac}	3523 ^{ae}	11.9 ^{ab}	10.4 ^a	10.1 ^a	4.9 ^{ab}	4.4 ^{ab}	4.6 ^{ab}	98.3 ^{ac}	80.1 ^{ab}	93.5 ^{bd}
44	Comp. Mor-SMC ₁	2109 ^{cd}	2149 ^{bc}	2740 ^{ae}	12.9 ^{ab}	11.3 ^a	11.3 ^a	5.3 ^a	4.4 ^{ab}	4.9 ^{ab}	133.2 ^{ab}	82.4 ^{ab}	108.9 ^{ad}
45	M-Altecsa	1902 ^{cd}	2756 ^{ac}	1762 ^{ae}	10.7 ^{ab}	11.1 ^a	10.2 ^a	4.2 ^b	4.7 ^{ab}	4.2 ^b	54.9 ^{bc}	92.7 ^{ab}	77.6 ^{cd}
46	Comp. Az-SMC ₁	1767 ^{cd}	3542 ^{ac}	4655 ^{ac}	11.9 ^{ab}	12.3 ^a	13.4 ^a	5.2 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.4 ^a	104.5 ^{ac}	121.9 ^{ab}	160.7 ^{ab}
52	Cac MMR	2048 ^{cd}	3253 ^{ac}	3550 ^{ae}	13.7 ^a	13.2 ^a	12.5 ^a	4.8 ^{ab}	5.1 ^a	4.9 ^{ab}	103.3 ^{ac}	113.6 ^{ab}	110.2 ^{ad}
53	Cruza Cac	4503 ^{ac}	4252 ^{ab}	4731 ^{ab}	14.0 ^a	13.2 ^a	13.7 ^a	5.4 ^a	5.2 ^a	5.0 ^{ab}	148.7 ^a	129.5 ^{ab}	139.6 ^{ad}
DMS		3481			4.2			1.0			81.7		

No. = Número de identificación de la población, Rto = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Lmz = Longitud de mazorca en cm; DMz = Diámetro de mazorca en cm; Pmz = Peso de mazorca en g; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo; Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 4A. Promedio de días a floración masculina, días a floración femenina y altura de planta por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.

No.	Población	DFM			DFF			Apta		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>										
1	Mor-1	84 ^{ab}	96.0 ^{ad}	95.8 ^{af}	87.9 ^{ab}	99.6 ^{ac}	99.9 ^{ag}	279.4 ^{bd}	196.0 ^{ab}	208.3 ^{bf}
2	Mor-2	84.9 ^{ab}	94.5 ^{ac}	95.3 ^{ae}	88.6 ^{ab}	99.0 ^{ac}	99.8 ^{ag}	271.5 ^{bd}	183.3 ^{ab}	201.3 ^{cg}
3	Mor-3	87.4 ^{ac}	99.1 ^{ad}	98.0 ^{ag}	92.0 ^{ac}	103.8 ^{ad}	102.8 ^{ai}	298.3 ^{ac}	201.8 ^a	205.9 ^{bf}
4	Mor-4	86.6 ^{ac}	97.3 ^{ad}	99.5 ^{ah}	90.6 ^{ac}	100.9 ^{ac}	104.1 ^{ai}	290.3 ^{ac}	199.4 ^{ab}	217.4 ^{bd}
5	Mor-5	86.6 ^{ac}	99.5 ^{ad}	97.3 ^{ag}	90.7 ^{ac}	103.9 ^{ad}	101.6 ^{ah}	284.6 ^{bd}	202.1 ^a	199.7 ^{cg}
6	Mor-6	86.4 ^{ac}	98.8 ^{ad}	97.3 ^{ag}	90.7 ^{ac}	103.3 ^{ac}	102.1 ^{ah}	295.8 ^{ac}	198.6 ^{ab}	213.4 ^{bd}
7	Mor-7	86.7 ^{ac}	97.4 ^{ad}	97.1 ^{ag}	90.6 ^{ac}	101.5 ^{ac}	101.6 ^{ah}	284.0 ^{bd}	196.3 ^{ab}	205.3 ^{bf}
8	Mor-8	87.4 ^{ac}	95.4 ^{ac}	96.5 ^{af}	91.9 ^{ac}	99.1 ^{ac}	100.6 ^{ah}	292.7 ^{ac}	205.3 ^a	210.5 ^{be}
9	Mor-9	89.7 ^{ac}	99.0 ^{ad}	97.1 ^{ag}	94.4 ^{bc}	102.6 ^{ac}	101.3 ^{ah}	290.1 ^{ac}	197.7 ^{ab}	199.7 ^{cg}
10	Mor-10	90.1 ^{bc}	98.0 ^{ad}	100.3 ^{ah}	94.4 ^{bc}	102.1 ^{ac}	104.8 ^{ai}	300.7 ^{ac}	210.1 ^a	216.9 ^{bd}
11	Mor-11	85.0 ^{ab}	95.8 ^{ac}	97.0 ^{ag}	89.0 ^{ab}	99.8 ^{ac}	102.1 ^{ah}	282.3 ^{bd}	198.4 ^{ab}	200.6 ^{cg}
12	Mor-12	85.7 ^{ab}	99.1 ^{ad}	97.5 ^{ag}	89.9 ^{ac}	103.9 ^{ad}	101.6 ^{ah}	295.1 ^{ac}	187.9 ^{ab}	199.2 ^{cg}
13	Mor-13	84.4 ^{ab}	97.1 ^{ad}	95.6 ^{af}	88.1 ^{ab}	101.6 ^{ac}	99.5 ^{af}	294.9 ^{ac}	192.8 ^{ab}	205.4 ^{bf}
14	Mor-14	85.0 ^{ab}	98.9 ^{ad}	97.1 ^{ag}	90.0 ^{ac}	103.0 ^{ac}	102.6 ^{ai}	291.3 ^{ac}	198.0 ^{ab}	206.6 ^{bf}
15	Mor-15	87.4 ^{ac}	100.0 ^{ad}	99.8 ^{ah}	92.6 ^{ac}	104.6 ^{ad}	104.5 ^{ai}	299.5 ^{ac}	205.5 ^a	208.2 ^{bf}
16	Mor-16	84.4 ^{ab}	94.1 ^{ac}	96.5 ^{af}	88.3 ^{ab}	97.8 ^{ab}	100.9 ^{ah}	281.4 ^{bd}	199.4 ^{ab}	208.8 ^{bf}
17	MorAz-17	84.4 ^{ab}	94.9 ^{ac}	96.8 ^{af}	88.0 ^{ab}	99.0 ^{ac}	101.0 ^{ah}	290.9 ^{ac}	194.9 ^{ab}	202.3 ^{bg}
18	Mor-mix	86.6 ^{ac}	95.6 ^{ac}	98.5 ^{ah}	91.0 ^{ac}	99.4 ^{ac}	102.6 ^{ai}	295.1 ^{ac}	206.8 ^a	203.2 ^{bg}
22	Mor-22	89.0 ^{ac}	100.4 ^{ad}	101.4 ^{ah}	92.7 ^{ac}	104.4 ^{ad}	106.5 ^{ai}	295.9 ^{ac}	204.6 ^a	200.7 ^{cg}
31	Mor-20	88.5 ^{ac}	96.8 ^{ad}	97.0 ^{ag}	93.3 ^{ac}	101.5 ^{ac}	102.0 ^{ah}	295.8 ^{ac}	202.2 ^a	188.8 ^{dg}
32	Mor-26	87.8 ^{ac}	95.3 ^{ac}	95.0 ^{ad}	92.5 ^{ac}	99.8 ^{ac}	98.8 ^{ae}	293.8 ^{ac}	188.8 ^{ab}	194.8 ^{dg}
33	Mor-25	89.5 ^{ac}	96.5 ^{ad}	91.8 ^a	94.8 ^{bc}	100.8 ^{ac}	95.8 ^a	304.8 ^{ac}	200.8 ^a	199.4 ^{cg}

