



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

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

**CAMPUS MONTECILLO**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GENÉTICA**

## **DIVERSIDAD GENÉTICA, POTENCIAL AGRONÓMICO Y DE CALIDAD EN MAÍCES PIGMENTADOS DE VALLES ALTOS DE MÉXICO**

MARCO ANTONIO GARCÍA PEREA

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

DOCTOR EN CIENCIAS

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

2012

La presente tesis titulada: **"Diversidad genética, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de Valles Altos de México"** realizada por el alumno: **Marco Antonio García Perea** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

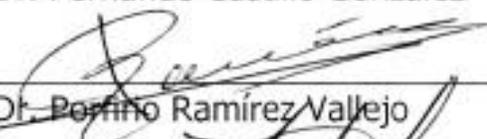
DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Fernando Castillo González

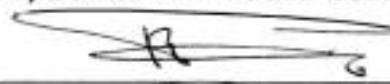
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Porfirio Ramírez Vallejo

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ernesto Moreno Martínez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, de manera particular al programa de Genética por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para mis estudios, por medio de la beca No. 217099. Y por el financiamiento proporcionado al proyecto “Potencial de la diversidad genética de los maíces pigmentados del altiplano de México para la nutracéutica y la tecnología de alimentos” con número 62500, con el cual realice mi trabajo de tesis.

Al Dr. Fernando Castillo González por la dirección y asesoramiento de mis estudios y trabajo experimental; además de todo el apoyo extra académico para concluir esta meta en mi vida.

Con especial agradecimiento a mis asesores Dr. Porfirio Ramírez Vallejo, Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo, Dr. R. Ernesto Preciado Ortiz y Dr. Ernesto Moreno Martínez por sus valiosas y acertadas sugerencias, para el enriquecimiento de este trabajo. Y por compartir sus conocimientos durante mis estudios doctorales.

Al Ing. Antonio Ramírez Hernández, por el apoyo brindado para la conducción y toma de datos en la fase de campo en las tres localidades.

Al Instituto Tecnológico Superior de Occidente del Estado de Hidalgo y al M.C. Aníbal Santos Escamilla por el apoyo para el establecimiento del experimento en el campo experimental del Instituto.

A la señora Dalila Torres Venegas de la Especialidad de Genética, por el apoyo en los trámites escolares y administrativos.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
1.1    Hipótesis	7
1.2    Objetivos	8
1.3    Bibliografía	9
<b>CAPITULO II. DIVERSIDAD GENÉTICA DE MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO</b>	<b>12</b>
RESUMEN	12
SUMMARY	13
2.1    INTRODUCCIÓN	14
2.2    MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.2.1    Material genético	16
2.2.2    Ubicación de los experimentos	16
2.2.3    Diseño y parcela experimental	17
2.2.4    Manejo agronómico de los experimentos	17
2.2.5    Análisis estadístico	18
2.3    RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
2.4    CONCLUSIONES	35
2.5    BIBLIOGRAFÍA	36
<b>CAPITULO III. POTENCIAL AGRONÓMICO DE MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE VALLES ALTOS DE MÉXICO</b>	<b>39</b>
RESUMEN	39
SUMMARY	40
3.1    INTRODUCCIÓN	41
3.2    MATERIALES Y MÉTODOS	47

3.2.1	Material genético	47
3.2.2	Ubicación de los experimentos	47
3.2.3	Diseño y parcela experimental	48
3.2.4	Manejo agronómico de los experimentos	48
3.2.5	Diseño experimental y análisis estadístico	49
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.4	CONCLUSIONES	64
3.5	BIBLIOGRAFÍA	65

## **CAPITULO IV. CALIDAD DE PROTEÍNA EN MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO**

	RESUMEN	70
	SUMMARY	71
4.1	INTRODUCCIÓN	72
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	78
4.2.1	Material genético	78
4.2.2	Ubicación del experimento	79
4.2.3	Diseño y parcela experimental	79
4.2.4	Manejo agronómico de los experimentos	80
4.2.5	Diseño experimental y análisis estadístico	80
4.2.6	Determinación de calidad de proteína	80
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.4	CONCLUSIONES	91
4.5	BIBLIOGRAFÍA	92

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES**

	<b>ANEXOS</b>	100
--	---------------	-----

## ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 2.1	Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.	17
Cuadro 2.2	Estimaciones de componentes de varianza y repetibilidad “r” en 108 poblaciones de maíz con grano azul y en 61 poblaciones con grano rojo evaluadas en tres localidades.	21
Cuadro 2.3	Coeficientes de determinación entre cada una de las tres primeras componentes principales, valores característicos y las variables originales de la matriz de correlaciones de las medias para 20 caracteres de 108 poblaciones nativas de maíz de grano azul y 21 caracteres de 61 de grano rojo, evaluadas en tres localidades.	23
Cuadro 2.4	Promedios de los caracteres por grupo en poblaciones de maíz nativo de grano azul y rojo.	33
Cuadro 3.1	Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.	48
Cuadro 3.2	Cuadrados medios y medias de 108 poblaciones nativas de grano azul, evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.	51
Cuadro 3.3	Cuadrados medios y medias de 61 poblaciones nativas de grano rojo, evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.	52
Cuadro 3.4	Comparación de medias entre localidades de poblaciones nativas de grano azul y rojo evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.	54

Cuadro 3.5	Comparación de medias entre grupos de variantes raciales de poblaciones nativas de grano azul y rojo evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.	59
Cuadro 3.6	Rendimiento de grano de poblaciones de maíz de grano azul, sobresalientes por grupos de variantes raciales, evaluadas en tres localidades.	60 <sup>a</sup>
Cuadro 3.7	Rendimiento de grano de poblaciones de maíz de grano rojo, sobresalientes por grupos de variantes raciales, evaluadas en tres localidades.	60 <sup>a</sup>
Cuadro 3.8	Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> ) de maíz entre grupos de variantes raciales de poblaciones azules y rojas evaluadas en tres localidades.	62
Cuadro 4.1	Ubicación geográfica y características climáticas de la localidad donde se estableció el experimento de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.	79
Cuadro 4.2	Promedios de proteína, triptófano y lisina por grupo de variantes raciales en 108 poblaciones con grano de color azul y en 61 poblaciones de color rojo.	83
Cuadro 4.3	Poblaciones de maíz con grano azul y rojo, sobresalientes en calidad de proteína.	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Dispersión y caracteres morfológicos de 108 poblaciones de maíz de grano azul, en el plano determinado por los dos primeros componentes principales evaluadas en tres localidades.	25
Figura 2.2	Dispersión y caracteres morfológicos de 61 poblaciones de maíz de grano rojo, en el plano determinado por los dos primeros componentes principales evaluadas en tres localidades.	27
Figura 2.3	Dendrograma de 108 poblaciones de maíces de grano azul utilizando los promedios de 20 caracteres morfológicos.	29
Figura 2.4	Dendrograma de 61 poblaciones de maíces de grano rojo utilizando los promedios de 21 caracteres morfológicos.	30
Figura 4.1	Localizaciones cromosómicas de los diferentes genes de zeína, opacos y harinosos.	76
Figura 4.2	Distribución de la variación de proteína total en 108 poblaciones maíces de grano color azul.	84
Figura 4.3	Distribución de la variación de triptófano en 108 poblaciones maíces de grano color azul.	85
Figura 4.4	Distribución de la variación de lisina en 108 poblaciones maíces de grano color azul.	85
Figura 4.5	Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con grano de azul y rojo en intervalos de contenido de proteína total.	86
Figura 4.6	Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con grano de azul y rojo en intervalos de contenido de triptófano.	87
Figura 4.7	Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con grano de azul y rojo en intervalos de contenido de lisina.	88

## DIVERSIDAD GENÉTICA, POTENCIAL AGRONÓMICO Y DE CALIDAD EN MAÍCES PIGMENTADOS DE VALLES ALTOS DE MÉXICO

Marco Antonio García Perea, Dr. e-mail: [markovan15@gmail.com](mailto:markovan15@gmail.com)

### RESUMEN GENERAL

México cuenta con una gran diversidad genética de maíz que es manejada y conservada por pequeños productores que cultivan tradicionalmente un mosaico de variantes, entre estas se encuentran maíces con granos de color azul y rojo, a los que se les han conferido características nutraceuticas por su contenido de antocianinas y calidad de proteína, además de su sabor. Las estrategias de conservación y aprovechamiento *in situ* de la diversidad genética del maíz requieren valorar tanto la diversidad como al potencial para incrementar la producción y calidad bajo el esquema de la agricultura tradicional, como punto de referencia. Se consideró estudiar la diversidad genética particularizando en las variantes de maíz nativo con granos de color azul y rojo de los Valles Altos del Centro-Sur de México, con base en caracteres morfo-agronómicos. Durante 2009 se colectaron 108 poblaciones de maíz azul y 61 de maíz rojo del Sureste del Estado de México, la Mixteca Oaxaqueña, la Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, entre otros. Se establecieron dos experimentos uno con las poblaciones de maíz azul y otro con las de color rojo en tres ambientes, y se registraron 28 caracteres para valorar la diversidad entre poblaciones, el potencial agronómico y la calidad de proteína. Se realizaron análisis de varianza, multivariados de componentes principales y conglomerados, los cuales indican que las poblaciones de maíces azules y rojos que se estudiaron, pueden agruparse, en primera instancia, en variantes de las razas: Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, integrándose en complejos raciales por áreas geográficas. Para rendimiento de grano existió fuerte interacción genotipo x ambiente. Las poblaciones Mixteco azules obtuvieron los mejores rendimientos en promedio con 3608 kg ha<sup>-1</sup>, para el caso de las poblaciones de grano color rojo, fueron los Chalqueño-Celaya con 4193 kg ha<sup>-1</sup>. Las poblaciones 91 (azul) y 45 (rojo) del grupo Mixteco y Chalqueño-Celaya fueron las que mayor rendimiento obtuvieron con 8213 y 6614 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Las poblaciones Chalqueño azules tuvieron en promedio mayor contenido de triptófano con 0.068 % y las de rojo en los grupos Chalqueño, Cónico y Mixteco resultaron con mayor contenido de lisina 0.349, 0.352 y 0.346 %, respectivamente. Se identificó a las poblaciones 13, 40, 58, 70 y 76, como maíces con alta calidad proteica, con valores superiores de triptófano a 0.078 % y lisina a 0.402 %. En las poblaciones estudiadas existe una gran diversidad genética representada en variantes de color de grano azul y rojo, de manera homóloga a la clasificación racial que se conoce para las poblaciones de grano blanco o amarillo, a su vez, éstas cuentan con un alto potencial de rendimiento de grano y calidad de proteína; esta última se debe a varios genes que la determinan y que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos. Todo esto y más se puede trabajar en mejoramiento genético participativo y con ello mejorar la alimentación y situación económica de agricultores tradicionales de México.

**Palabras clave:** *Zea mays*, diversidad genética, maíces nativos pigmentados, potencial agronómico, calidad de proteína, Valles Altos.

## GENETIC DIVERSITY, AGRONOMIC POTENTIAL AND OF QUALITY IN PIGMENTED MAIZE OF MEXICO'S HIGH VALLEYS

Marco Antonio García Perea, Dr. e-mail: [markovan15@gmail.com](mailto:markovan15@gmail.com)

### GENERAL SUMMARY

Mexico has a high genetic diversity of maize which is handled and preserved by smallholders who traditionally grow a mosaic of variants; among them there are maize with blue and red grains, which have been conferred with nutraceutical characteristics because of their anthocyanins content and quality of protein, besides its flavor. The strategies for conservation and *in situ* use of genetic diversity of maize's require to assess both the diversity as well as the potential to increase production and quality under the scheme of traditional agriculture as a reference point. It was considered to study the genetic diversity particularizing on Central-Southern Mexico's high valleys native maize variants with blue and red grains, based on morpho-agronomic characters. During 2009, there were collected 108 blue maize populations and 61 red maize populations from the Southeast of the State of Mexico, the Mixteca region of Oaxaca, Guerrero's mountain region, South-Central Hidalgo, among others. There were two experiments carried out in three locations, one with the blue grains populations and the other with red grain populations, and there were recorded 28 characters in order to assess diversity among populations, agronomic potential and quality of protein. Analysis of variance, multivariate principal component and conglomerates were performed, which indicate that populations under study of blue and red maize can be grouped first of all in variants of the races: *Chalqueño*, *Cónico*, *Mixteco* and *Ancho*, with influence of others like *Pepitilla*, *Celaya*, *Bolita*, *Tabloncillo* and *Arrocillo*; integrating themselves into racial complexes by geographic regions. For grain yield there existed a strong genotype x environment interaction. Blue *Mixteco* grain populations obtained the best yields on average with 3608 kg ha<sup>-1</sup>, for the case of red grain populations there were the *Chalqueño-Celaya* with 4193 kg ha<sup>-1</sup>. Populations 91 (blue) and 45 (red) of *Mixteco* and *Chalqueño-Celaya* groups were the ones which obtained the highest yield with 8213 and 6614 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Blue grain *Chalqueño* populations have on average higher tryptophan content with 0.068 %, and red grain populations in *Chalqueño*, *Cónico* and *Mixteco* groups turned out to have the highest content of lysine with 0.349, 0.352 and 0.346 %, respectively. Populations 13, 40, 58, 70 and 76 were identified with tryptophan (0.078 %) and lysine (0.402 %) higher values, considered as high quality protein maize. In the populations under study there exist a great genetic diversity represented in blue and red grain color variants, in the same way as the racial classification known for white or yellow grain populations, in turn these have a high potential for grain yield and quality of protein, the latter is due to several genes that determine it and which are found in the different alleles of maize diversity. All this and more can be worked on participative genetic improvement and thereby improve Mexico's traditional farmers' diet and economic situation.

**Keywords:** *Zea mays*, genetic diversity, pigmented native maize, agronomic potential, protein quality, high valleys.

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

A partir del momento evolutivo en que aparece el maíz, el hombre mesoamericano escogió las mejores semillas para reproducir y mejorar este cereal. Durante casi seis milenios seleccionó, de manera sistemática, las mejores semillas como progenitoras. Así modificó, en su beneficio, el proceso evolutivo de esta especie, logrando como resultado la planta de maíz que hoy se conoce con variantes adaptadas a casi todo el mosaico ecológico y cultural de México. La historia del maíz ha estado ligada simbióticamente a la historia del hombre de Mesoamérica a tal grado que, actualmente, el maíz no puede reproducirse sin la acción del hombre, y a su vez, el campesino tradicional basa en él su subsistencia. Aunque, paradójicamente, hoy se tiene que importar cada vez en mayores volúmenes.

El maíz es uno de los tres cereales más importantes en la alimentación humana. Se reconoce que el maíz se originó y domesticó en Mesoamérica (Matsuoka *et al.*, 2002; Doebley, 2004; Kato *et al.*, 2009), y su diversidad genética en México se ha estudiado y clasificado en más de 59 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 2000). De los 7.5 millones de hectáreas que se cultivan de maíz en México, el 80 % se siembra con semillas de variedades nativas (criollas), con lo que se puede afirmar que gran parte de la diversidad genética original se conserva *in situ*.

Para la clasificación de morfotipos de maíz se ha aplicado el concepto de raza, que es definido como un conjunto de individuos con suficientes características en común que permiten su reconocimiento como grupo (Anderson y Cutler, 1942) ya que comparten un

número significativo de genes. Actualmente la clasificación por taxonomía numérica usando caracteres agronómicos, fisiológicos y morfológicos es una de las herramientas de mayor utilidad para integrar la variación multivariada de los atributos y conocer las interrelaciones entre las variantes del maíz (Castillo, 1993).

La variación genética está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales de producción, así como con la diversidad de usos que se da al maíz, especialmente al grano (Hernández y Esquivel, 2004). El conocimiento de la variación morfológica y genética, su relación con el ambiente y el impacto social determinan la estrategia de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética del maíz (Castillo, 1993; Ortega *et al.*, 1991).

En décadas recientes se ha abordado el estudio de la diversidad genética del maíz en el nivel de microregión, encontrándose que los productores locales manejan un complejo de variantes raciales y tipos dentro de raza; tal diversidad es dinámica debido a que los agricultores responden a las condiciones del mercado local, y sus tipos de maíz presentan atributos diferenciales que le permiten sortear lo azaroso de las condiciones climáticas. En el Altiplano mexicano, en la parte oriental del estado de México, se cultivan principalmente poblaciones de la raza Chalqueño, siendo dos de sus tipos el de color azul (elotes chalqueños) y el de color rojo (xitocle); además de las razas Cacahuacintle y Ancho (Herrera *et al.*, 2004). En la Península de Yucatán se cultivan en una misma localidad tres razas y la sequía intraestival es un factor importante para planear las siembras. Sin embargo, los maíces con granos de color azul o rojo en los estudios de diversidad genética han sido en ocasiones soslayados o en otros casos sobrestimados. En general las poblaciones de maíz

presentan un patrón básico dentro de variantes raciales con base a color de grano (blanco, amarillo, azul y rojo, principalmente) que cambian en proporciones de acuerdo con las regiones: mayor frecuencia de maíces azules en las partes altas (Herrera *et al.*, 2004) y menor en tierras bajas (Arias *et al.*, 2004).

No obstante la gran variación presente en el maíz, los programas de mejoramiento genético y la producción descansan en un número reducido de líneas y variedades. De las casi 300 razas reconocidas en América Latina, menos de 10 % están representadas en forma importante en los programas de mejoramiento actuales en el Mundo (Goodman, 1991). En México, la inmensa riqueza contenida en sus poblaciones nativas de maíz representa posibilidades inmensas para la selección y recombinación de recursos genéticos de maíz en diferentes regiones y problemas del cultivo en el país (Ortega, 1985). La variación genética permite integrar poblaciones de amplia base genética, las cuales sirven como material base en los programas de mejoramiento genético para incrementar el rendimiento y caracteres agronómicos de interés, si son incorporados a nuevas variedades mejoradas sintéticas o híbridos (García *et al.*, 2002). Sin embargo, el uso real de la variación genética es muy limitado, pues de las 59 razas de maíz reportadas solamente se utilizan cuatro en mejoramiento genético: Chalqueño en la Mesa Central, Tuxpeño en el Trópico seco y húmedo, Cónico para zonas con problemas pluviales de la Mesa Central, y Celaya para El Bajío y zonas similares (Márquez, 2005).