Continúa...

Cuadro 4A. Continuación...

34	Mor-28	89.0 ^{ac}	98.5 ^{ad}	92.8 ^{ab}	93.5 ^{bc}	103.0 ^{ac}	96.0 ^a	297.6 ^{ac}	198.6 ^{ab}	211.2 ^{bd}
35	Mor-21	89.5 ^{ac}	93.8 ^{ab}	92.3 ^a	94.5 ^{bc}	97.5 ^{ab}	95.5 ^a	299.5 ^{ac}	192.5 ^{ab}	203.8 ^{bg}
36	Mor-23	88.0 ^{ac}	98.3 ^{ad}	95.5 ^{af}	92.0 ^{ac}	102.8 ^{ac}	100.3 ^{ag}	300.3 ^{ac}	197.2 ^{ab}	197.4 ^{cg}
38	Mor-22	84.8 ^{ab}	98.5 ^{ad}	92.0 ^a	88.8 ^{ab}	103.0 ^{ac}	94.8 ^a	303.8 ^{ac}	203.0 ^a	198.9 ^{cg}
39	Mor-27	88.5 ^{ac}	96.8 ^{ad}	95.0 ^{ad}	93.3 ^{ac}	100.3 ^{ac}	98.8 ^{ae}	296.5 ^{ac}	202.2 ^a	193.1 ^{dg}
40	Mor-29	85.8 ^{ab}	95.5 ^{ac}	93.8 ^{ac}	90.8 ^{ac}	99.5 ^{ac}	97.3 ^{ac}	288.3 ^{ac}	195.3 ^{ab}	203.5 ^{bg}
41	Mor-24	86.5 ^{ac}	97.5 ^{ad}	92.5 ^a	90.3 ^{ac}	101.8 ^{ac}	97.0 ^{ab}	287.1 ^{ac}	189.1 ^{ab}	194.1 ^{dg}
Otras Poblaciones Nativas										
23	Az-1	85.0 ^{ab}	97.3 ^{ad}	105.5 ^{dh}	89.0 ^{ab}	101.3 ^{ac}	110.5 ^{di}	277.0 ^{bd}	208.8 ^a	200.7 ^{cg}
24	Az-2	84.3 ^{ab}	98.0 ^{ad}	101.8 ^{ah}	88.3 ^{ab}	101.8 ^{ac}	106.8 ^{ai}	288.0 ^{ac}	204.0 ^a	220.8 ^{ad}
25	Az-3	84.0 ^{ab}	96.5 ^{ad}	104.5 ^{ch}	88.3 ^{ab}	99.5 ^{ac}	109.5 ^{ci}	277.3 ^{bd}	195.8 ^{ab}	219.3 ^{ad}
27	Ros	83.0 ^{ab}	93.3 ^a	101.0 ^{ah}	86.7 ^{ab}	96.0 ^a	106.0 ^{ai}	272.3 ^{bd}	186.0 ^{ab}	195.4 ^{dg}
28	Am	82.3 ^{ab}	97.8 ^{ad}	103.5 ^{bh}	86.3 ^{ab}	101.3 ^{ac}	108.8 ^{bi}	256.9 ^{cd}	197.5 ^{ab}	247.2 ^{ac}
29	Trigñ	89.0 ^{ac}	101.3 ^{ae}	109.0 ^h	93.0 ^{ac}	105.8 ^{ad}	115.0 ⁱ	293.3 ^{ac}	206.5 ^a	270.4 ^a
30	Bco	86.0 ^{ab}	101.3 ^{ae}	106.0 ^{eh}	90.3 ^{ac}	105.5 ^{ad}	111.0 ^{ei}	317.0 ^{ab}	209.5 ^a	251.3 ^{ab}
47	Cac-olomor	90.3 ^{bc}	101.0 ^{ad}	101.3 ^{ah}	96.0 ^{bc}	106.0 ^{ad}	105.5 ^{ai}	289.2 ^{ac}	191.8 ^{ab}	203.2 ^{bg}
48	Cac-olomor	87.0 ^{ac}	100.8 ^{ad}	99.5 ^{ah}	91.5 ^{ac}	105.3 ^{ad}	105.0 ^{ai}	284.1 ^{bd}	193.4 ^{ab}	213.0 ^{bd}
49	Cac-olomor	88.8 ^{ac}	100.3 ^{ad}	98.0 ^{ag}	94.0 ^{bc}	105.3 ^{ad}	102.8 ^{ai}	298.0 ^{ac}	193.8 ^{ab}	215.4 ^{bd}
50	Cac-olomor	90.0 ^{bc}	104.5 ^{be}	100.5 ^{ah}	95.5 ^{bc}	110.3 ^{cd}	104.8 ^{ai}	295.1 ^{ac}	183.3 ^{ab}	203.8 ^{bg}
51	Cac-olomor	89.5 ^{ac}	103.8 ^{ae}	102.3 ^{ah}	94.8 ^{bc}	109.5 ^{bd}	106.5 ^{ai}	304.0 ^{ac}	192.7 ^{ab}	189.8 ^{dg}
Poblaciones Premejoradas										
19	Mor-ancho	91.3 ^{bc}	106.5 ^{de}	109.0 ^h	94.7 ^{bc}	109.5 ^{bd}	114.8 ⁱ	304.0 ^{ac}	204.5 ^a	171.2 ^{dg}
20	Mor-20	90.0 ^{bc}	104.3 ^{be}	106.3 ^{fh}	91.7 ^{ac}	107.0 ^{ad}	112.0 ^{gi}	281.0 ^{bd}	181.5 ^{ab}	154.1 ^g
21	Mor-21	79.0 ^a	94.5 ^{ac}	95.3 ^{ae}	81.0 ^a	97.5 ^{ab}	97.8 ^{ac}	234.3 ^d	149.3 ^b	158.6 ^{fg}
26	Roj-p SMC ₃	85.7 ^{ab}	99.3 ^{ad}	105.8 ^{eh}	88.0 ^{ab}	101.8 ^{ac}	113.0 ^{hi}	284.0 ^{bd}	192.8 ^{ab}	160.0 ^{eg}
37	Mor-Oax	97.0 ^c	111.0 ^e	107.8 ^{gh}	102.0 ^c	116.0 ^d	111.8 ^{fi}	338.0 ^a	205.7 ^a	179.8 ^{dg}