Para abordar a la conservación de la diversidad *in situ* con apoyo científico, se ha planteado que se requiere desarrollar estrategias que permitan la elevación de la productividad y la calidad, más la búsqueda de aprovechamientos alternativos, para ofrecer

al agricultor opciones que le permitan mejorar sus estándares y calidad de vida, al mismo tiempo que se conserva la diversidad genética. Para ello, el punto de partida es la variación para el potencial, tanto de rendimiento, como para otros atributos que se presenta en las poblaciones de maíz locales. Tal variación es diferencial entre razas, entre tipos dentro de raza, entre poblaciones (la semilla de cada agricultor), y las diferencias entre plantas dentro de cada población.

Para el oriente del estado de México, se ha demostrado experimentalmente que aplicando esquemas de evaluación y selección, entre y dentro de poblaciones, en campo y con los agricultores, se puede aumentar el rendimiento en 25 % en un periodo de 4 a 5 años (Herrera, 1999; Castillo *et al.*, 2000). Además de la variación para productividad, se ha observado variación para calidad en aspectos relacionados con tecnología de tortilla, pozole y tamales (Cázares, 2004; Ileana Núñez, comunicación personal).

La calidad de la alimentación ha sido una preocupación de la sociedad, y en relación al maíz se han dedicado esfuerzos para aprovechar al gene opaco-2 (*o2*), que le confiere al grano una mejor calidad de proteína; así como su combinación con otros granos (como el amaranto) para tener aportes semejantes a los de otras fuentes. Una característica desventajosa en la utilización de los genes *o2* y otros mutantes ha sido la asociación con susceptibilidad a plagas y enfermedades y bajo rendimiento, principalmente; en contraparte, las poblaciones de maíz nativo son estables y de cultivo persistente.

Se han descrito al menos 18 mutantes que causan un fenotipo de grano suave y endospermo amiláceo, como los tipos opacos (*op*), harinosos (*fl*), mucuronate (*Mc*), y

endospermo defectuoso B30 (*DeB30*) (Thompson y Larkins, 1994). Varias de estas mutaciones han sido identificadas como causantes de la reducción en la síntesis de zeína. Unos de éstos, son *o2* y harinoso-2 (*fl2*) que provocan una reducción de aproximadamente 50 % de la proteína zeína, en comparación con los genotipos normales (Tsai *et al.*, 1978).

No obstante el reconocimiento de los mutantes *o2* y *fl2* como importantes en el mejoramiento de la calidad de proteína del endospermo del maíz, ha sido reconocida también la presencia de otros genes, no identificados con precisión, que determinan gran variabilidad en el contenido de aminoácidos esenciales en poblaciones que no poseen los mutantes mencionados y que actúan no solamente por sí solos, sino también de manera aditiva cuando están presentes *o2* y *fl2*. Otros genes con similares efectos sobre la calidad de las proteínas existen en el maíz, pero los intentos de mejorar la calidad de proteína de maíz se han basado principalmente en el uso del gen *o2* y en germoplasma modificado de *o2*.

La calidad de proteína se debe a varios genes que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos. En la naturaleza los alelos “mutantes” se generan y distribuyen de manera aleatoria; y las “fuentes” de calidad pueden presentarse en las diferentes regiones donde se produce maíz.

Siendo los genes producto de la evolución de las poblaciones de una especie, en el caso de maíz se han hecho estudios exploratorios para conocer la variación de la calidad de la proteína entre razas (Cervantes y Hernández 1989) así como entre poblaciones nativas dentro de raza (Núñez, comunicación personal). Se ha observado de manera preliminar que

existe variación para calidad de proteína en los porcentajes de lisina y triptófano en las poblaciones nativas cultivadas por los agricultores; para el caso del oriente del estado de México, un grupo de poblaciones de maíz Chalqueño azul presentó en promedio 35 % más triptófano y 10 % más lisina que otras variantes locales, con variación entre poblaciones. Cázares (2004) e Interián (2005) observaron también variación entre poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

Por otra parte, las poblaciones de maíz con grano de color azul y rojo (mencionados en este trabajo como maíces azules y rojos) principalmente, han llamado de manera importante la atención del medio científico por su contenido de antocianinas; compuestos que coadyuvan a la buena salud humana y al mejoramiento del aprovechamiento de la alimentación, por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, con efectos que contrarrestan a la obesidad. Esta propiedad ha generado expectativas en cuanto a una opción relevante en el aprovechamiento de la diversidad genética de los maíces nativos.

Teniendo los maíces azules atributos que parecen indicar una mejor calidad de proteína, y al mismo tiempo la presencia de antocianinas, este tipo de maíz se constituye en candidato para estudiarlo de manera integral desde el punto de vista científico, al mismo tiempo que se valora su potencial para mejorar la calidad de la alimentación de la población mexicana y las opciones que pudiera generar al mejorar los ingresos de los productores de maíz nativo.

Se plantea entonces el estudio de poblaciones de maíz pigmentado en el Altiplano Mexicano. A este tipo de maíz porque potencialmente presenta atributos de mejor calidad para la alimentación y porque se pueden generar elementos que permitan el desarrollo de la agroindustria; y en el Altiplano Mexicano porque existe mayor frecuencia de poblaciones de maíces pigmentados en altitudes elevadas con respecto a regiones bajas de México.

En esta diversidad genética se encuentran características y propiedades inherentes a las variedades, poco exploradas y caracterizadas, que representan un valor agregado potencial para su aprovechamiento agroindustrial, que le agregaría valor a sus productos derivados; la utilización de estos recursos genéticos beneficiarían a los agricultores de manera directa y aportarían elementos al desarrollo agroindustrial mexicano.

## **1.1 HIPÓTESIS**

- En los Valles Altos existe una amplia diversidad genética en las poblaciones de maíces nativos con grano de color azul y rojo.
- En la diversidad genética de los maíces nativos existe potencial de rendimiento de grano y calidad de proteína y estos varían en un intervalo amplio en poblaciones nativas de maíces pigmentados de Valles Altos de México.

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo general

- Valorar la diversidad genética de maíces nativos de color de grano azul y rojo de Valles Altos del Centro-Sur de México, de manera integral por medio de caracterización morfológica y su valoración para potencial de rendimiento de grano y calidad de proteína. Con ello será posible plantear estrategias de conservación y aprovechamiento de las poblaciones de maíz estudiadas en este trabajo, como una opción para mejorar de la calidad de vida y salud de los agricultores tradicionales de México.

### Objetivos específicos

1. Valorar la diversidad genética de 108 poblaciones de maíz con grano de color azul y 61 de color rojo colectadas en Valles Altos de México, con base en caracteres morfo-agronómicos
2. Determinar el potencial agronómico de 169 poblaciones de maíz con grano de color azul y rojo con base en agrupaciones de variantes raciales por color de grano y poblaciones individuales.
3. Explorar en 169 poblaciones de maíces azules y rojos su potencial de calidad de proteína con base en agrupaciones de variantes raciales por color de grano y poblaciones individuales por medio de cuantificar proteína total, triptófano y lisina.

### 1.3 BIBLIOGRAFÍA

- Anderson E, H C Cutler (1942)** Races of *Zea Mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 29: 69-89.
- Arias L, D Jarvis, D Williams, L Latournerie, F Márquez, F Castillo, P Ramírez, R Ortega, J Ortiz, E Sauri, J Duch, J Bastarrachea, M Guadarrama, E Cázarez, V Interián, D Lope, T Duch, J Canal, L Burgos, T Camacho, M González, J Tuxill, C Eyzaguirre, V Cob (2004)** Conservación *in situ* de la biodiversidad de las variantes locales en la milpa de Yucatán, Méx. *In: Chávez-Servia J L, J Tuxill, D I Jarvis (eds.) (2004)* Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. IPGRI Cali, Colombia. pp. 38-46.
- Castillo G F (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *In: Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica*. México. No. especial 69-79 pp.
- Castillo G F, L M Arias, R Ortega P and F Márquez S (2000)** Participatory breeding, seed networks and grassroot strengthening. Mexico. *In: D. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears (Eds.), Conserving agricultural diversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture*. IPGRI, Rome, Italy. Proceedings of a workshop. Pockara, Nepal. 1-12 July, 1999.
- Cázarez S E (2004)** Diversidad genética y su relación con la tecnología de alimentos tradicionales. Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 132 p.
- Cervantes S T y Hernández C J M (1988)** Clasificación de razas mexicanas por características químicas del grano. *Agrociencia* 74: 169-183.
- Doebley J F (2004)** The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38: 37-59.

- García Z J, J Molina G, J López R (2002)** La selección masal como método para obtener líneas de alta aptitud combinatoria específica en maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:299-304.
- Goodman M M (1991)** Retos y perspectivas para el fitomejoramiento futuro: uso del germoplasma y de la genética molecular. *Revista Fitotecnia Mexicana* 14:11-22.
- Hernández C J M, G Esquivel E (2004)** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (Núm. Esp. 1):27-31.
- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Herrera C B E (1999)** Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis D. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 141p.
- Interián K V M (2005)** Asociación de la diversidad genética de los cultivos de la milpa con los sistemas agrícolas y factores socioeconómicos en el centro – oriente de Yucatán. Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 88p.
- Kato Y T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 pp.
- Márquez S F (2005)** Consideraciones generales sobre el mejoramiento de maíces criollos. *In:* Mem. Primera Reunión de Mejoradores de Variedades Criollas de Maíz en México. L F Márquez O (ed). Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22-23 Sep. 2005. Centro Regional Universitario, Universidad Autónoma Chapingo. SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. pp:153-162.

**Matsuoka Y, Vigouroux M Y, Goodman M, Sánchez G J, Buckler E and Doebley J (2002)**

A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 99: 8060-8064.

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

**Ortega P R (1985)** Recursos genéticos para el mejoramiento de maíz en México. Primera parte: Análisis general. Boletín de intercambio técnico y científico de la SOMEFI. Germen 3:19-36.

**Thompson G and Larkins B A (1994)** Characterization of zein genes and their regulation in maize endosperms. In The Maize Handbook, M. Freeling and V. Walbot, eds (Berlin: Springer-Verlag), pp. 639–646.

**Tsai C Y, Larkins B A, and Glover D V (1978)** Interaction of the opaque-2 gene with starch-forming mutant genes on the synthesis of zein in maize endosperm. Biochem. Genet. 16, 883-896.

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

**Wellhausen E, L Roberts, E Hernández X (1951)** Razas de maíz en México; su origen, características y evolución. O.E.E., SAG, México, D.F. 237 pp.

## CAPITULO II

### DIVERSIDAD GENÉTICA DE MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

#### RESUMEN

En la descripción de la diversidad del maíz en México se ha considerado a los maíces con granos de color azul y rojo con algunas imprecisiones. Tomando como referencia que en las comunidades se cultiva maíz con un patrón de poblaciones de grano blanco, amarillo, azul y rojo, principalmente, se consideró estudiar la diversidad genética particularizando en las variantes del maíz nativo con granos de color azul y rojo de los Valles Altos del Centro-Sur de México, con base en caracteres morfo-agronómicos. Durante el 2009 se colectaron 108 poblaciones de maíz azul y 61 de maíz rojo del Sureste del Estado de México, la Mixteca Oaxaqueña, la Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, entre otros. Se establecieron dos experimentos uno con las poblaciones de maíz azul y otro las de color rojo en tres ambientes, y se registraron 28 caracteres para valorar la diversidad entre poblaciones. Con el cálculo de los componentes de varianza se obtuvieron los valores de repetibilidad " $r$ " =  $[\sigma_p^2 / (\sigma_l^2 + \sigma_{pl}^2)]$ , para elegir los caracteres apropiados para la clasificación racial de las poblaciones en estudio, con " $r$ "  $\geq 3$ . Con 21 caracteres elegidos se realizaron análisis multivariados de componentes principales y de conglomerados; los cuales indican que las poblaciones de maíces azules y rojos que se estudiaron, de los Estados de México, Distrito Federal, Puebla, Michoacán, Guerrero, Hidalgo y Oaxaca, pueden agruparse en primera instancia en variantes de las razas; Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras, como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, integrándose en complejos raciales por áreas geográficas. Las evidencias experimentales muestran la existencia de una importante diversidad genética de maíces nativos azules y rojos que es manejada y conservada por los agricultores de las regiones exploradas, que en general se presentaron como variantes de color de grano azul o rojo, de manera homóloga a la clasificación racial que se conoce para las poblaciones de grano blanco o amarillo.

**Palabras clave:** *Zea mays*, diversidad genética, maíces nativos pigmentados, Valles Altos.

## GENETIC DIVERSITY OF PIGMENTED NATIVE MAIZE OF MEXICO'S HIGH VALLEYS

### SUMMARY

In describing Mexico's maize diversity, blue and red maize grains have been considered with some imprecisions. Taking as reference that in some communities there is cultivated maize with a pattern of white, yellow, blue and red grain, mainly, it was considered to study the genetic diversity particularizing on Central-Southern Mexico's high valleys native maize variants with blue and red grains, based on morpho-agronomic characters. During 2009, there were collected 108 blue maize populations and 61 red maize populations from the Southeast of the State of Mexico, the Mixteca region of Oaxaca, Guerrero's mountain region, South-Central Hidalgo, among others. There were two experiments carried out in three locations, one with the blue grains populations and the other with red grain populations, and there were recorded 28 characters in order to assess diversity among populations. Estimations of variance components allowed the assessment of repeatability values " $r$ " =  $[\sigma_p^2 / (\sigma_l^2 + \sigma_{pl}^2)]$ , in order to choose the appropriate characters for racial classification of the populations under study, with " $r$ "  $\geq 3$  values. With 21 selected characters, principal component multivariate and conglomerate analysis were performed; which indicate that populations under study of blue and red maize from Mexico City and the states of México, Puebla, Michoacán, Guerrero, Hidalgo and Oaxaca, can be grouped first of all in variants of the races: *Chalqueño*, *Cónico*, *Mixteco* and *Ancho*, with influence of others like *Pepitilla*, *Celaya*, *Bolita*, *Tabloncillo* and *Arrocillo*; integrating themselves into racial complexes by geographic regions. Experimental evidences show the existence of an important genetic diversity of native blue and red grain maize which is handled and preserved by farmers from the explored regions, which in general are represented in blue and red grain color variants, in the same way as the racial classification known for white or yellow grain populations.

**Keywords:** *Zea mays*, genetic diversity, pigmented native maize, high valleys.

## 2.1 INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los tres cereales básicos que alimentan a la humanidad (FAO, 2011). Se reconoce que su origen, domesticación y diversificación inicial ocurrió en las montañas y Valles de México, por la intervención de los antiguos pobladores de este territorio en un proceso coevolutivo que condujo a la formación de una de las plantas cultivadas de mayor diversidad genética, cuya riqueza aún se mantiene y evoluciona en este país, principalmente por el manejo de los productores del medio rural (Kato *et al.*, 2009). Anderson (1946) mencionó que el maíz en México es extremadamente variable y manifiesta que con frecuencia en un solo poblado de México existen tantos tipos de maíz como en todos los Estados Unidos, y aún más cuando se va a otro poblado en otra parte de México se puede encontrar otro grupo de variedades diferentes al anterior. La diversidad genética del maíz en México se ha estudiado y clasificado en al menos 59 razas (Wellhausen, *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 2000). De los más de ocho millones de hectáreas que se cultivan de maíz en México, más de 80 % se siembra con semillas de variantes nativas (o criollos), por lo que se puede afirmar que gran parte de la diversidad genética original se conserva *in situ*, y se encuentra en evolución bajo domesticación, con el dinamismo que imprimen los cambios socio-culturales y climáticos.

Para la clasificación de morfotipos de maíz se ha aplicado el concepto de raza, que es definido como un conjunto de individuos con suficientes características en común para permitir su reconocimiento como grupo (Anderson y Cutler, 1942), ya que comparten un número significativo de genes. Actualmente la clasificación por taxonomía numérica usando caracteres agronómicos, fisiológicos y morfológicos es una de las herramientas de mayor

utilidad para integrar la variación multivariada de los atributos y conocer las interrelaciones entre las variantes del maíz (Castillo, 1993).

Por otra parte, los maíces con granos de color azul y rojo han llamado la atención del medio científico por su contenido de antocianinas; compuestos que coadyuvan a la buena salud humana y al mejoramiento del aprovechamiento de la alimentación, por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, con efectos que contrarrestan a la obesidad (Aguilera *et al.*, 2011). En un estudio exploratorio de poblaciones de maíz nativos del Sureste del Estado de México en 1996 (datos no publicados) se observó la tendencia a presentar mayor porcentaje de lisina y triptófano en los granos de maíz azul de la raza Chalqueño en comparación con poblaciones de granos de otro color (blanco, amarillo) del tipo Chalqueño de la misma región. En este mismo sentido, otros estudios indican que al igual que el maíz QPM, el maíz azul contiene una fuente más completa de proteínas que los maíces blanco y amarillo (Dickerson y Holocomb, 1992; Johnson y Jha, 1996; Vera *et al.*, 2012).

El aprovechamiento de estas propiedades nutraceuticas en los maíces pigmentados ha generado expectativas; sin embargo, los maíces azules o rojos en los estudios de diversidad genética han sido en ocasiones soslayados o en otros casos sobrestimados. En general las poblaciones de maíz presentan un patrón básico dentro de variantes raciales con base a color de grano (blanco, amarillo, azul y rojo, principalmente) que cambian en proporciones de acuerdo con las regiones: mayor frecuencia de maíces azules en las partes altas (Herrera *et al.*, 2004) y menor en tierras bajas (Arias *et al.*, 2004). Con el propósito de valorar la diversidad genética del maíz con granos azules y rojos en el Altiplano de México,

se colectaron 169 poblaciones de siete estados del Centro-Sur de México, como fase inicial para dimensionar la presencia y patrones de variación morfo-agronómica en el altiplano mexicano.

## **2.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

**2.2.1 El material genético** utilizado en este estudio consistió de un conjunto de 169 poblaciones de maíces nativos de granos pigmentados de las cuales 108 fueron con grano de color azul y 61 con grano de color rojo (Figuras 2.3 y 2.4), colectadas a principios de 2009 en zonas altas del Sureste del Estado de México, Sur del Distrito Federal, La Mixteca de Oaxaca, La Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, Noroeste de Puebla y Zona Centro de Michoacán. Cada población estuvo representada por 30 mazorcas o bien por 3 kg de semilla.