Continúa...

Cuadro 4A. Continuación...

42	Mor-Ixtenco SMC ₁	86.3 ^{ac}	99.3 ^{ad}	95.0 ^{ad}	90.5 ^{ac}	104.0 ^{ad}	98.5 ^{ad}	276.8 ^{bd}	193.3 ^{ab}	216.0 ^{bd}
43	Mor-bordo	85.3 ^{ab}	100.5 ^{ad}	95.3 ^{ae}	89.5 ^{ab}	105.5 ^{ad}	100.0 ^{ag}	282.4 ^{bd}	179 ^{ab}	196.6 ^{cg}
44	Comp. Mor-SMC ₁	87.3 ^{ac}	104.8 ^{ce}	98.8 ^{ah}	91.5 ^{ac}	109.8 ^{bd}	104.3 ^{ai}	295.7 ^{ac}	186.5 ^{ab}	179.3 ^{dg}
45	Mor-Altecsa	84.3 ^{ab}	98.3 ^{ad}	95.3 ^{ae}	88.5 ^{ab}	102.3 ^{ac}	100.0 ^{ag}	271.9 ^{bd}	181.2 ^{ab}	194.0 ^{dg}
46	Comp. Az-SMC ₁	84.0 ^{ab}	99.5 ^{ad}	94.3 ^{ac}	88.8 ^{ab}	103.8 ^{ad}	98.5 ^{ad}	295.9 ^{ac}	199.5 ^{ab}	211.5 ^{bd}
52	Cac MMR	89.3 ^{ac}	101.0 ^{ad}	98.8 ^{ah}	92.5 ^{ac}	106.0 ^{ad}	103.0 ^{ai}	294.6 ^{ac}	193.5 ^{ab}	202.8 ^{bg}
53	Cruza Cac	89.8 ^{ac}	102.0 ^{ae}	97.3 ^{ag}	94.3 ^{bc}	106.3 ^{ad}	101.5 ^{ah}	301.6 ^{ac}	196.3 ^{ab}	199.2 ^{cg}
DMS		10.9			12.4			51.1		

No. = Número de identificación de la población, DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta en cm; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo; Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 5A. Promedio de sanidad de mazorca e índice de desgrane por población y ambiente de 53 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento estudiadas durante 2013 y 2014.

No.	Población	Smz			Id		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
<i>Poblaciones Moradas Nativas</i>							
1	Mor-1	3.6 _{cg}	1.8 _a	1.5 _a	89.87 _{ac}	90.87 _{ac}	90.51 _{ab}
2	Mor-2	3.7 _{cg}	2.0 _a	1.5 _a	88.19 _{ad}	91.59 _{ab}	91.17 _a
3	Mor-3	3.1 _{bg}	1.9 _a	1.7 _a	88.9 _{ac}	90.61 _{ac}	89.55 _{ab}
4	Mor-4	3.3 _{cg}	1.7 _a	1.6 _a	87.33 _{ae}	90.23 _{ac}	90.70 _{ab}
5	Mor-5	3.3 _{cg}	1.7 _a	1.5 _a	86.78 _{ae}	90.66 _{ac}	89.33 _{ac}
6	Mor-6	3.1 _{bg}	1.6 _a	1.7 _a	87.34 _{ae}	90.10 _{ac}	89.85 _{ab}
7	Mor-7	3.6 _{cg}	1.9 _a	1.8 _a	88.48 _{ac}	91.56 _{ab}	89.86 _{ab}
8	Mor-8	3.4 _{cg}	1.9 _a	1.7 _a	88.75 _{ac}	90.72 _{ac}	90.51 _{ab}
9	Mor-9	3.1 _{bg}	1.9 _a	1.8 _a	89.43 _{ac}	90.70 _{ac}	90.05 _{ab}
10	Mor-10	3.7 _{cg}	2.0 _a	1.6 _a	87.55 _{ae}	90.54 _{ac}	90.15 _{ab}
11	Mor-11	3.4 _{cg}	2.1 _a	1.8 _a	90.05 _{ac}	90.54 _{ac}	90.15 _{ab}
12	Mor-12	3.4 _{cg}	1.7 _a	1.6 _a	88.55 _{ac}	90.26 _{ac}	89.24 _{ac}
13	Mor-13	3.6 _{cg}	1.9 _a	1.8 _a	90.93 _a	91.94 _a	91.14 _a
14	Mor-14	3.2 _{cg}	1.8 _a	1.4 _a	86.52 _{ae}	89.65 _{ac}	90.29 _{ab}
15	Mor-15	3.3 _{cg}	1.9 _a	1.6 _a	88.67 _{ac}	89.58 _{ac}	89.09 _{ac}
16	Mor-16	3.4 _{cg}	1.9 _a	1.5 _a	88.02 _{ad}	90.72 _{ac}	90.63 _{ab}
17	MorAz-17	3.6 _{cg}	1.9 _a	1.7 _a	89.99 _{ac}	91.20 _{ab}	90.71 _{ab}
18	Mor-mix	4.0 _{dg}	2.0 _a	1.8 _a	89.2 _{ac}	92.01 _a	90.44 _{ab}
22	Mor-22	3.7 _{cg}	1.9 _a	1.6 _a	88.82 _{ac}	90.89 _{ac}	89.26 _{ac}
31	Mor-20	3.9 _{cg}	1.9 _a	1.5 _a	90.33 _{ac}	90.96 _{ac}	90.52 _{ab}
32	Mor-26	3.9 _{cg}	2.1 _a	1.4 _a	90.37 _{ab}	90.80 _{ac}	90.16 _{ab}
33	Mor-25	4.0 _{dg}	1.9 _a	1.3 _a	91.05 _a	90.13 _{ac}	89.32 _{ac}
34	Mor-28	4.0 _{dg}	2.0 _a	1.8 _a	87.015 _{ae}	90.51 _{ac}	90.28 _{ab}
35	Mor-21	3.6 _{cg}	2.2 _a	1.4 _a	87.97 _{ad}	90.71 _{ac}	90.46 _{ab}
36	Mor-23	3.9 _{cg}	2.0 _a	1.5 _a	82.35 _{de}	91.39 _{ab}	90.34 _{ab}
38	Mor-22	3.7 _{cg}	1.9 _a	1.6 _a	88.49 _{ac}	91.25 _{ab}	90.85 _a
39	Mor-27	3.4 _{cg}	2.1 _a	1.3 _a	88.90 _{ac}	90.05 _{ac}	90.07 _{ab}
40	Mor-29	3.6 _{cg}	2.2 _a	1.7 _a	87.84 _{ae}	90.36 _{ac}	89.79 _{ab}
41	Mor-24	4.2 _e	2.0 _a	1.9 _a	88.25 _{ad}	90.43 _{ac}	88.99 _{ac}
<i>Otras Poblaciones Nativas</i>							
23	Az-1	3.3 _{Cg}	1.8 _a	1.9 _a	90.76 _{ab}	91.65 _{ab}	91.16 _a
24	Az-2	3.0 _{af}	2.2 _a	2.3 _a	90.39 _{ab}	91.47 _{ab}	91.12 _a
25	Az-3	2.9 _{ae}	1.8 _a	1.8 _a	88.58 _{ac}	91.22 _{ab}	91.20 _a

Continúa...

Cuadro 5A. Continuación...							
27	Ros	3.8 _{cg}	1.9 _a	1.7 _a	86.91 _{ae}	90.31 _{ac}	89.91 _{ab}
28	Am	2.7 _{ad}	1.9 _a	1.8 _a	84.82 _{be}	91.48 _{ab}	90.73 _{ab}
29	Trigñ	2.5 _{ac}	1.5 _a	1.6 _a	90.27 _{ac}	91.32 _{ab}	91.32 _a
30	Bco	2.7 _{ad}	1.7 _a	1.6 _a	90.12 _{ac}	91.85 _a	91.61 _a
47	Cac-olomor	3.3 _{cg}	1.5 _a	1.3 _a	90.72 _{ab}	89.21 _{ac}	90.09 _{ab}
48	Cac-olomor	4.2 _{eg}	2.0 _a	1.2 _a	90.62 _{ab}	90.16 _{ac}	90.24 _{ab}
49	Cac-olomor	3.6 _{cg}	1.7 _a	1.2 _a	90.25 _{ac}	90.06 _{ac}	90.44 _{ab}
50	Cac-olomor	3.8 _{cg}	1.7 _a	1.4 _a	89.46 _{ac}	88.71 _{ac}	90.76 _a
51	Cac-olomor	4.0 _{dg}	1.8 _a	1.2 _a	90.20 _{ac}	90.51 _{ac}	90.60 _{ab}
Poblaciones Premejoradas							
19	Mor-ancho	1.7 _{ab}	1.2 _a	1.5 _a	87.71 _{ae}	88.97 _{ac}	86.98 _{ac}
20	Mor-20	3.1 _{bg}	1.1 _a	1.7 _a	85.44 _{ae}	84.98 _c	89.85 _{ab}
21	Mor-21	3.3 _{cg}	1.6 _a	1.5 _a	87.86 _{ae}	90.95 _{ac}	87.18 _{ac}
26	Roj-p SMC ₃	1.6 _a	1.2 _a	1.3 _a	87.14 _{ae}	86.82 _{ac}	83.28 _c
37	Mor-Oax	2.9 _{ae}	1.2 _a	1.1 _a	81.78 _e	87.65 _{ac}	87.08 _{ac}
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	4.2 _{eg}	1.9 _a	1.3 _a	88.74 _{ac}	89.43 _{ac}	89.36 _{ac}
43	Mor-bordo	4.2 _{eg}	1.9 _a	1.3 _a	88.23 _{ad}	89.15 _{ac}	89.18 _{ac}
44	Comp. Mor-SMC ₁	4.2 _{eg}	1.8 _a	1.5 _a	88.38 _{ad}	87.14 _{ac}	89.97 _{ab}
45	Mor-Altecsa	4.5 _g	2.0 _a	1.4 _a	85.34 _{ae}	88.39 _{ac}	84.65 _{bc}
46	Comp. Az-SMC ₁	4.4 _{fg}	1.8 _a	1.4 _a	89.37 _{ac}	90.59 _{ac}	90.52 _{ab}
52	Cac MMR	3.7 _{cg}	1.8 _a	1.6 _a	84.24 _{ce}	85.65 _{bc}	87.77 _{ac}
53	Cruza Cac	3.6 _{cg}	1.6 _a	1.2 _a	87.49 _{ae}	89.27 _{ac}	87.65 _{ac}
DMS		1.4			6.09		