### **2.2.2 Ubicación de los experimentos**

Se establecieron los experimentos en campo en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2009 en tres localidades: Montecillo, Estado de México, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados; Ayapango, Estado de México, en la parcela comunal de la escuela primaria del ejido; y en Mixquiahuala, Hidalgo, en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH); la ubicación geográfica y características climáticas de las localidades se presentan en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1.** Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.

Localidad	Estado	Altitud <sup>*</sup> (msnm)	Latitud Norte <sup>*</sup>	Longitud Oeste	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)	Clima <sup>**</sup>	Tipo de suelo
Ayapango	Edo.Méx.	2436	19° 08' 09.08"	98° 48' 27.61"	12.0	900	C(w <sub>2</sub> ')(w)big	Regosol
Montecillo	Edo.Méx.	2248	19° 28' 06.70"	98° 53' 54.84"	15.9	686	C(w <sub>1</sub> )(w)b(i')g	Vertisol
Mixquiahuala	Hidalgo	2006	20° 12' 11.41"	99° 13' 18.59"	17.0	509	BS <sub>1</sub> kw"(w) (i')g	Redzina

(\* ) *Google Earth, 2012*; (\*\* ) *García, E. (1988)*

### 2.2.3 Diseño y parcela experimental

Las poblaciones se clasificaron por color de grano para establecer dos experimentos, uno con el conjunto de 108 poblaciones de maíz con grano azul y otro con las 61 poblaciones de grano rojo. Las poblaciones fueron arregladas en un 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 0.80 m entre surcos (0.85 m en Ayapango). Se sembraron tres semillas cada 0.5 m, y después de cinco semanas se ajustó a dos plantas; la densidad de población fue de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup> (47,059 plantas ha<sup>-1</sup> en Ayapango).

### 2.2.4 Manejo agronómico de los experimentos

En los tres ambientes la siembra se realizó manualmente; en la localidad de Ayapango la siembra se realizó el 9 de mayo en condiciones de humedad residual, sin la aplicación de fertilizantes. En Montecillo se sembró el 5 de mayo, en suelo seco y el riego se aplicó inmediatamente después de sembrar. En Mixquiahuala se sembró el 30 de mayo, con un riego de presiembra. En Montecillo y Mixquiahuala, no existió restricción de humedad por la

aplicación de riego durante el cultivo y se fertilizó con una dosis de 120N-80P-00K. En las tres localidades se realizaron las labores culturales conforme al manejo convencional de los productores de cada región. El control de maleza se realizó manualmente y no se hicieron aplicaciones de químicos para plagas y enfermedades. Se registraron 28 caracteres entre vegetativos, agronómicos, de panoja, de mazorca y de grano (Cuadro 2.2). Los caracteres de panoja y el número de hojas en la planta sólo fueron medidos en Montecillo, debido a la accesibilidad práctica, dado el alto requerimiento de trabajo involucrado.

### 2.2.5 Análisis estadístico

Se efectuó análisis de varianza combinado y se estimaron los componentes de varianza de  $\sigma_p^2$  = entre poblaciones,  $\sigma_l^2$  = entre localidades y  $\sigma_{pl}^2$  = la interacción población por localidad. Se realizaron estimaciones de los valores de repetibilidad "r" para los caracteres medidos por medio de "r" =  $[\sigma_p^2 / (\sigma_l^2 + \sigma_{pl}^2)]$ , con base en el criterio propuesto por Goodman y Paterniani (1969), y aplicado por Sánchez *et al.* (1993). Se consideró que los caracteres apropiados para la clasificación racial fueron aquellos con valores de repetibilidad "r"  $\geq 3$ . Por medio del análisis multivariado de componentes principales a partir de la matriz de correlaciones (SAS Institute, 2002), se obtuvo la estructura de la matriz de correlaciones de cada componente principal (prin)<sub>i</sub> con cada variable original (var orig)<sub>j</sub>, la gráfica de Gabriel y el análisis de la relevancia de cada variable. La alta correlación entre algunas variables afines, valoradas con estos análisis, permitió descartar algunos caracteres por presentar colinealidad fuerte.

Para la taxonomía, una vez definidos los caracteres apropiados (20 en azules y 21 en rojos, Cuadro 2.2), se aplicó nuevamente el análisis de componentes principales por separado para poblaciones de grano azul y rojo, lo que permitió conocer qué variables fueron las determinantes para describir los patrones de variación fenotípica, en la dispersión gráfica de las poblaciones en el plano construido por los primeros dos componentes principales y con la superposición de la representación de la estructura de la correlación en la gráfica de Gabriel. Para sobreponer la dispersión de las poblaciones y la gráfica de Gabriel, se multiplicó por 10 a las correlaciones y así poder representarlas como vectores (Figuras 2.1 y 2.2). Por medio del análisis de conglomerados a partir de las variables transformadas a la normal estándar y aplicar el método de agrupamiento por promedios de grupos (UPGMA) se obtuvieron los dendrogramas. Se tomó la distancia en la que se presentó el punto de inflexión en la curva del coeficiente de correlación como criterio para determinar el punto de corte en los dendrogramas para la formación de grupos (SAS Institute, 2002).

### 2.3 RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los valores más bajos de " $r$ "  $\leq 1$  correspondieron a caracteres vegetativos y agronómicos en los dos experimentos. Los valores medios de " $r$ " ( $> 1$  y  $< 3$ ) fueron para longitud de mazorca, porcentaje de grano y olote y número de granos por hilera. Los caracteres que resultaron con valores de " $r$ "  $\geq 3$  en las poblaciones con grano azul (desde 4.056 hasta 17.871) fueron diámetro de mazorca, relación diámetro de mazorca/longitud de mazorca, diámetro de olote, relación diámetro de olote/mazorca, longitud de grano, ancho de grano, relación ancho/longitud de grano y número de hileras en la mazorca. Las poblaciones con grano de color rojo los valores de repetibilidad " $r$ "  $\geq 3$  estuvieron entre 3.079 a 21.661, los caracteres fueron los mismos ocho que para las de grano azul (Cuadro 2.2). Los caracteres antes mencionados se consideraron como los más apropiados para la clasificación racial a nivel de diversidad morfológica en este estudio.

**Cuadro 2.2.** Estimación de componentes de varianza y repetibilidad “r” en 108 poblaciones nativas de maíz con grano azul y en 61 poblaciones con grano rojo evaluadas en tres localidades.

Carácter	Azules				Rojos					
	$\sigma_p^2$	$\sigma_l^2$	$\sigma_{pl}^2$	r	$\sigma_p^2$	$\sigma_l^2$	$\sigma_{pl}^2$	r	r <sup>1</sup>	
Carácter agronómico										
x1	Floración masculina	48.579	190.141	6.084	0.248	27.862	253.896	7.983	0.106	0.767
Caracteres de panoja										
x2	Long panoja	—	—	—	—	—	—	—	—	1.010
x3	Long pedúnculo	—	—	—	—	—	—	—	—	1.208
x4	Long espiga central	—	—	—	—	—	—	—	—	0.972
x5	Long parte ramificada	—	—	—	—	—	—	—	—	4.219
x6	Pedúnculo/panoja	—	—	—	—	—	—	—	—	1.670
x7	Espiga central/panoja	—	—	—	—	—	—	—	—	0.559
x8	Parte ramificada/panoja	—	—	—	—	—	—	—	—	4.485
x9	Número espiguillas	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x10	Número de ramas	—	—	—	—	—	—	—	—	3.205
Caracteres vegetativos de la planta										
x11	Hojas arriba	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x12	Hojas abajo	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x13	Hojas totales	—	—	—	—	—	—	—	—	4.373
x14	Altura de planta	0.06120	0.18451	0.00793	0.318	0.03960	0.25717	0.00087	0.153	1.886
x15	Altura de mazorca	0.05954	0.18436	0.00812	0.309	0.03446	0.22089	0.00240	0.154	3.339
x16	Altura Mazorca/Planta	0.00139	0.00501	0.00007	0.275	0.01285	0.06465	-0.00201	0.205	0.734
Caracteres de mazorca										
x17	Long de mazorca	1.30905	0.25720	0.41768	1.940	2.1895	0.7580	0.5641	1.656	2.696
x18	Diámetro de mazorca	0.07109	0.00261	0.00797	6.718	0.0515	0.0024	0.0134	3.267	0.958
x19	Diámetro Mz/Long Mz	0.00082	0.00006	0.00014	4.056	0.0014	0.0002	0.0002	3.563	2.731
x20	Diámetro olote	0.03279	0.00010	0.00308	10.294	0.0211	0.0001	0.0068	3.079	2.857
x21	Diámetro olote/mazorca	0.00126	0.00001	0.00012	9.925	0.0011	0.0001	0.0002	4.360	1.222
x22	Porcentaje de grano	2.58507	1.10130	0.99677	1.232	4.4754	1.2928	1.1173	1.857	—
x23	Porcentaje de olote	2.58507	1.10130	0.99677	1.232	4.4754	1.2928	1.1173	1.857	—
Caracteres de grano										
x24	Long de grano	0.01441	0.00037	0.00135	8.372	0.01394	0.00126	0.00183	4.510	1.706
x25	Ancho de grano	0.00808	0.00000	0.00124	6.531	0.01807	-0.00007	0.00189	9.934	7.051
x26	Grano ancho/long	0.02057	0.00027	0.00088	17.871	0.03080	0.00086	0.00168	12.150	4.631
x27	Hileras en la mazorca	1.46129	0.03098	0.15903	7.690	2.46097	0.01027	0.10335	21.661	4.584
x28	Granos por hilera	5.93634	0.14723	1.89407	2.908	7.11018	0.66465	2.60491	2.175	—

$\sigma_p^2$ : varianza de poblaciones;  $\sigma_l^2$ : varianza de localidades;  $\sigma_{pl}^2$ : varianza de la interacción poblaciones por localidad; r<sup>1</sup>: valores de r de Sánchez *et al.*, 1993; Long: longitud; Mz: mazorca.

En general se observó que las variables que permitieron detectar diferencias entre poblaciones de maíces pigmentados azules y rojos fueron en su mayoría atributos morfológicos de las estructuras reproductivas femeninas; esto indica que sus expresiones son menos afectadas por factores ambientales así como por los efectos de interacción con el ambiente; lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Goodman y Paterniani (1969), Sánchez *et al.* (1993) y Herrera *et al.* (2000), quienes mencionan que los caracteres de mazorca, grano y panoja son los menos afectados por efectos ambientales, y por tal razón se utilizan con mayor frecuencia en los estudios de clasificación de la diversidad del maíz, mientras que los vegetativos son predominantemente afectados por efectos ambientales y los caracteres agronómicos tienen valores intermedios.

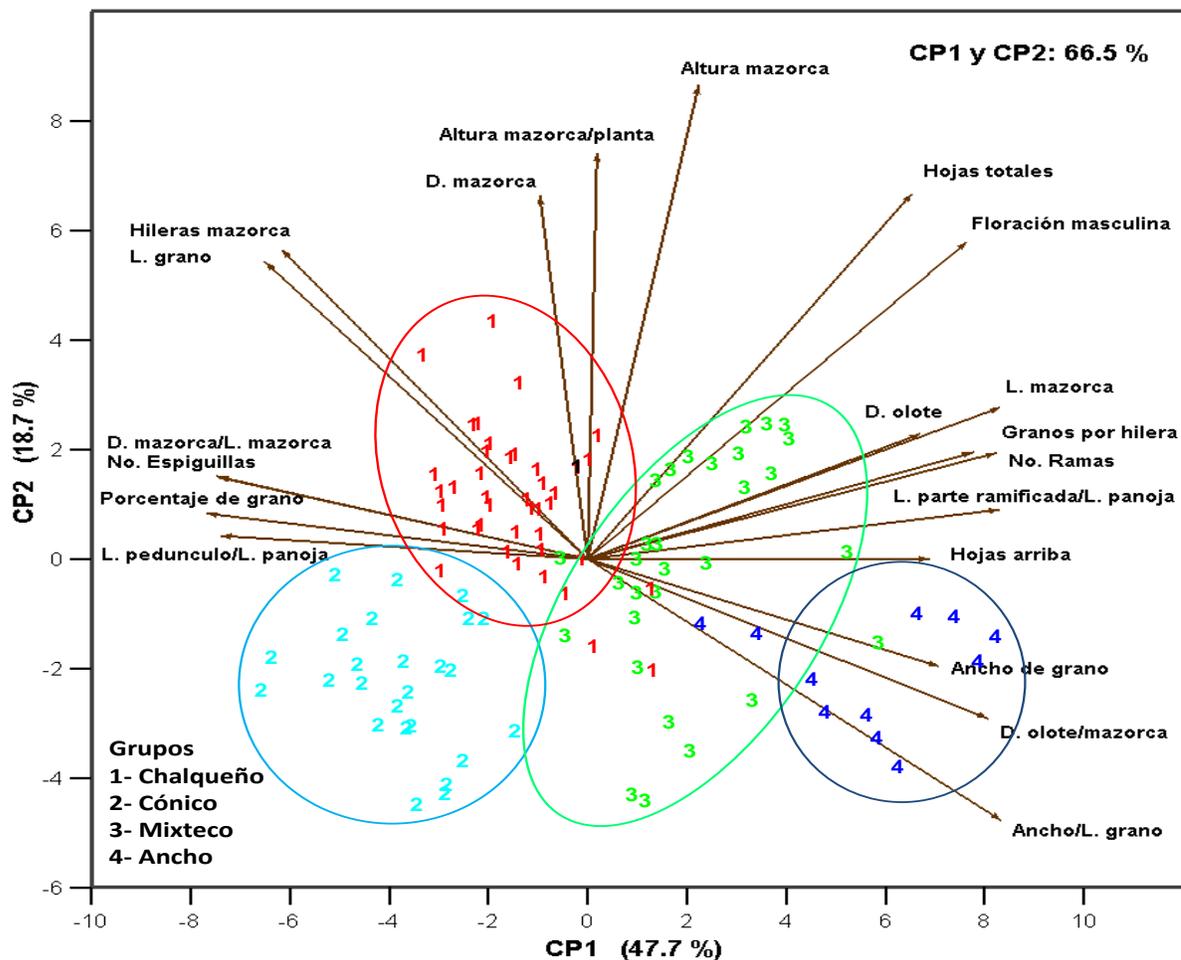
De 28 caracteres evaluados se descartaron 8 en los azules y 7 en los rojos. Al considerar los valores característicos de los dos primeros componentes principales, indican que la variación global determinada por las 20 dimensiones de la información original, explican 66.5 % en el experimento de poblaciones de maíz azul, y 65.2 % en el experimento de maíz rojo, con 21 dimensiones. Si se amplía a considerar a los primeros tres componentes principales, se estaría explicando 77.5 y 75.2 % de la variación global para azules y rojos, respectivamente (Cuadro 2.3). Es decir, los resultados de estos análisis permiten observar las diferencias – semejanzas del comportamiento de las poblaciones sobre pocas dimensiones, con la garantía de que no se omite información de manera importante.

**Cuadro 2.3.** Coeficientes de determinación entre cada una de las tres primeras componentes principales, valores característicos y las variables originales de la matriz de correlaciones de las medias para 20 caracteres de 108 poblaciones nativas de maíz de grano azul y 21 caracteres de 61 de grano rojo, evaluadas en tres localidades.

Variable	Azules			Rojos		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
x1 Floración masculina	* 0.7639	0.5789	-0.1016	0.6509	0.5888	0.0804
x6 L. Pedúnculo/panoja	*-0.7395	0.0423	0.1259	-0.5974	-0.2188	0.1330
x7 L. Espiga central/panoja	—	—	—	-0.6573	-0.1098	* 0.4154
x8 L. Parte ramificada/panoja	* 0.8296	0.0900	0.1909	* 0.8267	0.2465	-0.3213
x9 Número espiguillas	*-0.7434	0.1491	-0.0844	*-0.7790	0.0731	0.1034
x10 Número de ramas	* 0.8234	0.1936	0.1859	* 0.6737	0.3635	-0.3190
x11 Hojas arriba	0.6897	0.0000	0.3997	* 0.6894	0.2220	-0.3020
x13 Hojas totales	0.6531	* 0.6671	-0.0625	0.5134	* 0.7569	0.1545
x15 Altura de mazorca	0.2238	* 0.8649	-0.3400	-0.0405	* 0.8533	0.3980
x16 Altura Mazorca/Planta	0.0189	* 0.7415	-0.4658	-0.3077	* 0.7313	0.3817
x17 L. de mazorca	* 0.8315	0.2768	-0.1382	* 0.8782	0.1235	0.2039
x18 Diámetro de mazorca	-0.0965	* 0.6635	* 0.7086	-0.2277	0.6289	-0.3540
x19 Diámetro Mz/L. Mz	*-0.7457	0.1507	0.5557	-0.8749	0.1165	-0.3443
x20 Diámetro olote	0.6695	0.2282	0.4752	0.6053	0.0999	0.1975
x21 Diámetro olote/mazorca	* 0.8063	-0.2914	-0.0746	* 0.7494	-0.3644	* 0.4550
x22 Porcentaje de grano	*-0.7679	0.0829	-0.1668	*-0.8114	0.1996	-0.2979
x24 L. de grano	-0.6166	0.5650	0.4239	-0.6257	0.5582	*-0.4798
x25 Ancho de grano	* 0.7084	-0.1962	0.4807	* 0.7626	-0.1077	*-0.4733
x26 Grano ancho/L.	* 0.8328	-0.4772	0.0304	* 0.8809	-0.3631	-0.0723
x27 Hilera en la mazorca	-0.6490	0.5419	-0.0099	*-0.7740	0.3099	0.3083
x28 Granos por hilera	* 0.7762	0.1944	-0.3255	* 0.8013	0.3027	0.2789
<b>Valor característico</b>	<b>9.5461</b>	<b>3.7479</b>	<b>2.2075</b>	<b>9.9571</b>	<b>3.7395</b>	<b>2.0841</b>
<b>Varianza explicada (%)</b>	<b>47.7</b>	<b>18.7</b>	<b>11.0</b>	<b>47.4</b>	<b>17.8</b>	<b>9.9</b>
<b>Varianza explicada acumulada (%)</b>	<b>47.7</b>	<b>66.5</b>	<b>77.5</b>	<b>47.4</b>	<b>65.2</b>	<b>75.2</b>

CP: componente principal; L.: longitud; Mz: mazorca; \*: coeficiente de determinación del vector característico de importancia que determina las características del CP.