No. = Número de identificación de la población, Smz = Sanidad de mazorca evaluada en una escala del 1 al 5 (1 = 0 a 20 %, 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 %, 5 = 81 a 100 % de daño); Id = Índice de desgrane en %; Mt = Montecillo; Cañ = Cañada; Pue = Pueblo; Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 6A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables de rendimiento y sus componentes, fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas para la evaluación de 18 poblaciones moradas nativas de Ixtenco (versión original y con mejoramiento genético) estudiadas en tres ambientes de los Valles Altos Centrales de México, 2014.

FV	GL	Pgr	Polo	Grnz	Pfg	PIG	Dolo	AsF	Amz
<i>Rendimiento y sus componentes</i>							<i>Fenológicas</i>		<i>Agronómicas</i>
Ciclo	1	264.8 _{ns}	0.007 _{ns}	3898 _{ns}	0.0016 _{ns}	2179411**	0.1098 _{ns}	0.11 _{ns}	11396.0**
Ambiente	2	4269.0 _{ns}	76.471*	51245**	0.0861 _{ns}	2661425**	0.5275*	6.40 _{ns}	237801.4**
Rep(Amb)	9	1548.7*	14.351*	5408 _{ns}	0.0669**	3772 _{ns}	0.0672 _{ns}	5.54**	1797.1**
Población	17	1790.7**	34.770**	9006**	0.0486**	6914*	0.2296**	0.86 _{ns}	634.5**
Ciclo*Amb	2	5232.6**	30.973*	2878 _{ns}	0.1642**	1837657**	1.0175**	1.41 _{ns}	2986.1**
Ciclo*Pob	17	630.7 _{ns}	4.130 _{ns}	2818 _{ns}	0.0212 _{ns}	2633 _{ns}	0.0793*	1.80 _{ns}	157.5 _{ns}
Amb*Pob	34	863.7 _{ns}	11.889*	3356 _{ns}	0.0275 _{ns}	5014 _{ns}	0.0634*	0.95 _{ns}	138.5 _{ns}
Ciclo*Amb*Pob	34	781.0 _{ns}	6.207 _{ns}	3213 _{ns}	0.0205 _{ns}	2914 _{ns}	0.0436 _{ns}	0.54 _{ns}	119.2 _{ns}
Error	272 [¶]	680.9	7.253	3134	0.0229	3999	0.0421	1.1	167.6
CV (%)		25.9	23.1	16.8	12.6	15	8.1	24.1	9.3

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; Pgr = Peso de grano; Polo = Peso de olote; Grnz = Número de granos por mazorca; Pfg = Profundidad de grano; PIG = Peso individual de grano; Dolo = Diámetro de olote; AsF = Días de asincronía floral; Amz = Altura de mazorca; ** = $P \leq 0.01$; * = $P \leq 0.05$; ns = No significativo; [¶]GL del error para AsF y Amz = 315.

Cuadro 7A. Promedio de contenido de antocianinas totales de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	ATal	ATper	ATgr	ATolo
1	Mor-1	0.0369ei	0.7036jn	0.0785m	0.1583no
2	Mor-2	0.0345gk	1.9654c	0.1312e	0.1485op
3	Mor-3	0.0372eh	1.9152c	0.1459d	0.5776c
4	Mor-4	0.0384df	0.7901ik	0.0782m	0.3004kl
5	Mor-5	0.0343hk	2.0216c	0.1532cd	0.2798l
6	Mor-6	0.0313ln	1.2272fg	0.1103hj	0.6659b
7	Mor-7	0.0381df	1.4596e	0.1140gh	0.7715a
8	Mor-8	0.0356fj	0.5872mp	0.0661op	0.4673e
9	Mor-9	0.0364ei	0.2043r	0.0444tv	0.2028mn
10	Mor-10	0.0373eg	0.8865i	0.0939l	0.4530ef
11	Mor-11	0.0345gk	1.3558ef	0.1013jk	0.2144m
12	Mor-12	0.0306mn	2.2658b	0.1620c	0.7091b
13	Mor-13	0.0305mn	0.6456lo	0.0634pr	0.0824q
14	Mor-14	0.0373eg	1.4487e	0.1303ef	0.5489cd
15	Mor-15	0.0330jm	0.4605pq	0.0547rs	0.2983kl
16	Mor-16	0.0287no	0.6953kn	0.0647pq	0.2954kl
17	MorAz-17	0.0365ei	1.0608h	0.0986kl	0.1019pq
18	Mor-mix	0.0313ln	0.4275q	0.0504st	0.3323ik
19	Mor-ancho	0.0011q	0.0157rs	0.0019w	0.0053r
20	Mor-20	0.0034pq	0.6904kn	0.0495su	0.3447hk
21	Mor-21	0.0342il	0.0036s	0.0366v	0.0095r
22	Mor-22	0.0349gk	0.8383ij	0.0792m	0.1765mo
31	Mor-20	0.0274°	1.0580h	0.0751mo	0.4081fg
32	Mor-26	0.0374dg	0.6713kn	0.0783m	0.1740mo
33	Mor-25	0.0415c	0.7158jm	0.0752mn	0.3026kl
34	Mor-28	0.0320km	0.2126r	0.0405uv	0.5710cd
35	Mor-21	0.0547a	2.4354a	0.2121a	0.7005b
36	Mor-23	0.0360fi	1.7063d	0.1218fg	0.5557cd
37	Mor-Oax	0.0223p	1.2787fg	0.0976kl	0.1819mo
38	Mor-22	0.0403cd	0.5715np	0.0663np	0.3832gi
39	Mor-27	0.0366ei	0.5110oq	0.0570qs	0.3052kl
40	Mor-29	0.0381df	1.1715gh	0.1135gi	0.3228jl
41	Mor-24	0.0493b	2.4855a	0.1883b	0.6984b
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	0.0414c	0.7753il	0.0762m	0.5250d
43	Mor-bordo	0.0381df	1.6291d	0.1254ef	0.3963gh
44	Comp. Mor-SMC ₁	0.0284no	0.6358mo	0.0604pr	0.7704a
45	Mor-Altecsa	0.039ce	1.1768gh	0.1045ik	0.3586gj
DMS		0.0029	0.1354	0.009	0.0524

Continúa...