La sobreposición de los vectores que valoran las correlaciones de cada uno de los dos primeros componentes principales con cada una de las variables originales de mayor valor descriptivo de la variación morfológica (gráfica de Gabriel) sobre la dispersión de las poblaciones en el plano determinado por los dos primeros componentes principales, puede ser utilizada para analizar la relación de los grupos de diversidad y sus características. Para cada población está indicado el grupo racial asignado tomando como referencia la descripción dada por Wellhausen *et al.* (1951) y Benz. (1986) (Figuras 2.1 y 2.2), de tal manera que se puede analizar gráficamente la variación entre y dentro de grupos. Cada carácter está representado por un vector a partir del origen, la longitud de cada uno indica la magnitud de la correlación del mismo con cada uno de los dos primeros componentes principales, y por lo tanto, su importancia en la distinción entre poblaciones; así también, el ángulo que forman los vectores muestra el nivel de asociación entre ellos (Rincón *et al.*, 2010).

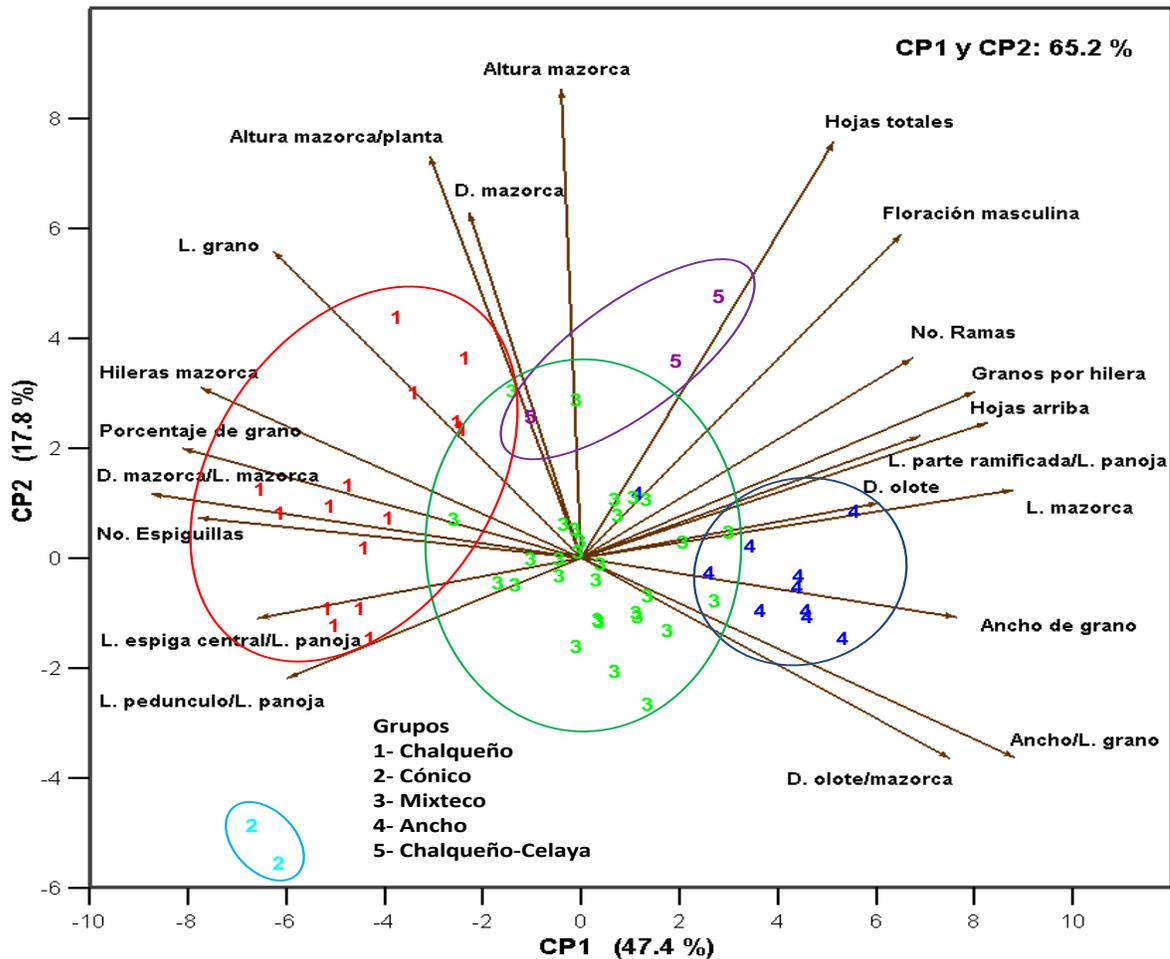


**Figura 2.1.** Dispersión y caracteres morfológicos de 108 poblaciones de maíz nativo de grano azul, en el plano determinado por los dos primeros componentes principales, evaluados en 3 localidades.

En las poblaciones de maíz con grano azul (Figura 2.1) se observa que la variación es continua en al menos dos direcciones, de acuerdo con lo que se puede apreciar en un plano:

- a) El grupo 1 Chalqueño y sus formas variantes se compone de poblaciones del Estado de México y Distrito Federal, las cuales tienden a presentar mayor diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y longitud de grano, principalmente; se ubican en el cuadrante superior izquierdo (Wellhausen *et al.*, 1951; Herrera *et al.*, 2004) y forman un continuo con dirección inferior derecha, donde se ubican

- poblaciones de Guerrero y Estado de México consideradas de la raza Pepitilla (Wellhausen *et al.*, 1951);
- b) Las poblaciones de los estados de Hidalgo, Oaxaca y Puebla, principalmente, correspondientes al grupo 2 Cónico se ubicaron en el cuadrante inferior izquierdo (Wellhausen *et al.*, 1951; Herrera *et al.*, 2004), que por los vectores de correlaciones se observa que presentan menor número de hojas totales, menor longitud de mazorca y fueron las poblaciones más precoces.
- c) Grupo 3 Mixteco. En la parte intermedia sobre la dirección superior izquierda – inferior derecha se observan poblaciones de los estados de Oaxaca y Michoacán, principalmente de la raza Mixteco con sus variantes locales (Benz, 1986; Chávez *et al.*, 2011). Las poblaciones del estado de Oaxaca presentan dispersión importante en la dirección inferior izquierda a superior derecha, con respecto a dimensiones de planta y ciclo biológico.
- d) Grupo 4 Ancho. De la Montaña de Guerrero, con predominancia de variantes de Ancho (Benz, 1986) de grano grande y forma cuadrada y un subgrupo de origen de mayor altitud con grano de menor tamaño.



**Figura 2.2.** Dispersión y caracteres morfológicos de 61 poblaciones de maíz nativo de grano rojo, en el plano determinado por los dos primeros componentes principales, evaluados en 3 localidades.

En las poblaciones de grano rojo (Figura 2.2), en términos generales, los resultados son semejantes a los de las poblaciones de grano azul, con diferencias determinadas por la frecuencia de las poblaciones de grano rojo. Es notable el hecho de que en el sureste del Estado de México, en donde prevalece la raza Chalqueño, existe baja frecuencia de poblaciones de maíz de grano rojo por la notoria preferencia y por ello selección de semilla con color en la aleurona y no en pericarpio, que es donde se almacena el color rojo; el Chalqueño tiende a presentar mayor diámetro de mazorca y longitud de grano (se abren más

los contrastes entre los azules para esas variables (Figura 2.1); por otro lado, las poblaciones de grano rojo con coloración tanto en aleurona como en pericarpio, son más frecuentes en Oaxaca y Guerrero; presentándose diferencias más notorias para las dimensiones de la inflorescencia masculina. Así mismo, se identificó el grupo 5 al cual corresponden poblaciones del Distrito de Tula, Hidalgo, del complejo racial Chalqueño-Celaya, con mayor número de ramas en la panícula, mazorca y olote más grueso que los Chalqueños típicos.

Por medio del análisis de conglomerados se determinaron medidas de similitudes y agrupamientos con información global de las poblaciones de maíz nativas de granos azules y rojos; es decir, se generaron dendrogramas con base en los 20 y 21 caracteres seleccionados para maíces azules y rojos, respectivamente. En el dendrograma de los maíces azules, a una distancia de corte de 0.912 se identificaron 4 grupos que en términos generales corresponde a la descripción que se da para la dispersión en el plano de las dos primeras componentes principales, con la diferencia de que se involucra a los 20 caracteres seleccionados en la determinación de distancias promedio entre poblaciones (Figura 2.3). En el dendrograma de las poblaciones de maíz con grano rojo, a una distancia de corte de 0.925, se identificaron 5 grupos, con base en 21 caracteres seleccionados (Figura 2.4).



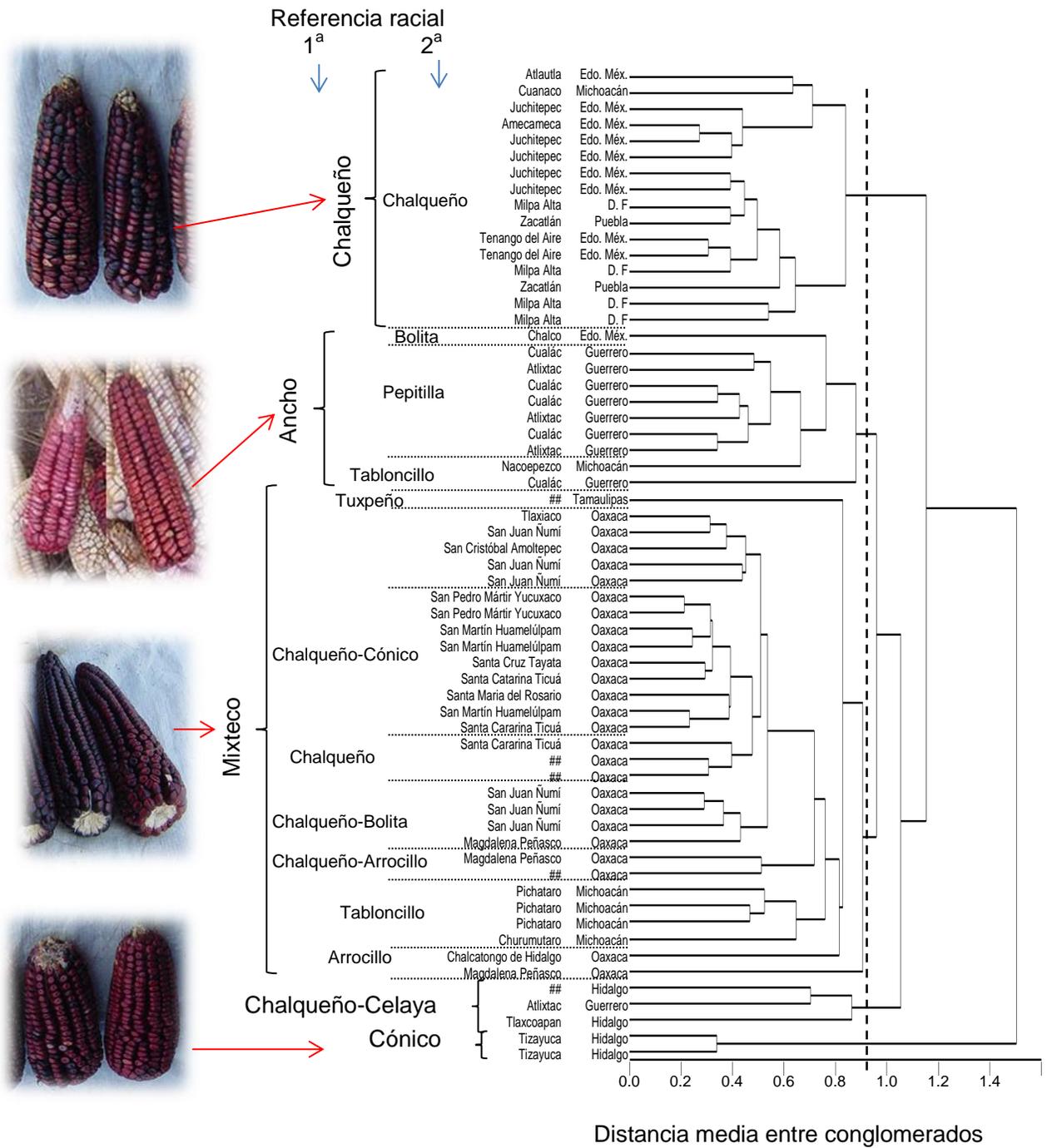


Figura 2.4. Dendrograma de 61 poblaciones de maíces de grano rojo utilizando los promedios de 21 caracteres morfológicos.

Del análisis conjunto de los dendrogramas se identificaron los siguientes grupos:

**Grupo 1. Chalqueño** Los caracteres de mayor importancia en la definición este grupo fueron: diámetro de mazorca, relación de diámetro/longitud de mazorca, longitud de grano y número de hileras en la mazorca. Este grupo se formó con 42 y 16 poblaciones de maíces azules y rojos, respectivamente. En el grupo Chalqueño y sus variantes, se encontró influencia de Cónico; además de Pepitilla en las colectas de grano azul (Cuadro 2.4). Las poblaciones colectadas son de los Estados de México, Distrito Federal, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo y Michoacán.

**Grupo 2. Cónico.** En este grupo se encontraron poblaciones de color de grano azul correspondientes a la raza Cónico con influencia de Chalqueño, y Celaya lo que para esta última algunos autores mencionan como Cónico Norteño (Wellhausen *et al.*, 1951); para el caso de los rojos corresponden a la raza Cónico con la variante de color, descrito por Wellhausen *et al.* (1951) como Elotes Cónicos. Los caracteres con valores más altos en este grupo fueron relación longitud de pedúnculo/panoja, número de espiguillas en 10 cm de la base de la espiga principal y porcentaje de grano en la mazorca. Así mismo presentaron menor número de ramificaciones en la panoja, altura de mazorca, número de hojas totales, longitud de mazorca y fueron las colectas con mayor precocidad. Este grupo estuvo formado por 25 poblaciones azules y 2 rojas. Las colectas que se ubicaron en este grupo fueron de los estados de Hidalgo, Puebla, Oaxaca y México (Cuadro 2.4).

**El Grupo 3 Mixteco.** Fue definido principalmente por colectas de los estados de Oaxaca, Hidalgo y Michoacán, con valores altos de los caracteres en número de hojas totales, altura de mazorca, relación altura mazorca/planta, días a floración masculina y granos por hilera. Para ambos colores de grano 30 fueron las poblaciones que formaron este grupo (Cuadro 2.4). Se encontraron diferentes complejos raciales como Chalqueño-Mixteco y Chalqueño-Bolita, estos descritos por Chávez *et al.* (2011), además de Chalqueño con influencia de Arrocillo y en las colectas de Michoacán, se encontraron variantes de la raza Tabloncillo (Wellhausen *et al.*, 1951; Herrera *et al.*, 2004).

**Grupo 4 Ancho.** Este grupo se formó con 11 poblaciones en los maíces azules y 10 en los maíces rojos, los caracteres principales que definieron este grupo fueron la relación longitud parte ramificada/panoja, número de ramas en la panoja, número de hojas por arriba de la mazorca, longitud de mazorca, diámetro de olote, relación diámetro olote/mazorca, ancho de grano y la relación ancho/longitud de grano (Cuadro 2.4). En este grupo se encontraron influencias de Bolita, Pepitilla y Tabloncillo. Principalmente fueron poblaciones de los estados de Guerrero, Michoacán y Estado de México.

**Grupo 5. Chalqueño-Celaya.** En las colectas de maíz con grano rojo se formó un grupo más con tres colectas de los estados de Hidalgo y Guerrero, las cuales corresponden al complejo racial Chalqueño-Celaya, siendo los caracteres de mayor importancia para definir este grupo, el porte de la planta, número de hojas totales, longitud de mazorca y diámetro de mazorca y olote (Cuadro 2.4).

**Cuadro 2.4.** Promedios de los caracteres por grupo en las poblacionales de maíz nativo con grano de color azul y rojo.

Carácter	Grano Azul				Grano Rojo				
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	Chalqueño-Celaya
L. pedúnculo/L. panoja	0.39	0.41	0.36	0.35	0.40	0.36	0.39	0.36	0.42
L. espiga central/L. panoja	----	----	----	----	0.47	0.42	0.45	0.45	0.49
L. parte ramificada/L. panoja	0.16	0.13	0.19	0.24	0.14	0.23	0.17	0.19	0.09
No. Espiguillas	32.61	34.14	28.40	24.98	33.27	21.26	26.13	26.79	34.98
No. Ramas	13.59	8.73	16.70	22.27	12.76	20.64	14.18	19.73	4.68
Hojas Arriba	3.99	3.60	4.08	4.73	4.02	4.83	4.31	4.82	3.77
Hojas Total	13.44	11.53	14.12	13.96	13.13	13.91	13.78	15.09	10.00
Altura mazorca (m)	1.70	1.34	1.76	1.40	1.51	1.28	1.47	1.70	0.89
Mazorca/Planta	0.66	0.63	0.67	0.60	0.64	0.57	0.62	0.64	0.52
Flor Masculina (d)	96.33	85.35	100.90	101.05	92.79	99.34	97.84	99.20	78.29
L. Mazorca (cm)	14.99	13.70	16.03	16.57	13.75	16.70	15.53	16.95	11.65
D. Mazorca (cm)	5.07	4.60	4.58	4.89	4.92	4.70	4.55	5.24	4.40
D./L. Mazorca	0.34	0.34	0.29	0.30	0.36	0.29	0.30	0.31	0.38
D. olote (cm)	2.52	2.26	2.47	2.82	2.35	2.56	2.46	2.82	2.23
D. olote/Mazorca (cm)	0.50	0.49	0.54	0.58	0.48	0.55	0.54	0.54	0.51
L. Grano (cm)	1.27	1.17	1.06	1.04	1.28	1.07	1.04	1.21	1.09
Ancho Grano (cm)	0.91	0.86	0.92	1.16	0.93	1.27	0.99	0.98	0.81
Ancho/L. Grano (cm)	0.72	0.74	0.88	1.14	0.73	1.20	0.96	0.82	0.75
No. Hileras	14.72	14.15	13.32	11.44	13.93	9.96	12.33	14.27	14.29
Granos por Hileras	29.87	28.13	33.78	33.10	26.51	31.78	30.90	33.49	24.14
Porcentaje Grano (%)	89.71	90.73	88.65	85.78	90.21	85.82	86.95	86.04	90.23
No. de poblaciones por grupo	42	25	30	11	16	2	30	10	3

L.: Longitud; No.: Número; D.: Diámetro; /: relación.