Cuadro 7A. Continuación...

		<i>Testigos</i>			
23	Az-1	0.0247	0.0021	0.0237	0.0058
24	Az-2	0.0269	0.0032	0.0261	0.0049
25	Az-3	0.0326	0.0046	0.0312	0.0120
26	Rojo-p SMC₃	0.0028	0.0277	0.0043	0.0145
27	Ros	0.0180	0.0183	0.0180	0.0048
28	Am	0.0009	0.0008	0.0008	0.0046
29	Trigñ	0.0006	0.0014	0.0007	0.0101
30	Bco	0.0005	0.0007	0.0004	0.0269
46	Comp. Az-SMC₁	0.0491	0.0881	0.0516	0.0039
47	Cac-olomor	0.0018	0.0099	0.0021	0.8840
48	Cac-olomor	0.0016	0.0018	0.0011	0.4297
49	Cac-olomor	0.0004	0.0044	0.0006	1.0359
50	Cac-olomor	0.0020	0.0023	0.0022	0.7920
51	Cac-olomor	0.0005	0.0012	0.0005	0.6639
52	Cac MMR	0.0003	0.0012	0.0004	0.0027

No. = Número de identificación de la población; ATal = Contenido de antocianinas en aleurona, g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; ATper = Contenido de antocianinas en pericarpio, g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio; ATgr = Contenido de antocianinas en grano, g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATolo = Contenido de antocianinas en olote, g de AT • 100 g⁻¹ de olote. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 8A. Promedio de contenido de antocianinas totales en la capa de aleurona y pericarpio, de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	Mt	ATal		Mt	ATper	
			Cañ	Pue		Cañ	Pue
1	Mor-1	0.0161qr	0.0552a	0.0397fi	0.0597r	1.0343hj	1.0167km
2	Mor-2	0.0354ei	0.0353gj	0.0327kl	2.1238b	2.2599bc	1.5779gh
3	Mor-3	0.0372dg	0.0355gj	0.0388fj	2.1698b	2.2430bc	1.0841jm
4	Mor-4	0.0343fk	0.0464bc	0.0339jl	0.0804qr	0.0995rt	2.2792bd
5	Mor-5	0.0336gk	0.0407dg	0.0286lm	1.3671cd	2.9412a	1.7566fg
6	Mor-6	0.0301hn	0.0306jm	0.0331kl	0.9246fi	1.4507eg	1.2975ij
7	Mor-7	0.0473b	0.0324jl	0.0364gk	1.1479df	0.9599ik	2.3723b
8	Mor-8	0.0275mo	0.0415ce	0.0377gk	0.4726np	0.9307jk	0.3582pq
9	Mor-9	0.0409ce	0.0333il	0.0348hk	0.0554r	0.0739st	0.4546op
10	Mor-10	0.0335gl	0.0420ce	0.0364gk	0.4419op	1.3395fg	0.8779ln
11	Mor-11	0.0349fj	0.0314jm	0.0371gk	1.4048c	0.1665qt	2.4962b
12	Mor-12	0.0298jn	0.0293km	0.0328kl	2.1314b	2.8810a	1.7850fg
13	Mor-13	0.0329gm	0.0215o	0.0370gk	0.4903mp	0.5984mn	0.8482mn
14	Mor-14	0.0280lo	0.0503ab	0.0337jl	1.0450eg	1.5974e	1.6611g
15	Mor-15	0.0323gm	0.031jm	0.0356hk	0.3223pq	0.6084mn	0.4510op
16	Mor-16	0.0246np	0.0346ik	0.0268m	0.9187fj	0.2758ps	0.8877ln
17	MorAz-17	0.0425bd	0.0233no	0.0439df	0.5979ko	0.4135nq	2.0990ce
18	Mor-mix	0.0276mo	0.0259mo	0.0403eh	0.1265qr	0.6638ln	0.4851op
19	Mor-ancho	0.0012s	0.0006q	-	0.0110r	0.0224t	-
20	Mor-20	0.0014rs	0.0010p	0.0078o	0.8160gk	0.2992ps	0.9125ln
21	Mor-21	0.0347fj	0.0333il	-	0.0036r	0.0034t	-
22	Mor-22	0.0288ko	0.0313jm	0.0473cd	0.7141in	0.7776km	1.0462jm
31	Mor-20	0.021pq	0.0261mo	0.0352hk	0.6680jo	2.0288cd	0.4772op
32	Mor-26	0.0394df	0.0357fj	0.0369gk	0.0675r	1.2573fh	0.7542n
33	Mor-25	0.0300in	0.0432ce	0.0513c	0.5369lp	0.4152nq	1.2553ik
34	Mor-28	0.0349fj	0.0266mo	0.0344ik	0.1634qr	0.3340or	0.1717q
35	Mor-21	0.0649a	0.038ei	0.0611b	2.1188b	2.3485b	2.9418a
36	Mor-23	0.0338gk	0.0336ik	0.0412eg	1.2915ce	2.2913b	1.6010gh
37	Mor-Oax	0.0194pr	0.0279ln	0.0209n	1.5022c	1.2010gi	1.1147jl
38	Mor-22	0.0321gm	0.0404dh	0.0484cd	0.7304im	0.3047ps	0.6796no
39	Mor-27	0.0295jo	0.0411cf	0.0392fj	0.1639qr	0.9786ik	0.3906pq
40	Mor-29	0.0356eh	0.0344ik	0.0443df	0.6463ko	0.9096jl	2.0571de
41	Mor-24	0.0462bc	0.0292km	0.0755a	4.8539a	1.9556d	1.9628ef

Continúa...