La razón de esta diferenciación entre poblaciones se puede deber a la acción conjunta de las diferencias ecológicas y a la selección de semilla con preferencias diferentes de los agricultores en regiones también diferentes. Otra observación importante es que en cada región se presentan poblaciones en complejos raciales y variantes dentro de raza o entre razas (Anderson, 1946) debido a la acción de los mismos factores ecológicos y antropocéntricos, y la variación entre poblaciones es, entonces, de relevancia mayor para la

agricultura regional para manejar riesgos meteorológicos y acoplamiento a las preferencias culinarias locales.

En los estudios de diversidad genética, con respecto a maíces con grano de color azul y rojo, sean descrito a Elotes Cónicos y Elotes Occidentales como subrazas de Cónico y Tabloncillo, respectivamente (Wellhausen *et al.*, 1951); y Hernández y Alanís (1970) mencionan a la raza azul de Chihuahua. Por su parte, Herrera *et al.* (2004) describen a Elotes Chalqueños como variante de la raza Chalqueño, en colectas realizadas en el Oriente del Estado de México. Sin embargo, los resultados aquí presentados indican que existe una importante diversidad genética de maíces nativos pigmentados en las zonas donde fueron colectadas las poblaciones en estudio; cabe mencionar que al realizar las colectas sólo de maíces con grano azul y rojo, fue fácil, ya que en los lugares explorados los productores tenían además de azules y rojos, maíces pigmentados de otros colores, series homólogas para color de grano: blanco, amarillo, azul, rojo, etc. Lo anterior coincide con Anderson (1946). Por lo tanto, en la descripción de la diversidad del maíz en México se ha subconsiderado a los azules y rojos.

## **2.4 CONCLUSIÓN**

En la caracterización morfológica de 108 poblaciones nativas de maíces con grano azul y 61 poblaciones con grano rojo que se estudiaron, se encontraron variantes de las razas; Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, los cuales se integran en complejos raciales y variantes intermedias asociadas a ubicación regional geográfica. Las evidencias experimentales muestran la existencia de una importante diversidad genética de maíces nativos azules y rojos que es manejada y conservada por los agricultores de las regiones exploradas, que en general se presentaron como variantes de color de grano azul o rojo, de manera homóloga a la clasificación racial que se conoce para las poblaciones de grano blanco o amarillo.

## 2.5 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera O M, M C Reza V, R G Chew M, J A Meza V (2011)** Propiedades funcionales de las antocianinas. *BIOtecnica* / XIII (2): 16-22
- Anderson E (1946)** Maize in Mexico. A preliminary survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 33: 147-247.
- Anderson E, H C Cutler (1942)** Races of *Zea Mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 29: 69-89.
- Arias L, D Jarvis, D Williams, L Latournerie, F Márquez, F Castillo, P Ramírez, R Ortega, J Ortiz, E Sauri, J Duch, J Bastarrachea, M Guadarrama, E Cázarez, V Interián, D Lope, T Duch, J Canal, L Burgos, T Camacho, M González, J Tuxill, C Eyzaguirre, V Cob (2004)** Conservación *in situ* de la biodiversidad de las variantes locales en la milpa de Yucatán, Méx. *In: Chávez-Servia J L, J Tuxill, D I Jarvis (eds.) (2004)* Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. IPGRI Cali, Colombia. pp. 38-46
- Benz B F (1986)** Taxonomy and evolution of Mexican maize. Ph. D. dissertation. University of Wisconsin, USA. 433 p.
- Castillo G F (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *In: Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica. México. No. especial.* 69-79 pp.
- Chávez S J L, P Diego F, J C Carrillo R (2011)** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai* (1): 107-115.
- Dickerson G W, Holocomb G B (1992)** A small-scale agriculture alternative: Specialty corns. USDA Cooperative State Research Service. <http://www.sfc.ucdavis>. Internet.

<http://www.sfc.ucdavis.edu/pubs/brochures/Specialtycorns.html>.

**FAO (2011)** Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional de América Latina y el Caribe.

**García E (1988)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. pp 120-137.

**Google Earth (2012)** ©Google, US Dept of State Geographer.

**Goodman M M, E Paterniani (1969)** The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Economic Botany*. 23: 265-273

**Hernández X E, G Alanís F (1970)** Estudio morfológico de cinco nuevas razas de la sierra Madre occidental de México: Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.

**Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.

**Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, R Ortega P, 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

**Johnson D L, M N Jha (1993)** Blue corn. *In*: Janick, J. and Simon J.E. (eds.), *New crops*. Wiley, New York. p. 228-230.

**Kato Y T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 pp.

- Rincón S F, F Castillo G, N A Ruiz T (2010)** Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Méx. 116 pp.
- Sánchez G J J, M M Goodman, J O Rawlings (1993)** Apropiated characters for racial classification in maize. *Economic Botany*. 47(1): 44-59.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*. 54: 43-59.
- SAS Institute (2002)** Statistical analysis system. User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Vera-Guzmán A M, J L Chávez-Servia, J C Carrillo-Rodríguez (2012)** Proteína, lisina y triptófano en poblaciones nativas de maíz mixteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35 (Núm. Especial): 7-13
- Wellhausen E, L Roberts, E Hernández X (1951)** Razas de maíz en México; su origen, características y evolución. O.E.E., SAG, México, D.F. 237 pp.

### CAPITULO III

## POTENCIAL AGRONÓMICO DE MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE VALLES ALTOS DE MÉXICO

### RESUMEN

Las poblaciones de maíces pigmentados nativos (*Zea mays* L.) adaptados a condiciones de temporal o secano poseen atributos que han sido útiles para la sociedad por las formas tradicionales de producción y conservación; su aprovechamiento se puede acrecentar mediante el mejoramiento participativo o bien a través de programas formales de mejoramiento genético. Previamente se estudió la diversidad genética de 169 poblaciones de Valles Altos del Centro-Sur de México: 108 son de grano color azul y 61 de grano color rojo; se identificó la presencia de variantes de las razas Chalqueño, Cónico, Mixteco, Ancho y Chalqueño-Celaya, con influencia de otras, como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, integrándose en complejos raciales y variantes intermedias asociadas a ubicación regional geográfica. El objetivo del presente trabajo fue evaluar agronómicamente y determinar el potencial de rendimiento de grano de 169 poblaciones de maíces nativos pigmentados. La evaluación agronómica se realizó en 2009 en tres localidades: Montecillo (2248 msnm) y Ayapango (2436 msnm) en el Estado de México y Mixquiahuala, Hidalgo (2006 msnm). Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre grupos y de la interacción grupos x localidades, entre poblaciones dentro de grupos, y de la interacción en poblaciones dentro de grupo x localidades, para floración masculina y rendimiento de grano. La fuerte interacción genotipo x ambiente estuvo determinada por el comportamiento diferencial de las poblaciones de maíz de acuerdo con la región de procedencia y las condiciones ambientales de las localidades donde se condujeron las evaluaciones. Las poblaciones con grano azul del grupo Mixteco presentaron los mejores rendimientos con un promedio de  $3608 \text{ kg ha}^{-1}$  y las poblaciones de Cónico fueron las de menor rendimiento con  $2184 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para las poblaciones de grano rojo, los Chalqueño-Celaya fueron los que obtuvieron el mejor rendimiento con  $4193 \text{ kg ha}^{-1}$  y los Chalqueño y Cónico resultaron con menor rendimiento  $2053$  y  $2437 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Las poblaciones 91 (azul) y 45 (rojo) del grupo Mixteco y Chalqueño-Celaya fueron las de mayor rendimiento con  $8213$  y  $6614 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Los resultados de este trabajo muestran que existe alto potencial de rendimiento en las poblaciones de maíces nativos pigmentados de Valles Altos de México, que pueden ser utilizadas para acrecentar potenciales para el aprovechamiento local.

**Palabras clave:** *Zea mays*, rendimiento de grano, maíces nativos pigmentados, Valles Altos.

## AGRONOMIC POTENTIAL OF PIGMENTED NATIVE MAIZE OF MEXICO'S HIGH VALLEYS

### SUMMARY

Populations and types of pigmented native maize (*Zea mays* L.) adapted to seasonal and rain-fed conditions have attributes that may be useful in genetic improvement. A previous study explored the genetic diversity of 169 populations of Central-Southern Mexico's high valleys, of which 108 are blue maize populations and 61 are red maize populations, in which there was identified as a first reference the presence of variants from the races *Chalqueño*, *Cónico*, *Mixteco*, *Ancho* and *Chalqueño-Celaya*, with influence of others. The aim of this study was to agronomically evaluate and determine grain yield potential of 169 pigmented native maize populations. The agronomical evaluation was conducted in 2009 at three locations: Montecillo (2248 m.a.s.l.) and Ayapango (2436 m.a.s.l.) at the State of Mexico and Mixquiahuala (2006 m.a.s.l.), Hidalgo. The results showed highly significant differences ( $P \leq 0.01$ ) among groups and in the interaction groups x locations, among populations within groups and in populations within group x locations for male flowering and grain yield. There existed a strong genotype x environment interaction, since populations from the evaluated localities showed differentially a better agronomic performance. Blue *Mixteco* grain populations obtained the best yields with an average of 3608 kg ha<sup>-1</sup>, and *Cónico* populations were the ones which obtained the lowest yield with 2184 kg ha<sup>-1</sup>. For populations of red grains, the *Chalqueño-Celaya* were those which obtained the best yield with 4193 kg ha<sup>-1</sup>, and the *Cónico* and *Chalqueño* showed the lowest yield with 2053 and 2437 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Populations 91 (blue) and 45 (red) of *Mixteco* and *Chalqueño-Celaya* groups were the ones which obtained the highest yield with 8213 and 6614 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The results of this study show that there exist a high yield potential in pigmented native maize populations of Mexico's high valleys, which can be used in genetic improvement programs and, in turn, as a way to solve the problem of lack of self-sufficiency of this crop.

**Keywords:** *Zea mays*, grain yield, pigmented native maize, high valleys.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo agrícola más importante desde el punto de vista alimentario, industrial y social (SAGARPA-SIAP, 2012) y en el país se encuentra la mayor riqueza genética documentada en los diferentes complejos raciales (Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 2000). La variación genética está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales de adaptación, así como con la diversidad de usos que se da al maíz, especialmente al grano (Hernández y Esquivel, 2004). El conocimiento de la variación morfológica y genética, su relación con el ambiente y el impacto social determinan la estrategia de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética del maíz (Ortega *et al.*, 1991).

No obstante la gran variación del maíz, los programas formales de mejoramiento genético descansan en un número reducido de líneas y variedades. En América Latina, de las casi 300 razas reconocidas, menos de 10 % están representadas en forma importante en los programas de mejoramiento actuales en el Mundo (Goodman, 1991). En México la inmensa riqueza contenida en sus poblaciones nativas de maíz representa grandes posibilidades para la selección y recombinación de recursos genéticos de maíz en diferentes regiones para el desarrollo del cultivo y resolver los problemas del cultivo en el país (Ortega, 1985). La variación genética permite integrar poblaciones de amplia base genética, las cuales sirven como material base en los programas de mejoramiento genético para incrementar el rendimiento y caracteres agronómicos de interés en el proceso de generación de variedades mejoradas como sintéticas o híbridos (García *et al.*, 2002). Sin embargo, el uso real de la variación genética es muy limitado, pues de las 59 razas de maíz descritas

para México, solamente se utilizan cuatro en programas mejoramiento genético: Chalqueño en la Mesa Central, Tuxpeño en el Trópico seco y húmedo, Cónico para zonas con problemas pluviales de la Mesa Central, y Celaya para El Bajío y zonas similares (Márquez, 2005).

La reducción de la diversidad genética de maíz en los agroecosistemas tradicionales de México y de otros países está sucediendo en parte debido a la modernización (Arias *et al.*, 2006), por lo cual es necesario buscar estrategias que promuevan el mantenimiento de la diversidad genética y al mismo tiempo permitir la selección dentro de poblaciones de maíz que contribuyan a mejorar la productividad. Los sistemas de agricultura tradicional juegan un papel importante en la conservación *in situ* ya que contribuyen a la preservación de la diversidad genética del maíz. En este contexto, se han impulsado diversos trabajos relacionados con la conservación del maíz, la diversificación y la investigación participativa en las principales regiones de diversidad del maíz en México (Turrent y Serratos, 2004).

El mejoramiento participativo ha sido propuesto como una estrategia potencial para mejorar variedades locales, mantener la diversidad genética, y hacer selección de características de interés en un sistema tradicional y sostenible (Castillo *et al.*, 2000). El mejoramiento participativo en comunidades de pequeños agricultores influye en el proceso de auto-sostenibilidad de la producción de semillas y en la obtención de variedades de maíz mejor adaptadas a estos sistemas de manejo (Toledo *et al.*, 2006).

El abordar a la conservación de la diversidad *in situ* con apoyo científico, se ha planteado que se requiere desarrollar estrategias que permitan la elevación de la

productividad y la calidad, más la búsqueda de aprovechamientos alternativos, para ofrecer al agricultor opciones que le permitan mejorar sus estándares y calidad de vida, al mismo tiempo que se conserva la diversidad genética. Para ello, el punto de partida es la variación para el potencial, tanto de rendimiento, como para otros atributos que se presenta en las poblaciones de maíz locales. Tal variación es diferencial entre razas, entre tipos dentro de raza, entre poblaciones (la semilla de cada agricultor), y las diferencias entre plantas dentro de población.

La recolección y estudio de los maíces nativos mexicanos han sido motivados por diversas causas: contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo, realizar estudios biológicos básicos para entender el proceso evolutivo, realizar evaluaciones preliminares, y aplicar técnicas de premejoramiento (Hernández y Esquivel, 2004). Históricamente se han hecho colectas de maíces nativos en la mayor parte de las regiones importantes de México (Wellhausen *et al.*, 1951; Kato *et al.*, 2009).

En México se siembran poco más de ocho millones de hectáreas de maíz, de las cuales en más de 6.5 millones se usan semillas nativas (criollas) y en el resto semillas híbridas (principalmente en Jalisco, Guanajuato, Tamaulipas y Sinaloa). Para la tecnología de las semillas híbridas se han desarrollado estrategias de mejoramiento genético y de aplicación de la tecnología con apoyos formales evidentes. Sin embargo, para los 6.5 millones de hectáreas sembradas con semillas nativas esas estrategias no han sido adoptadas porque los híbridos comerciales disponibles no superan a las poblaciones nativas en rendimiento y otros atributos; la siembra masiva de una variedad en particular no es

factible por la gran diversidad ecológica, además de la adaptación específica de las poblaciones nativas se han generado variantes por preferencias culinarias y otros aspectos antropocéntricos. Los agricultores, en una condición ecológica determinada, manejan varios tipos de maíz para responder a la diversidad de alimentos preparados con este cultivo, además de variantes que les permiten responder a los riesgos meteorológicos, principalmente a lo impredecible de la precipitación pluvial y temperaturas extremas. De esta manera, en alrededor de 6.5 millones de hectáreas se conserva *in situ* la diversidad del maíz en México, por más de dos millones de agricultores con tecnología, en buen grado, tradicional (Castillo *et al.*, 2000).

En los países en desarrollo se siembran alrededor de 6.2 millones de hectáreas de maíz de valles altos (altitudes superiores a 1,800 msnm; Beck y Torres, 2003), incluyendo cerca de 2.0 millones de hectáreas en México, principalmente en los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo (Elías-Calles *et al.*, 2003); el promedio de rendimiento de maíces de valles altos es bajo (alrededor de 2 ton ha<sup>-1</sup>); sin embargo, en varias regiones los potenciales estimados en base a testimonios de productores o resultados experimentales en buenos años, supera las 6 ton ha<sup>-1</sup> (Herrera, 1999).

El maíz tiene una amplia diversidad genética como resultado de los múltiples procesos de selección, adaptación y manejo. Dentro de las variantes morfológicas se tienen variantes por tipo de coloración del grano, el cual se determina por la presencia de carotenoides, antocianinas y flobafenos (Irani *et al.*, 2003); además de variantes que responden de manera específica a condiciones agroecológicas (ecotipos) más innumerables variantes intermedias

entre lo que se ha descrito como típico de las razas. Uno de los componentes de la diversidad fenotípica es precisamente el color del grano.

Hay discrepancias en cuanto a los rendimientos que se pueden obtener en cultivos de maíz azul; para zonas sin riego se reportan rendimientos de 1.02 a 3.36 ton ha<sup>-1</sup> (Johnson y Jha, 1993). Sin embargo, con variedades de maíz azul raza Chalqueño el rendimiento varía de 2.9 a 5.4 ton ha<sup>-1</sup> (Antonio *et al.*, 2004). De acuerdo con Dickerson (2003), los rendimientos del maíz azul de polinización abierta son relativamente bajos si se comparan contra rendimientos de híbridos comerciales. Arellano *et al.* (2003) reportaron rendimientos de maíces azules que varían de 5.6 a 6.6 ton ha<sup>-1</sup> con floración femenina que varía entre 103 y 109 días, que para el altiplano se consideran como variedades de tipo intermedio a tardío. También reportaron que algunas variedades de maíz azul de la raza Cónico Norteño, Gordo y Bolita, presentaron rendimientos menores (2.7 ton ha<sup>-1</sup>); asociados al menor período de floración femenina y menor altura de la planta.

El potencial productivo de las variantes de maíz azul ha sido poco evaluado; sin embargo, es importante mencionar los altos rendimientos que se pueden alcanzar, cuando las condiciones de cultivo sean las mejores. Se han detectado rendimientos de hasta 10.5 ton ha<sup>-1</sup> en maíces azules de la raza Chalqueño (Arellano *et al.*, 2003).

El bajo rendimiento de los maíces nativos obedece a factores genéticos intrínsecos como el acame, pero aunados a éstos, existen diversos factores ambientales y de manejo a los cuales se enfrentan los agricultores como: cultivo bajo temporal escaso o errático, suelos poco fértiles y en laderas, manejo agronómico tradicional (no se realiza control de plagas,

ineficiente control de malezas, baja o nula fertilización, bajas densidades de población, malos arreglos topológicos). Sin embargo, los maíces nativos presentan ventajas: se adaptan a múltiples ambientes, preferencia por los consumidores, alto valor culinario de los productos, desarrollo de nichos de mercado y diversificación de productos, en la comercialización tiene sobreprecio, es más rápida su venta. Pero también es una realidad: el desabasto por la baja e intermitente producción regional con bajos rendimientos en una agricultura de temporal, así como los altos costos de producción. De esta manera, el factor calidad pareciera ser factor importante de competitividad en los mercados, ya que es indiscutible que en las familias rurales productoras de maíz, se continuará consumiendo maíz nativo, a pesar de la baja rentabilidad económica.

Como centro de origen y diversidad del maíz, en México se tiene una doble responsabilidad:

- a) Conservar la diversidad genética, para la solución de los problemas agronómicos y desarrollar sus potenciales, para las generaciones futuras, a nivel nacional y mundial.
- b) Desarrollar tecnología y estrategias para incrementar la producción y otros aspectos de obtención de beneficios para los agricultores de maíces nativos en el corto y mediano plazo.

Por lo antes mencionado se realizó este trabajo con los objetivos de valorar el comportamiento agronómico y el rendimiento de grano de 108 poblaciones de maíz azul y 61 poblaciones de maíz con grano rojo, representativas de diferentes variantes de razas de Valles Altos. Seleccionar grupos de poblaciones con expresión favorable en rendimiento de

grano, y poblaciones individuales como posibles materiales elite para acrecentar potenciales para el aprovechamiento local en un esquema de mejoramiento genético participativo.

## **3.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1 Material Genético**

El material genético en el estudio estuvo constituido por 169 poblaciones de maíces nativos pigmentados de las cuales 108 son de grano azul (Anexo 1) y 61 con grano rojo (Anexo 2), colectadas a principios del 2009 en zonas altas del Sureste del Estado de México, Sur del Distrito Federal, La Mixteca de Oaxaca, La Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, Noroeste de Puebla y Zona Centro de Michoacán. Cada población estuvo representada por 30 mazorcas o bien por 3 kg de semilla. La clasificación preliminar identificó a cuatro grupos con variantes de las razas: Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, los cuales se integran en complejos raciales asociados a ubicación regional geográfica, para ambos colores de granos de maíz; además del complejo racial Chalqueño-Celaya en las poblaciones con grano de color rojo (Anexos 3 y 4).

### **3.2.2 Ubicación de los experimentos**

Los experimentos se establecieron en campo en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2009 en tres localidades: Montecillo, Edo. de México, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados; Ayapango, Edo. de México, en la parcela escalar de la escuela primaria del ejido; y en Mixquiahuala, Hgo, en el campo experimental del Instituto Tecnológico

Superior de Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH); la ubicación geográfica y características climáticas de las localidades se presentan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.

Localidad	Estado	Altitud <sup>*</sup> (msnm)	Latitud Norte <sup>*</sup>	Longitud Oeste <sup>*</sup>	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)	Clima <sup>**</sup>	Tipo de suelo
Ayapango	Edo.Méx.	2436	19° 08' 09.08"	98° 48' 27.61"	12.0	900	C(w <sub>2</sub> ')(w)big	Regosol
Montecillo	Edo.Méx.	2248	19° 28' 06.70"	98° 53' 54.84"	15.9	686	C(w <sub>1</sub> ')(w)b(i')g	Vertisol
Mixquiahuala	Hidalgo	2006	20° 12' 11.41"	99° 13' 18.59"	17.0	509	BS <sub>1</sub> kw"(w) (i')g	Redzina

(\* ) *Google Earth, 2012*; (\*\* ) *García, E. (1988)*

### 3.2.3 Diseño y parcela experimental

Las poblaciones se clasificaron por color de grano para establecer dos experimentos, uno con el conjunto de 108 poblaciones de maíz con grano azul y otro con las 61 poblaciones de grano rojo. Las poblaciones fueron arregladas en un 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 0.80 m entre surcos (0.85 m en Ayapango). Se sembraron tres semillas cada 0.5 m, y después de cinco semanas se ajustó a dos plantas; la densidad de población fue de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup> (47,059 plantas ha<sup>-1</sup>, en Ayapango).

### 3.2.4 Manejo agronómico de los experimentos

En los tres ambientes la siembra se realizó manualmente; en la localidad de Ayapango la siembra se hizo el 9 de mayo en condiciones de humedad residual, sin la aplicación de

fertilizantes. En Montecillo se sembró el 5 de mayo, en suelo seco y el riego se aplicó inmediatamente después de sembrar. En Mixquiahuala se sembró el 30 de mayo, con un riego de presembrado. En Montecillo y Mixquiahuala, no existió restricción de humedad por la aplicación de riego durante el cultivo y se fertilizó con una dosis de 120N-80P-00K. En las tres localidades se realizaron las labores culturales conforme al manejo convencional de los productores de cada la región. El control de maleza se realizó manualmente y no se hicieron aplicaciones de químicos para plagas y enfermedades. Se registraron 19 caracteres entre vegetativos, agronómicos, de mazorca y de grano (Cuadro 3.2).

### 3.2.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Para asignar los tratamientos (poblaciones) a las unidades experimentales se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza combinado por localidades, el análisis estadístico se hizo con el paquete de computo SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Para la comparación de medias se utilizó el método de Diferencia Mínima Significativa Honesta (DHS) de Tukey con  $\alpha = 0.05$ .

De acuerdo con la agrupación que se generó con el análisis de conglomerados en García *et al.* (2013), se usó a la pertinencia de las poblaciones en grupos como criterio de clasificación en el análisis. El modelo estadístico fue:  $Y_{ijkl} = \mu + A_k + \beta(A)_{lk} + G_i + \tau_{j(i)} + GA_{ik} + \tau A_{jk(i)} + \varepsilon_{ijkl}$ , donde:  $Y_{ijkl}$  = respuesta obtenida por la  $j$ -ésima población perteneciente al grupo evaluado en la  $k$ -ésima localidad y  $i$ -ésima repetición;  $\mu$  = media general;  $A_k$  = efecto atribuido a la  $k$ -ésima localidad,  $\beta(A)_{lk}$  = efecto de bloque anidado en localidad,  $G_i$  = efecto atribuido al  $i$ -ésimo grupo,  $\tau_{j(i)}$  = efecto de la  $j$ -ésima población

anidada en el *i*-ésimo grupo,  $GA_{ik}$  = interacción localidades por grupos,  $\tau A_{jk(i)}$  = interacción de población anidada en grupo con localidades y  $\varepsilon_{ijkl}$  = error experimental.

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gran variedad ecológica y cultural en la zona explorada de Valles Altos del Centro-Sur de México, que comprendió las zonas del Sureste del Estado de México, Sur del Distrito Federal, La Mixteca de Oaxaca, La Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, Noroeste de Puebla y Zona Centro del Estado de Michoacán, tienden a generar una presión de selección natural sobre las poblaciones de maíz y coexisten con los subgrupos socioculturales de las zonas en estudio. En estas zonas se concentra una alta variabilidad morfo-fenotípica de maíces pigmentados que se reflejó en los resultados de este trabajo.

Las poblaciones de maíz con grano de color azul y rojo en los análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) y significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre localidades, grupos, efecto de la interacción grupos x localidad, entre poblaciones dentro de grupos y entre poblaciones dentro de grupo x localidades para las variables rendimiento, días a floración masculina, porcentaje de mazorcas sanas y podridas y longitud de mazorca, además de otras significancias mostradas en los Cuadros 3.2 y 3.3. Lo anterior indica la existencia de una importante diversidad genética entre poblaciones de maíces pigmentados nativos adaptadas a áreas ecológicas específicas de Valles Altos, debido a la variación encontrada.

Se nota que la expresión fenotípica de algunos de los caracteres morfológicos (altura de planta y mazorca) y fenológicos (días a floración) se asocia a las variaciones de altitud y climatológicas de los lugares de procedencia de las poblaciones.

**Cuadro 3.2.** Cuadrados medios y medias de 108 poblaciones nativas de grano azul, evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.

Carácter	Media	C.V.	Cuadrados medios						Error
			Localidad	Bloque (Localidad)	Grupo	Población (Grupo)	Localidad x Grupo	Localidad x Población (Grupo)	
<b>Caracteres agronómicos</b>									
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	2801	31.3	198392748 **	13090822 **	112429833 **	3858949 **	57959525 **	2096485 **	767825
Floración masculina (dds)	95.51	4.01	81989.22 **	332.62 **	15261.81 **	199.64 **	521.87 **	24.93 **	14.66
Acame de raíz (%)	14.33	81.62	36347.91 **	3006.45 **	9636.77 **	433.16 **	3338.35 **	149.08 NS	136.71
Acame de tallo (%)	9.32	95.25	418.93 NS	535.46 **	2804.54 **	170.12 **	520.98 **	98.25 *	78.76
Mazorcas sanas (%)	76.00	15.91	245445.38 **	3912.97 **	31733.24 **	583.76 **	19540.39 **	302.04 **	146.19
Mazorcas podridas (%)	16.68	75.56	68231.97 **	1472.74 **	18101.09 **	541.02 **	7328.63 **	255.87 **	158.77
<b>Caracteres vegetativos de la planta</b>									
Altura de planta (m)	2.44	10.75	71.98 **	0.66 **	14.18 **	0.37 **	0.66 **	0.08 NS	0.07
Altura de mazorca (m)	1.60	12.97	71.75 **	0.47 **	11.82 **	0.40 **	0.53 **	0.06 **	0.04
Altura Mazorca/Planta	0.65	8.84	1.95 **	0.02 **	0.19 **	0.01 **	0.01 *	0.00 NS	0.00
<b>Caracteres de mazorca</b>									
Long de mazorca (cm)	15.20	8.46	110.89 **	10.25 **	316.98 **	8.65 **	25.20 **	2.51 **	1.65
Diámetro de mazorca (cm)	4.81	5.56	1.32 NS	0.31 **	19.29 **	0.34 **	0.23 **	0.10 **	0.07
Diámetro olote (cm)	2.48	7.63	0.11 NS	0.07 NS	8.71 **	0.16 **	0.14 **	0.04 *	0.04
Diámetro olote/mazorca	0.52	6.88	0.01 NS	0.00 *	0.30 **	0.01 **	0.00 **	0.00 **	0.00
Porcentaje de grano (%)	89.20	4.27	450.20 **	21.20 NS	739.65 **	26.04 **	38.86 *	17.52 *	14.54
Porcentaje de olote (%)	10.80	35.31	450.20 **	21.20 NS	739.64 **	26.04 **	38.86 *	17.52 *	14.54
<b>Caracteres de grano</b>									
Long de grano (cm)	1.17	10.48	0.19 NS	0.05 **	3.64 **	0.08 **	0.04 *	0.02 **	0.01
Ancho de grano (cm)	0.93	8.22	0.01 NS	0.01 NS	2.64 **	0.02 **	0.04 **	0.01 **	0.01
No. Hileras en la mazorca	13.84	8.21	13.84 **	1.36 NS	376.19 **	7.30 **	3.95 **	1.80 **	1.29
No. Granos por hilera	31.01	9.28	121.26 NS	57.56 **	1778.06 **	30.21 **	131.03 **	11.67 **	8.28

C.V.: Coeficiente de Variación; NS: No Significativo con  $P > 0.05$ ; \*, \*\*: Significativo con  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , respectivamente.

**Cuadro 3.3.** Cuadrados medios y medias de 61 poblaciones nativas de grano rojo, evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.

Carácter	Media	C.V.	Cuadrados medios						Error
			Localidad	Bloque (Localidad)	Grupo	Población (Grupo)	Localidad x Grupo	Localidad x Población (Grupo)	
<b>Caracteres agronómicos</b>									
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	3126	26.66	274491023 **	3710989 **	78533370 **	3380153 **	32570060 **	1451342 **	694720
Floración masculina (dds)	96.21	3.81	61680.35 **	39.99 **	3141.29 **	182.47 **	433.31 **	17.42 *	13.45
Acame de raíz (%)	8.23	89.50	10523.01 **	555.33 **	4616.53 **	218.73 **	719.51 **	78.96 **	54.29
Acame de tallo (%)	7.43	76.91	557.76 NS	234.23 **	174.72 **	127.51 **	260.96 **	60.27 **	32.63
Mazorcas sanas (%)	82.35	11.55	84593.98 **	4181.69 **	13611.98 **	466.62 **	5160.87 **	248.54 **	90.44
Mazorcas podridas (%)	13.38	70.51	33259.72 **	1048.03 **	13298.23 **	417.57 **	4774.44 **	215.53 **	89.06
<b>Caracteres vegetativos de la planta</b>									
Altura de planta (m)	2.30	10.77	56.55 **	0.39 **	3.34 **	0.29 **	0.05 NS	0.07 NS	0.06
Altura de mazorca (m)	1.44	13.79	48.52 **	0.28 **	3.16 **	0.23 **	0.02 NS	0.05 NS	0.04
Altura Mazorca/Planta	0.61	9.95	1.47 **	0.02 **	0.14 **	0.01 **	0.00 NS	0.00 NS	0.00
<b>Caracteres de mazorca</b>									
Long de mazorca (cm)	15.19	8.65	172.25 **	4.81 **	250.40 **	11.47 **	26.33 **	2.13 NS	1.73
Diámetro de mazorca (cm)	4.70	4.92	0.64 *	0.08 NS	6.68 **	0.23 **	0.54 **	0.07 *	0.05
Diámetro olote (cm)	2.46	7.55	0.09 NS	0.05 NS	1.95 **	0.17 **	0.28 **	0.04 NS	0.03
Diámetro olote/mazorca	0.53	7.23	0.02 **	0.00 NS	0.13 **	0.01 **	0.01 **	0.00 *	0.00
Porcentaje de grano (%)	87.69	3.16	297.82 **	11.52 NS	462.97 **	31.24 **	38.29 **	9.77 *	7.66
Porcentaje de olote (%)	12.31	22.48	297.81 **	11.52 NS	462.99 **	31.24 **	38.29 **	9.77 *	7.66
<b>Caracteres de grano</b>									
Long de grano (cm)	1.12	10.60	0.30 **	0.02 NS	1.81 **	0.05 **	0.06 **	0.02 NS	0.01
Ancho de grano (cm)	1.01	8.85	0.00 NS	0.01 NS	2.43 **	0.05 **	0.02 **	0.01 **	0.01
No. Hileras en la mazorca	12.50	7.85	3.56 NS	0.95 NS	307.11 **	7.97 **	3.25 **	1.20 NS	0.96
No. Granos por hilera	29.79	9.19	165.76 **	11.21 NS	942.65 **	33.01 **	138.70 **	8.09 NS	7.49

C.V.: Coeficiente de Variación; NS: No Significativo con  $P > 0.05$ ; \*, \*\*: Significativo con  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , respectivamente.

Se presentó interacción genotipo x ambiente, ya que las poblaciones presentaron mejor comportamiento agronómico de manera diferencial en las localidades de evaluación; es decir se presentó interacción de naturaleza genética de acuerdo con la región de procedencia y las condiciones ambientales de las localidades en donde se condujeron las evaluaciones. Lo anterior se observa en el Cuadro 3.4, donde las localidades de Mixquiahuala y Montecillo obtuvieron los mejores rendimientos en promedio por localidad, con 3377 y 2903 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para el caso de los maíces azules. En las poblaciones de maíces rojos se presentó el mismo caso con 3695 y 3671 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para las localidades de Mixquiahuala y Montecillo. El bajo rendimiento de grano de las poblaciones en la localidad de Ayapango se puede atribuir a que esta localidad es sólo de temporal, existe alta infestación de tuzas (*Cratogeomys sp.* Russell) (Russell, 1968), y el experimento se estableció fuera de la fecha recomendada, este último tal vez el mayor motivo del bajo rendimiento en esta localidad; el efecto de esta siembra tardía fue que las mazorcas de las poblaciones más tardías no llenaron por completo, en la zona de Ayapango los productores locales acostumbran sembrar, por muy tarde, la tercera semana de abril, para evitar problemas en el cultivo a causa de heladas tempranas.

**Cuadro 3.4.** Comparación de medias entre localidades de poblaciones nativas de grano azul y rojo evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.