Cuadro 8A. Continuación...							
42	Mor-Ixtenco SMC₁	0.0336gk	0.0386di	0.0520c	0.0846qr	0.8029jm	1.6318gh
43	Mor-bordo	0.0321gm	0.0420ce	0.0400eh	1.0108fh	1.4903ef	2.4635b
44	Comp. Mor-SMC₁	0.0240op	0.0351hj	0.0262mn	0.0048r	0.4367np	1.3996hi
45	Mor-Altecsa	0.0279mo	0.0437cd	0.0454de	0.7621hl	0.569mo	2.3270bc
	DMS	0.0055			0.2523		
Testigos							
23	Az-1	0.0237	0.0257	0.0247	0.0023	0.002	0.002
24	Az-2	0.0286	0.0233	-	0.0031	0.0034	-
25	Az-3	-	0.0326	-	-	0.0046	-
26	Rojo-p SMC₃	0.0028	-	-	0.0277	-	-
27	Ros	-	0.018	-	-	0.0183	-
28	Am	-	0.0009	-	-	0.0008	-
29	Trigñ	0.0008	0.0005	-	0.0025	0.0006	-
30	Bco	-	0.0015	0	-	0.0007	0.0007
46	Comp. Az-SMC₁	0.0407	0.0514	0.0552	0.002	0.0352	0.1984
47	Cac-olomor	0.0028	0.0012	0.0012	0.0086	0.0132	0.0081
48	Cac-olomor	0.0006	-	0.0025	0.0023	-	0.0003
49	Cac-olomor	0.0005	0.0005	0.0003	0.0012	0.0072	0.0025
50	Cac-olomor	0.0027	0.0005	0.0027	0.0043	0.0008	0.0002
51	Cac-olomor	-	0.0004	0.0008	-	0.0009	0.0016
52	Cac MMR	0.0003	0.0004	-	0.0009	0.0013	-

No. = Número de identificación de la población; ATal = Contenido de antocianinas en aleurona, g de AT • 100 g⁻¹ de biomasa; ATper = Contenido de antocianinas en pericarpio, g de AT • 100 g⁻¹ de pericarpio. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 9A. Promedio de contenido de antocianinas totales en grano y olote, de 52 poblaciones de maíz nativo y con premejoramiento, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	ATgr			ATolo		
		Mt	Cañ	Pue	Mt	Cañ	Pue
1	Mor-1	0.0182rs	0.1142g	0.1062hj	0.0289uv	0.3251gj	0.1162mp
2	Mor-2	0.1470c	0.1413ce	0.1075hj	0.1901mq	0.2023lo	0.0531p
3	Mor-3	0.1700b	0.1562bc	0.0999ik	0.9313b	0.4340ef	0.3675j
4	Mor-4	0.0366oq	0.0486nq	0.1496ef	0.1564nr	0.0777qs	0.7720fg
5	Mor-5	0.1463c	0.2128a	0.1004ik	0.4867df	0.2476im	0.1051np
6	Mor-6	0.0878ef	0.1240fg	0.1182gh	1.4258a	0.3119gk	0.2599kl
7	Mor-7	0.0990de	0.0801ik	0.1725c	1.0111b	0.5672bd	0.7895fg
8	Mor-8	0.0555im	0.0872ij	0.0556oq	0.4222eg	0.6384bc	0.3414jk
9	Mor-9	0.0415lp	0.0353qr	0.0544pq	0.3823gi	0.0939ps	0.1323mp
10	Mor-10	0.0576hm	0.1331df	0.0911il	0.0889rv	0.2546il	0.8943e
11	Mor-11	0.1108d	0.0374pr	0.1558de	0.2352kn	0.0460rs	0.3622j
12	Mor-12	0.1323c	0.2077a	0.1461ef	0.1307ot	0.4694de	1.5273c
13	Mor-13	0.0579hl	0.0531mp	0.0791ln	0.0464sv	0.1001ps	0.1007op
14	Mor-14	0.0937e	0.1455cd	0.1475ef	0.6815c	0.1778lp	0.7048gh
15	Mor-15	0.0479kp	0.0573ln	0.0588op	0.3090hk	0.4110eg	0.1749lo
16	Mor-16	0.0739fh	0.0481nq	0.0718mo	0.2744jm	0.4108eg	0.2011ln
17	MorAz-17	0.0719fi	0.0476nq	0.1707cd	0.0316tv	0.2010lo	0.0730p
18	Mor-mix	0.0313pr	0.0562lo	0.0623op	0.2335kn	0.4076eg	0.3808j
19	Mor-ancho	0.0018s	0.0021s	-	0.0048v	0.0062s	-
20	Mor-20	0.0560im	0.0209r	0.0684np	0.2337kn	0.3864eh	0.4141j
21	Mor-21	0.0387nq	0.0321qr	-	0.0104uv	0.0080s	-
22	Mor-22	0.0758fg	0.0657km	0.1044hj	0.0943qv	0.2294jm	0.2058lm
31	Mor-20	0.0511ko	0.1160g	0.0583op	0.1403ns	0.2218kn	1.0891d
32	Mor-26	0.0410mp	0.1123gh	0.0854km	0.2620km	0.1884lp	0.0717p
33	Mor-25	0.0546jn	0.0595ln	0.1161hi	0.1804mr	0.1693lq	0.5582i
34	Mor-28	0.0415lp	0.0400oq	0.0397q	0.5141de	0.364fh	0.8348ef
35	Mor-21	0.1734b	0.1723b	0.3073a	0.1571nr	0.5403cd	1.5275c
36	Mor-23	0.0928e	0.1282eg	0.1482ef	0.4056fh	0.2371jm	1.0244d
37	Mor-Oax	0.0979de	0.0957hi	0.0988ik	0.1989lp	0.1147or	0.2320l
38	Mor-22	0.0634gk	0.0544lo	0.0812ln	0.1282ot	0.8165a	0.2050lm
39	Mor-27	0.0351oq	0.0801ik	0.0560oq	0.0837rv	0.0323rs	0.7997eg
40	Mor-29	0.0751fg	0.0907i	0.1823bc	0.0551sv	0.3082hk	0.6404hi
41	Mor-24	0.2604a	0.1525c	0.1926b	0.2916il	0.0288rs	1.7749b

Continúa...