Carácter	Grano azul				Grano rojo			
	Montecillo	Ayapango	Mixquiahuala	DHS	Montecillo	Ayapango	Mixquiahuala	DHS
<b>Caracteres agronómicos</b>								
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	2903 a	1890 b	3377 a	771	3671 a	1627 b	3695 a	531
Floración masculina (dds)	93.43 b	110.35 a	82.85 c	3.49	93.56 b	113.5 a	81.90 c	1.60
Acame de raíz (%)	24.82 a	7.54 b	10.58 b	10.48	15.79 a	4.01 b	4.81 b	5.98
Acame de tallo (%)	8.35 a	10.33 a	9.27 a	4.42	6.36 a	6.78 a	9.16 a	3.89
Mazorcas sanas (%)	49.82 c	96.84 a	81.78 b	11.97	61.58 b	97.63 a	88.14 a	16.4
Mazorcas podridas (%)	28.37 a	3.16 c	18.22 b	7.35	25.69 a	2.37 c	11.87 b	8.21
<b>Caracteres vegetativos de la planta</b>								
Altura de planta (m)	2.57 b	1.98 c	2.78 a	0.17	2.49 b	1.76 c	2.68 a	0.17
Altura de mazorca (m)	1.82 a	1.14 b	1.90 a	0.14	1.71 a	0.93 b	1.74 a	0.14
Altura Mazorca/Planta	0.71 a	0.57 b	0.68 a	0.03	0.68 a	0.53 c	0.65 b	0.04
<b>Caracteres de mazorca</b>								
Long de mazorca (cm)	15.65 a	14.52 b	15.29 a	0.68	15.79 a	14.03 b	15.45 a	0.60
Diámetro de mazorca (cm)	4.81 a	4.74 a	4.86 a	0.12	4.72 a	4.63 b	4.73 a	0.08
Diámetro olote (cm)	2.47 a	2.47 a	2.50 a	0.06	2.45 a	2.49 a	2.45 a	0.06
Diámetro olote/mazorca	0.51 a	0.52 a	0.52 a	0.01	0.52 b	0.54 a	0.52 b	0.01
Porcentaje de grano (%)	89.58 a	87.76 b	89.91 a	0.98	88.20 a	86.13 b	88.33 a	0.94
Porcentaje de olote (%)	10.42 b	12.24 a	10.09 b	0.98	11.80 b	13.87 a	11.67 b	0.94
<b>Caracteres de grano</b>								
Long de grano (cm)	1.17 a	1.14 a	1.18 a	0.05	1.14 a	1.07 b	1.14 a	0.04
Ancho de grano (cm)	0.93 a	0.93 a	0.92 a	0.02	1.01 a	1.06 a	1.02 a	0.03
No. Hileras en la mazorca	13.76 b	13.66 b	14.03 a	0.25	12.60 a	12.34 a	12.52 a	0.27
No. Granos por hilera	31.39 a	30.26 a	31.22 a	1.61	30.40 a	28.66 b	30.08 a	0.92

Medias con letras diferentes dentro de filas y dentro de color de grano son estadísticamente diferentes con Tukey  $\alpha=0.05$ ; DHS: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds: días después de la siembra.

Otro factor de interacción genotipo – ambiente entre localidades es la altura sobre el nivel del mar, siendo la diferencia entre Ayapango y Montecillo de 188 m (Cuadro 3.2), esta diferencia influyó en el rendimiento de las poblaciones existiendo una diferencia de 1013 kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento a favor de la localidad de Montecillo para las poblaciones color azul y

una diferencia de 2045 kg ha<sup>-1</sup> para las poblaciones de color rojo, estas diferencias son las mínimas ya que con respecto a Ayapango y Mixquiahuala se incrementan las diferencias (Cuadro 3.4). En el mismo Cuadro 3.4, se observa que el número de días a floración masculina en la localidad de Ayapango fueron de 110.35 y 113.50 para las poblaciones azules y rojas, respectivamente, esto representa diferencias en promedio para los dos grupos de poblaciones de maíces con grano de color azules y rojos de 19 días entre las localidades de Ayapango y Montecillo y de 29 días entre Ayapango y Mixquiahuala, estas son diferencias importantes atribuidas a la influencia del ambiente sobre las poblaciones evaluadas. Entre las localidades de Montecillo y Mixquiahuala no existió diferencia estadística con respecto al rendimiento, aunque existe una diferencia considerable entre altitudes con respecto al nivel del mar de 248 m; pero donde si se observa la diferencia de alturas entre localidades es en el número de días a floración masculina con 13 días de diferencia, por lo cual se puede mencionar que no fue afectado el rendimiento con respecto a los días a floración entre las localidades de Montecillo y Mixquiahuala en las poblaciones de maíces azules y rojos.

La mayoría de las colectas realizadas en el Estado de México son provenientes del Oriente de este estado y por reportes en estudios anteriores en varias poblaciones de variantes de la raza Chalqueño se tienen registros de rendimientos de 4.8 a 6.0 ton ha<sup>-1</sup> (González, 2007), principalmente de los denominados como Elotes Chalqueños (Herrera *et al.*, 2004). Por su parte Antonio *et al.* (2004) mencionan que el rendimiento de grano de variedades de maíz azul raza Chalqueño varía de 2.9 a 5.4 ton ha<sup>-1</sup>. Por lo anterior, no se esperaba que las poblaciones con grano de color azul y rojo provenientes del Oriente del Estado de México descritas como variantes de la raza Chalqueño tuvieran bajos rendimientos en promedio en la localidad de Montecillo con 1825 kg ha<sup>-1</sup> (Anexos 5 y 6), esto

por la cercanía entre las localidades de colecta y la localidad de evaluación de aproximadamente 35 km en línea recta, además de que en Montecillo no existió restricción de humedad debido a los riegos de auxilio aplicados durante el cultivo y por la aplicación de fertilizantes; sin haber sido el mismo manejo en Ayapango, pues en esta localidad fueron bajo condiciones de temporal y sin la aplicación de fertilizantes; aún bajo estas condiciones las poblaciones colectadas en esta zona obtuvieron los mejores rendimientos en promedio con  $2332 \text{ kg ha}^{-1}$  para ambos grupos de poblaciones de color de grano (Anexos 5 y 6). Lo que demuestra que las poblaciones originarias tienen una alta adaptación a las condiciones de esta zona. Con respecto al bajo rendimiento de las poblaciones del Oriente del Estado de México en Montecillo se puede mencionar que estas poblaciones tienen fuertes limitantes de adaptación a esta zona; debido a la interacción genotipo – ambiente; por el tipo de suelo que es más salino, aunado a las diferencias de clima y altura.

No se esperaba que las poblaciones colectadas de los estados de Guerrero y Oaxaca, presentaran rendimientos altos, ya que en sus localidades de origen no se reportan rendimientos superiores a  $2.0 \text{ ton ha}^{-1}$ . Por ejemplo, en la región Mixteca, de donde provienen la mayoría de las poblaciones del estado de Oaxaca, se siembran alrededor de 120 mil hectáreas; del total, 87.6 % corresponden a siembras de temporal en monocultivo o en asociación con un rendimiento promedio de  $1.32 \text{ ton ha}^{-1}$  (SEIDRUS, 2009). Por su parte, Chávez *et al.* (2011) en un estudio de evaluación de 100 colectas de maíz provenientes de la Mixteca oaxaqueña, encontró variaciones en rendimiento de grano de 0.5 a  $3.86 \text{ ton ha}^{-1}$ . Los resultados aquí mostrados de las poblaciones del estado de Oaxaca en la localidad de Montecillo presentan el mejor promedio para ambos colores de maíces con  $4406 \text{ kg ha}^{-1}$  seguidas por las poblaciones del estado de Guerrero con  $4099 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Con estos resultados se puede mencionar que sólo con cambiar de ambiente a las poblaciones de maíz, se pueden obtener ganancias en rendimiento de grano, sin tener que realizar un método de mejoramiento genético y sin la utilización de los recursos que estos esquemas requieren. La localidad de Mixquiahuala en Hidalgo fue la mejor en promedio de rendimiento de grano para todas las poblaciones; en esta localidad con 2006 msnm, las poblaciones originarias del estado de Oaxaca obtuvieron el mejor rendimiento en promedio con 4193 kg ha<sup>-1</sup>, seguidas por las colectas realizadas en los estados de Hidalgo, Guerrero y Michoacán con 3952, 3719 y 3593 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Las poblaciones con menor rendimiento fueron las del Distrito Federal y Puebla (Anexos 5 y 6). Con la evaluación de las poblaciones en la localidad de Mixquiahuala, Hidalgo también se puede observar que al introducir poblaciones a ambientes más favorables se pueden detectar materiales de alto potencial para incrementar los rendimientos de maíces nativos, sin la necesidad de utilizar métodos de mejoramiento genético. De esta evaluación resulta interesante que las poblaciones de Oaxaca y Guerrero presentan en promedio buen rendimiento en las tres localidades donde se evaluaron, lo cual permitiría orientar esta respuesta en trabajo futuro de aprovechamiento por recombinación de germoplasma y mejoramiento genético, considerando para los propósitos de este estudio, el rendimiento de grano de maíces nativos pigmentados.

Las principales razas representadas en las poblaciones de maíces con grano color azul y rojos fueron variantes de Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho; además del complejo Chalqueño – Celaya en las poblaciones de color rojo, estas tuvieron influencia de otras, como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo. Las poblaciones de maíces de grano azul que se agruparon en el grupo Mixteco fueron las que obtuvieron mayor rendimiento en

promedio con 3608 kg ha<sup>-1</sup> y el grupo Cónico fue el de menor rendimiento con 2184 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3.5). Los grupos Mixteco y Ancho que obtuvieron los más altos rendimientos, también fueron los que tuvieron mayor número de días a floración masculina con 100.94 y 101.12, respectivamente. También resulta interesante que los grupos Ancho y Mixteco resultaron con menor porcentaje de mazorcas podridas, siendo éste un factor de sanidad que permite incrementar el rendimiento (Cuadro 3.5), al respecto López (1991) indica que los patógenos *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.* y *Diplodia spp.*, entre otros, son los causantes de la pudrición de la mazorca y granos; el mismo autor menciona que los patógenos reducen el rendimiento y el valor nutritivo al producir metabolitos secundarios tóxicos en el campo y durante el almacenamiento, que dan lugar a diversas enfermedades en el hombre y los animales domésticos.

**Cuadro 3.5.** Comparación de medias entre grupos de variantes raciales de poblaciones nativas de grano azul y rojo evaluadas en Ayapango y Montecillo, Edo. Méx. y Mixquiahuala, Hgo.

Carácter	Grano Azul					Grano Rojo					
	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	DHS	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	Chalqueño-Celaya	DHS
<b>Caracteres agronómicos</b>											
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	2498 c	2184 d	3608 a	2991 b	215	2053 c	2437 c	3595 b	3260 b	4193 a	452
Floración masculina (dds)	96.33 b	85.35 c	100.94 a	101.12 a	0.88	92.79 c	78.29 d	97.84 b	99.34 ab	100.16 a	1.91
Acame de raíz (%)	19.82 a	12.21 b	11.53 b	5.67 c	2.68	16.45 a	4.47 bc	5.90 bc	3.10 c	7.25 b	3.83
Acame de tallo (%)	7.86 b	12.86 a	7.02 b	12.95 a	2.04	6.67 b	11.76 a	7.32 b	8.35 b	6.41 b	2.97
Mazorcas sanas (%)	71.75 b	65.86 c	86.39 a	87.64 a	2.78	68.47 c	74.57 b	87.69 a	88.37 a	89.04 a	4.95
Mazorcas podridas (%)	22.50 a	20.36 a	8.50 b	7.92 b	2.90	27.25 a	19.36 b	8.01 c	7.64 c	7.45 c	4.91
<b>Caracteres vegetativos de la planta</b>											
Altura de planta (m)	2.55 a	2.13 c	2.59 a	2.28 b	0.06	2.32 b	1.67 d	2.34 b	2.18 c	2.60 a	0.14
Altura de mazorca (m)	1.71 a	1.34 c	1.76 a	1.41 b	0.05	1.51 b	0.89 d	1.47 b	1.28 c	1.70 a	0.11
Altura Mazorca/Planta	0.66 a	0.63 b	0.67 a	0.60 c	0.01	0.64 a	0.52 c	0.62 a	0.57 b	0.65 a	0.03
<b>Caracteres de mazorca</b>											
Long de mazorca (cm)	14.99 c	13.76 d	16.02 b	16.57 a	0.31	13.76 c	11.65 d	15.53 b	16.68 a	16.98 a	0.71
Diámetro de mazorca (cm)	5.07 a	4.60 c	4.58 c	4.89 b	0.07	4.93 b	4.40 e	4.55 d	4.70 c	5.23 a	0.13
Diámetro olote (cm)	2.52 b	2.26 d	2.47 c	2.82 a	0.05	2.36 d	2.23 e	2.46 c	2.57 b	2.81 a	0.10
Diámetro olote/mazorca	0.50 c	0.49 c	0.54 b	0.58 a	0.01	0.48 c	0.51 b	0.54 a	0.55 a	0.54 a	0.02
Porcentaje de grano (%)	89.72 b	90.77 a	88.62 c	85.77 d	0.93	90.20 a	90.23 a	86.97 b	85.83 b	85.95 b	1.50
Porcentaje de olote (%)	10.28 c	9.23 d	11.38 b	14.23 a	0.93	9.80 b	9.77 b	13.03 a	14.17 a	14.05 a	1.50
<b>Caracteres de grano</b>											
Long de grano (cm)	1.28 a	1.17 b	1.06 c	1.04 c	0.03	1.29 a	1.09 c	1.04 c	1.07 c	1.21 b	0.06
Ancho de grano (cm)	0.91 b	0.86 c	0.92 b	1.16 a	0.02	0.93 c	0.81 d	0.99 b	1.27 a	0.99 b	0.05
No. Hileras en la mazorca	14.72 a	14.13 b	13.32 c	11.45 d	0.28	13.94 a	14.29 a	12.33 b	9.94 c	14.13 a	0.53
No. Granos por hilera	29.86 b	28.28 c	33.79 a	33.10 a	0.70	26.53 c	24.14 d	30.90 b	31.73 b	33.55 a	1.48

Medias con letras diferentes dentro de filas y dentro de color de grano son estadísticamente diferentes con Tukey  $\alpha=0.05$ ; DHS: Diferencia Mínima Significativa Honesta; dds: días después de la siembra.

Para el caso de las poblaciones de maíz con grano color rojo, que se agruparon en el grupo Chalqueño–Celaya fueron las que obtuvieron mayor rendimiento con 4193 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de los grupos Mixteco y Ancho con 3595 y 3260 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3.5). Por otro lado, como se esperaba, las poblaciones que se agruparon en el grupo Cónico

fueron las más precoces con 78.3 días en promedio a la floración masculina y los grupos Ancho y Chalqueño-Celaya fueron los más tardíos (Cuadro 3.5). Las poblaciones rojas con mayor rendimiento fueron las que se ubicaron en los grupos Ancho, Chalqueño–Celaya y Mixteco, y al igual que en las poblaciones azules, también en estos grupos se presentó el mayor porcentaje de mazorcas sanas, lo que permite a estas obtener mejores rendimientos. El porcentaje de acames en ambas poblaciones de color azul y rojo y por grupo de variantes raciales, presentaron promedios por debajo de los reportados para los Valles Altos Centrales de México donde se siembran variedades nativas de maíz adaptadas a esta región pero que son susceptibles al acame de tallo y de raíz (Wellhausen *et al.*, 1951) con incidencia de 19 y 69 %, respectivamente (Morán *et al.*, 1993; Morales *et al.*, 2005). Con respecto al acame se ha observado que este incrementa la incidencia de pudrición de mazorca y por consiguiente, puede reducir el rendimiento de grano (Niño *et al.*, 1998; González y Larios, 1993).

Las poblaciones de maíz de grano azul del grupo Mixteco y las poblaciones de maíz con grano rojo del grupo Chalqueño–Celaya destacaron por su alto potencial de rendimiento, como grupo e individual, ya que de estas poblaciones también se obtuvo el mayor rendimiento con las poblaciones 91 (azul) y 45 (roja) con 8213 y 6314 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; la colecta 91 obtuvo este rendimiento en Mixquiahuala y la colecta 45 en Montecillo (Cuadros 3.6 y 3.7). No se cuenta con reportes de rendimiento tan altos como los que se presentan en este trabajo para variantes de la raza Mixteco; al respecto, Arellano *et al.* (2003) mencionan que el potencial productivo de las razas de maíz azul ha sido poco evaluado y aún menos las variantes de color rojo; que los altos rendimientos que se pueden alcanzar son sólo cuando las condiciones de cultivo sean las mejores y que se han detectado rendimientos de hasta 10.5 ton ha<sup>-1</sup> en maíces azules de la raza Chalqueño.

**Cuadro 3.6.** Rendimiento de grano de poblaciones de maíz de grano azul, sobresalientes por grupos de variantes raciales, evaluadas en tres localidades.

Chalqueño			Cónico			Mixteco			Ancho		
Loc	Pobn	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Mixq	39	6547	Mixq	74	4131	Mixq	91	8213	Mont	98	4813
Mixq	40	6113	Aya	35	3783	Mixq	47	6391	Mixq	97	4655
Mixq	90	5999	Mixq	35	3430	Mont	57	5856	Mont	105	4506
Mont	50	5429	Mixq	71	3233	Mont	52	5854	Mont	102	4362
Mont	90	4358	Mixq	73	3127	Mont	47	5804	Mont	97	4352
Mixq	8	4356	Mixq	72	3107	Mont	58	5634	Mixq	105	4328
Mixq	99	4139	Mixq	83	2992	Mont	62	5610	Mixq	98	4323
Mixq	50	4097	Mixq	79	2986	Mixq	62	5550	Mont	92	4159
Mixq	28	4020	Mixq	82	2966	Mixq	45	5486	Mont	104	4112
Mixq	27	3937	Mixq	69	2883	Mixq	56	5280	Mixq	101	4111
Mixq	33	3878	Aya	78	2725	Mont	58	5224	Mont	100	4093
Mixq	95	3847	Aya	73	2721	Mont	88	5171	Mixq	100	4020
Mixq	94	3833	Mixq	85	2704	Mont	45	5145	Mont	96	3815
DMS		821			742			987			826

Mixq: Mixquiahuala, Hgo.; Mont: Montecillo, Edo Méx.; Aya: Ayapango, Edo Méx.; Loc. Localidad; Pobn: Población.

**Cuadro 3.7.** Rendimiento de grano de poblaciones de maíz de grano rojo, sobresalientes por grupos de variantes raciales, evaluadas en tres localidades.

Chalqueño			Cónico			Mixteco			Ancho			Chalqueño-Celaya		
Loc	Pobn	Rend (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rend (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rend (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rend (kg ha <sup>-1</sup> )	Loc	Pobn	Rend (kg ha <sup>-1</sup> )
Mixq	2	3513	Mixq	41	3357	Mont	40	5863	Mixq	59	5903	Mont	45	6614
Mixq	5	3371	Mixq	42	3177	Mont	20	5842	Mont	47	5386	Mixq	45	5654
Aya	3	3231	Mont	41	2292	Mont	19	5831	Mont	49	4884	Mixq	46	5526
Mixq	6	3101	Aya	42	1962	Mont	21	5771	Mont	59	4847	Mont	46	4154
Mixq	3	3059	Mont	42	1842	Mont	26	5423	Mont	48	4793	Mixq	54	3640
Mont	61	2984	Aya	41	1682	Mont	31	5343	Mont	53	4703	Mont	54	3593
Mixq	12	2977				Mont	18	5323	Mixq	51	4554	Aya	45	1355
Aya	4	2871				Mont	33	5303	Mixq	49	4473	Aya	54	400
Mont	9	2816				Mont	37	5174	Mont	52	4161			
Aya	5	2692				Mont	29	5161	Mont	50	4146			
Aya	2	2663				Mont	39	5149	Mont	51	3944			
Aya	7	2569				Mixq	16	5140	Mixq	14	3818			
Aya	8	2533				Mixq	20	5078	Mixq	52	3679			
DMS		695			474			823			795			1300

Mixq: Mixquiahuala, Hgo.; Mont: Montecillo, Edo Méx.; Aya: Ayapango, Edo Méx.; Loc: Localidad; Pobn: Población; Rend: Rendimiento.