Cuadro 9A. Continuación...

42	Mor-Ixtenco SMC₁	0.0368 ^{oq}	0.0708 ^{jl}	0.1330 ^{fg}	0.3705 ^{gj}	0.3404 ^{fi}	1.0028 ^d
43	Mor-bordo	0.0707 ^{gj}	0.1167 ^{fg}	0.1957 ^b	0.2117 ^{ko}	0.6395 ^b	0.3377 ^{jk}
44	Comp. Mor-SMC₁	0.0232 ^{qr}	0.0541 ^{mo}	0.1019 ^{hk}	0.1070 ^{pu}	0.1272 ^{nr}	2.0772 ^a
45	Mor-Altecsa	0.0620 ^{gk}	0.0689 ^{km}	0.1923 ^b	0.5635 ^d	0.1493 ^{mq}	0.3629 ^j
	DMS	0.0166			0.0991		
Testigos							
23	Az-1	0.0228	0.0247	0.0237	0.0037	0.0084	0.0051
24	Az-2	0.0282	0.0225	-	0.0041	0.0059	-
25	Az-3	-	0.0312	-	-	0.0120	-
26	Rojo-p SMC₃	0.0043	-	-	0.0145	-	-
27	Ros	-	0.018	-	-	0.0048	-
28	Am	-	0.0008	-	-	0.0046	-
29	Trigñ	0.0008	0.0005	-	0.0121	0.009	-
30	Bco	-	0.0014	0.0000	-	0.0053	0.0340
46	Comp. Az-SMC₁	0.0385	0.0505	0.0616	0.0038	0.0032	0.0047
47	Cac-olomor	0.003	0.0016	0.0015	0.9845	1.5823	0.1628
48	Cac-olomor	0.0007	-	0.0027	0.5030	-	0.3564
49	Cac-olomor	0.0004	0.0007	0.0005	0.2694	1.8946	0.8584
50	Cac-olomor	0.0029	0.0005	0.0026	1.9377	0.2912	0.1473
51	Cac-olomor	-	0.0004	0.0008	-	0.751	0.4399
52	Cac MMR	0.0003	0.0004	-	0.0038	0.0021	-

No. = Número de identificación de la población; ATgr = Contenido de antocianinas en grano, g de AT • 100 g⁻¹ de grano; ATolo = Contenido de antocianinas en olote, g de AT • 100 g⁻¹ de olote. Valores con las mismas letras por columna son estadísticamente iguales según la Diferencia Mínima Significativa (DMS con $\alpha = 0.05$).

Cuadro 10A. Promedio de la frecuencia de mazorcas de color morado, azul, rojo, pinto y blanco, de 37 poblaciones de maíz morado, evaluadas en tres localidades de Valles Altos durante 2013 y 2014.

No.	Población	Mor	Az	Roj	Pto	Bco	No.	Población	Mor	Az	Roj	Pto	Bco
20	Mor-20	0.905	0.000	0.095	0.000	0.000	5	Mor-5	0.642	0.178	0.138	0.042	0.000
36	Mor-23	0.900	0.100	0.000	0.000	0.000	18	Mor-mix	0.608	0.379	0.013	0.000	0.000
41	Mor-24	0.864	0.122	0.008	0.006	0.000	13	Mor-13	0.598	0.365	0.015	0.023	0.000
43	Mor-bordo	0.858	0.125	0.017	0.000	0.000	16	Mor-16	0.596	0.297	0.057	0.050	0.000
6	Mor-6	0.846	0.138	0.017	0.000	0.000	38	Mor-22	0.583	0.400	0.008	0.008	0.000
35	Mor-21	0.846	0.146	0.008	0.000	0.000	1	Mor-1	0.555	0.440	0.005	0.000	0.000
14	Mor-14	0.829	0.088	0.058	0.025	0.000	8	Mor-8	0.533	0.463	0.000	0.005	0.000
11	Mor-11	0.808	0.175	0.017	0.000	0.000	10	Mor-10	0.522	0.347	0.100	0.032	0.000
12	Mor-12	0.788	0.121	0.067	0.025	0.000	31	Mor-20	0.520	0.396	0.059	0.025	0.000
40	Mor-29	0.767	0.225	0.008	0.000	0.000	15	Mor-15	0.503	0.325	0.087	0.085	0.000
3	Mor-3	0.755	0.164	0.035	0.042	0.004	32	Mor-26	0.499	0.493	0.000	0.008	0.000
4	Mor-4	0.754	0.201	0.010	0.036	0.000	39	Mor-27	0.470	0.492	0.027	0.012	0.000
33	Mor-25	0.742	0.250	0.000	0.008	0.000	34	Mor-28	0.467	0.525	0.008	0.000	0.000
2	Mor-2	0.738	0.263	0.000	0.000	0.000	9	Mor-9	0.428	0.444	0.103	0.025	0.000
7	Mor-7	0.738	0.238	0.017	0.008	0.000	17	MorAz-17	0.417	0.533	0.008	0.042	0.000
44	Comp. Mor-SMC ₁	0.714	0.171	0.098	0.018	0.000	21	Mor-21	0.382	0.221	0.194	0.203	0.000
42	Mor-Ixtenco SMC ₁	0.713	0.246	0.033	0.008	0.000	37	Mor-Oax	0.289	0.008	0.511	0.183	0.008
22	Mor-22	0.693	0.191	0.096	0.021	0.000	19	Mor-ancho	0.192	0.064	0.524	0.187	0.033
45	Mor-Altecsa	0.692	0.300	0.000	0.008	0.000							
	DMS	0.237	0.220	0.158	0.095	0.018		DMS	0.237	0.220	0.158	0.095	0.018

No. = Número de identificación de la población; Mor = morado; Az = azul; Rjo = rojo; Pto = pinto; Bco = blanco. DMS = Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).