La interacción poblaciones x ambientes indica que el comportamiento promedio de los grupos raciales resultó asociado con los ambientes de evaluación. En el cuadro 3.8, se observa el rendimiento de grano entre los grupos de variantes de razas y las localidades en las que se evaluaron. En general se puede mencionar que los grupos de poblaciones de color azul y rojo se comportaron de manera similar en las diferentes localidades, siendo en la localidad de Mixquiahuala donde se obtuvieron los mejores rendimientos para las poblaciones de color azul y rojo, excepto para el grupo azul Ancho que su rendimiento fue mejor en la localidad de Montecillo, así como para los grupos de color rojo Mixteco y Ancho, en la misma localidad.

Las poblaciones tuvieron un comportamiento diferente en los ambientes de evaluación, lo cual era de esperarse por la diversidad de sitios de procedencia y de las combinaciones genéticas presentes en ellas. La respuesta de interacción poblaciones x ambientes (Cuadro 3.8) puede ser útil para identificar a los grupos de poblaciones con adaptación específica a las condiciones de los sitios incluidos en el estudio. Y de esta manera, como menciona Castillo (1993), se debe primero estudiar y posteriormente utilizar la variabilidad genética, para determinar la dirección de su aprovechamiento, para lograr un mejor uso de los genotipos y relacionarlos con su área de adaptación.

**Cuadro 3.8.** Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) de maíz entre grupos de variantes raciales de poblaciones azules y rojas evaluadas en tres localidades.

Localidad	Grano azul					Grano rojo					
	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	DMS	Chalqueño	Cónico	Mixteco	Ancho	Chalqueño-Celaya	DMS
Montecillo	2108 b <sup>2</sup>	1748 b <sup>3</sup>	4138 a <sup>2</sup>	3961 a <sup>1</sup>	382	1568 b <sup>3</sup>	2067 b <sup>2</sup>	4512 a <sup>1</sup>	4328 a <sup>1</sup>	4787 a <sup>1</sup>	752
Ayapango	2195 a <sup>2</sup>	2088 ab <sup>2</sup>	1740 b <sup>3</sup>	719 c <sup>2</sup>	394	2112 a <sup>2</sup>	1822 a <sup>2</sup>	1627 a <sup>3</sup>	894 b <sup>2</sup>	973 b <sup>2</sup>	650
Mixquiahuala	3063 c <sup>1</sup>	2538 d <sup>1</sup>	4457 a <sup>1</sup>	3674 b <sup>1</sup>	377	2470 d <sup>1</sup>	3267 c <sup>1</sup>	4170 b <sup>2</sup>	3934 bc <sup>1</sup>	4940 a <sup>1</sup>	674
DMS	221	257	310	436		303	586	262	440	1400	

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas dentro de color de grano y números diferentes en subíndice indican diferencias significativas dentro de columnas; DMS: Diferencia mínima significativa ( $\alpha = 0.05$ ).

Con los resultados de esta evaluación se demuestra el alto potencial de rendimiento que tienen los maíces nativos ya que existe una gran variación para rendimiento al ser una característica cuantitativa y el potencial de rendimiento se encuentra en la diversidad del maíz, la cual ha sido manejada y conservada por los agricultores de maíces nativos durante siglos. Tal vez este tipo de trabajos sirvan para responder la pregunta de los funcionarios, ¿México puede revertir el déficit de productividad en el país para recuperar su autosuficiencia y soberanía en maíz? Si se toma en cuenta que la mayor parte de las unidades de producción de pequeña y mediana escalas opera a menos de 50 % de su potencial, trabajos como éste indican que sí es posible, identificando políticas de mayor probabilidad de éxito. El examen minucioso de las ganancias en productividad y del potencial de México en sus contrastantes sectores productivos de maíz -bajo riego y bajo temporal, escalas industrial y pequeña, adopción de híbridos y manejo de razas nativas- así como sus reservas de recursos naturales, ha de concluirse que México tiene el potencial para recuperar su autosuficiencia en maíz en un plazo relativamente corto, basándose en tecnologías existentes y sin recurrir al uso del controvertido maíz transgénico.

Las evidencias sugieren que México puede aumentar su producción anual de maíz en sus tierras actualmente cultivadas, desde 23 hasta 33 millones de toneladas en un período de 10 a 15 años, lo que eliminaría el déficit actual de 10 millones de toneladas anuales. Con proyectos de infraestructura y de riego en el sur-sureste del país se añadiría 24 millones de toneladas al año. Esto sería suficiente para satisfacer la creciente demanda nacional de maíz que se espera llegue a ser de 39 millones de toneladas anuales hacia el año 2025 (Turrent *et al.*, 2012)

Sin embargo, debido a la gran diversidad de condiciones que existen en México en el manejo agronómico de maíz, se requieren cientos de variedades mejoradas, ya que se estima que podría usarse una variedad por cada cinco mil hectáreas como máximo, lo que significa que se necesitarían 1000 variedades para cubrir cinco millones de hectáreas, la superficie en México, con semilla adecuada (Turrent *et al.*, 2012). Dichas variedades deberán contar con las características de deseabilidad que propicien su uso reiterado, por lo que tiene que ser semilla certificada, aun para provincias agronómicas de mediana productividad, para lo cual se deben emplear todos los elementos tecnológicos disponibles.

### 3.4 CONCLUSIONES

Las poblaciones con grano de color azul del Grupo Mixteco obtuvieron los mejores rendimientos con un promedio de 3608 kg ha<sup>-1</sup> y las poblaciones del grupo Cónico fueron las de menor rendimiento con 2184 kg ha<sup>-1</sup>. Para las poblaciones de grano color rojo, el Grupo Chalqueño-Celaya fue el que obtuvo el mejor rendimiento con 4193 kg ha<sup>-1</sup> y los Grupos Chalqueño y Cónico resultaron con menor rendimiento 2053 y 2437 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Las poblaciones 91 (azul) y 45 (rojo) del Grupo Mixteco y Chalqueño-Celaya fueron las que mayor rendimiento obtuvieron con 8213 y 6614 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ambas colectadas realizadas en el Estado de Hidalgo.

Las poblaciones de maíz con color de grano azul y rojo tuvieron un comportamiento diferente en los ambientes de evaluación, lo cual era de esperarse por la diversidad de sitios de procedencia y de las combinaciones genéticas presentes en ellas. La respuesta de interacción poblaciones x ambientes puede ser útil para identificar a las poblaciones con adaptación específica a las condiciones de los sitios incluidos en el estudio.

Los resultados de este trabajo mostraron que existe alto potencial de rendimiento en las poblaciones de maíces nativos pigmentados de Valles Altos de México, las cuales pueden ser utilizadas para programas de mejoramiento y a su vez, para resolver el problema de la falta de autosuficiencia de este cultivo.

### 3.5 BIBLIOGRAFÍA

- Antonio M M, J L Arellano V, G García S, S Miranda C, J A Mejía C, F V González C (2004)** Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Méx.* 27:9-15.
- Arellano V J L, C Tut C, A María R, Y Salinas M, O R Taboada G (2003)** Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Méx.* 26:101-107.
- Arias-Reyes L, L Latournerie-Moreno, D Jarvis, D Williams, J D Chavez-Servia, E Sauri-Duch (2006)** In situ conservation of agricultural biodiversity of Milpa in Yucatan. *Proc. Internat. Conf. Ecological Society America. Mérida, Yucatán, México.* <http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/esai2006/document/58909> (Oct. 2008).
- Beck D y J L Torres (2003)** Recent Advances in CIMMYT's Highland Maize Program. *In* Book of abstracts: Arnel R. Hallauer International Symposium on Plant Breeding; Mexico, D.F. (Mexico); CIMMYT.
- Castillo G F (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *In:* Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica. México. No. especial. 69-79 pp.
- Castillo G F, L M Arias, R Ortega P and F Márquez S (2000)** Participatory breeding, seed networks and grassroot strengthening. Mexico. *In:* D. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears (Eds.), *Conserving agricultural diversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture.* IPGRI, Rome, Italy. Proceedings of a workshop. Pokhara, Nepal. 1-12 July, 1999.

- Chávez S J L, P Diego F, J C Carrillo R (2011)** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai*, (1): 107-115.
- Dickerson W G (2003)** Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. Cooperative extension service, college of agriculture and home economics. New Mexico State University. Las Cruces, NM. 2 p.
- Elías-Calles E S, B S Sánchez, P E Hernández P, S Muciño S (2003)** Proyecto Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología en el Estado de México: Cadena de Maíz Grano Valles Altos. Instituto de Investigación y Capacitación, Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). Metepec, Estado de México, México.
- García E (1988)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. pp 120-137.
- García Z J, J Molina G, J López R (2002)** La selección masal como método para obtener líneas de alta aptitud combinatoria específica en maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:299-304.
- Gonzalez G M (2007)** Diversidad del maíz: Potencial agronómico y perspectivas para su conservación y desarrollo in situ, en el sur este del Estado de México. Tesis de doctorado IREGEP-Genética. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco Estado de México. 137 p.
- González H A y Larios G M A (1993)** Estudio comparativo del rendimiento de grano en maíz: 7 híbridos experimentales, 2 variedades sintéticas y 7 criollos sobresalientes. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 1:19-26.
- Goodman M M (1991)** Retos y perspectivas para el fitomejoramiento futuro: uso del germoplasma y de la genética molecular. *Revista Fitotecnia Mexicana* 14:11-22.

- Hernández C J M, G Esquivel E (2004)** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (Núm. Esp. 1):27-31.
- Herrera C B E, Castillo G F, Sánchez G J J, Hernández C J M, Ortega P R y M Goodman M (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38(2):191-206.
- Herrera C B E (1999)** Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis D. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 141p.
- Iraní N G, M Hernández J, E Grotewold (2003)** Regulation of anllio-cyaninpigmentation. *Rec. Adv. Phylochem.* 37:59-73.
- Johnson D L, M N Jha (1993)** Blue corn. *In: Janick, J. and Simon J.E. (eds.), New crops.* Wiley, New York. p. 228-230.
- Kato T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 pp.
- López B L (1991)** Cultivos herbáceos. Vol. 1 Cereales. Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. pp 307-385.
- Márquez S F (2005)** Consideraciones generales sobre el mejoramiento de maíces criollos. *In: Mem. Primera Reunión de Mejoradores de Variedades Criollas de Maíz en México.* L F Márquez O (ed). Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22-23 Sep. 2005. Centro Regional Universitario, Universidad Autónoma Chapingo. SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. pp:153-162.

- Morales R M M, Ron P J, Sánchez G J J, Ramírez D J L, De la Cruz L L, Mena S M, Hurtado S P y Chuela B M (2005)** Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados en la década de 1990. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):115-126.
- Morán R V, Ramírez D J L y Ron P J (1993)** Ganancia genética de variedades mejoradas de maíz liberadas en diferentes épocas. *Rev. Fitotec. Mex.* 16(2):102-112.
- Niño C V, Nicolás M C, Pérez L D J y González H A (1998)** Estudio de trece híbridos y cinco variedades de maíz en tres localidades del Valle Toluca-Atlacomulco. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 12:33-43.
- Ortega P R A, J J Sánchez G, F Castillo G, J M Hernández C (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avance en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* Ortega P R, G Palomino H, F Castillo G, V A González H, M Livera M (eds). SOMEFI. Chapingo, México. pp:161-185.
- Ortega P R (1985)** Recursos genéticos para el mejoramiento de maíz en México. Primera parte: Análisis general. *Boletín de intercambio técnico y científico de la SOMEFI.* Germen 3:19-36.
- Russell R J (1968)** Evolution and classification of the pocket gophers of the subfamily Geomyinae. *Univ. Kansas Pubis. Museum Nat. Hist* 16(6): 473-579.
- SAGARPA-SIAP (2012)** Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Talleres Gráficos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México, D. F. 131 p.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany.* 54: 43-59.

**SAS Institute (2002)** Statistical analysis system. User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

**Sistema Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SEIDRUS) (2009)**  
Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de Oaxaca. Disponible en: [http://www.oeidrusportal.gob.mx/oeidrus\\_oax/](http://www.oeidrusportal.gob.mx/oeidrus_oax/).

**Toledo M A, J Arcanjo N, C Torres T, L L Nass, F C da Rocha B (2006)** Mejoramiento participativo en maíz: su contribución en el empoderamiento comunitario en el municipio de Muqui, Brasil. *Agron. Mesoam.* 17:393–405.

**Turrent A, J A Serratos (2004)** Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. In: *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. Secretariat Article 13 Report. Commission for Environmental Cooperation of North America. Montreal, Canada. Disponible en: [http://www.cec.org/files/PDF//Maize-Biodiversity-Chapter 1\\_en.pdf](http://www.cec.org/files/PDF//Maize-Biodiversity-Chapter 1_en.pdf) (Oct. 2008).

**Turrent F A, Wise T A y Garvey E. (2012)** Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Universidad de Tufts. Mexican Rural Development Research Reports. Reporte 24.

**Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con Mangelsdorf (1951)**  
Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 223 p.

## CAPITULO IV

### CALIDAD DE PROTEÍNA EN MAÍCES NATIVOS PIGMENTADOS DE LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

#### RESUMEN

El conocimiento de la diversidad genética de los maíces nativos (*Zea mays* L.) prevaecientes en los Valles Altos de México, coadyuva a su conservación y utilización. Se han hecho pocos estudios de los atributos nutritivos de estos maíces en beneficio de los productores de maíces nativos propietarios de dicho patrimonio fitogenético. En un estudio previo se exploró la diversidad genética de 169 poblaciones de Valles Altos del Centro-Sur de México, de las cuales 108 son de grano color azul y 61 de grano color rojo, en las que se identificó como primera referencia la presencia de variantes de las razas Chalqueño, Cónico, Mixteco, Ancho y Chalqueño-Celaya, con influencia de otras. Con el fin de conocer la variación genética de las 169 poblaciones de maíz en cuanto a la calidad de proteína por medio de la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) se cuantificó proteína total, triptófano y lisina, para identificar grupos raciales y poblaciones con alta calidad. Las determinaciones se realizaron en 2010, en el laboratorio de nutrición del CIMMyT y se utilizó semilla de cruza planta-planta de cada población, de la evaluación agronómica que se realizó en 2009 en la localidad de Montecillo en el Estado de México. Las poblaciones azules del Grupo Chalqueño tienen en promedio mayor contenido de triptófano con 0.068 % y las poblaciones de color rojo en los grupos Chalqueño, Cónico y Mixteco resultaron con mayor contenido de lisina 0.349, 0.352 y 0.346 %, respectivamente. Se identificaron las poblaciones de maíz azul 13, 40, 58, 70 y 76, con valores superiores a 0.078 % de triptófano y 0.402 % de lisina como poblaciones con alta calidad proteica. Con lo anterior se puede mencionar que la calidad de proteína en el maíz se debe a varios genes que la determinan y que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos.

**Palabras clave:** *Zea mays*, maíces nativos pigmentados, calidad proteínica, Valles Altos.

## QUALITY PROTEIN OF PIGMENTED NATIVE MAIZE OF MEXICO'S HIGH VALLEYS

### SUMMARY

The knowledge of the genetic diversity of native maize (*Zea mays* L.) prevailing in Mexico's high valleys, contribute to their preservation and use. There have been performed few studies of the nutritional attributes of these corns for the benefit of native maize producers owning this fitogenetic heritage. A previous study explored the genetic diversity of 169 populations of Central-Southern Mexico's high valleys, of which 108 are blue maize populations and 61 are red maize populations, in which there was identified as a first reference the presence of variants from the races *Chalqueño*, *Cónico*, *Mixteco*, *Ancho* and *Chalqueño-Celaya*, with influence of others. With the aim of knowing the genetic variation of these 169 maize populations regarding the quality of protein, total protein, tryptophan and lysine were quantified using near infrared reflectance (NIR) in order to identify racial groups and populations with high quality of protein. Measurements were made in 2010, at the nutrition laboratory of CIMMYT, and there were used plant-plant cross seed from each population of the agronomic evaluation conducted in 2009, at Montecillo locality in the State of Mexico. *Chalqueño* group blue populations have on average a higher tryptophan content with 0.068 % and red populations in *Chalqueño*, *Cónico* and *Mixteco* groups showed a higher lysine content with 0.349, 0.352 and 0.346 %, respectively. Populations 13, 40, 58, 70 and 76 were identified as stocks of high quality of protein blue grain maize, with higher tryptophan and lysine values of 0.078 0.402 %, respectively. For all the above reasons it can be concluded that the quality of protein in maize is due to several genes that determine it and which are found in maize diversity in its different alleles.

**Keywords:** *Zea mays*, pigmented native maize, protein quality, high valleys.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

En México existe diversidad genética y fenotípica entre y dentro de las razas de maíz, que incluye la variación en color del grano desde blanco, amarillo, rojo y hasta negro, con diferentes grados de intensidad (Hernández, 1985). Los granos amarillos contienen carotenoides, los rojos y negros tienen antocianinas, mientras que los blancos carecen de estos pigmentos (Ford, 2000). Actualmente, se reconoce la relevancia nutracéutica de las antocianinas como antioxidantes, anticancerígenas y reductoras de triglicéridos y de colesterol (De Pascual y Sánchez, 2008). Aun cuando México es un país rico en maíces con este tipo de pigmentos, no se les ha dado la importancia como recurso genético para generar conocimiento que haga eficiente su aprovechamiento.

Desde hace tiempo, concretamente desde 1914, se conoce la baja calidad de las proteínas del maíz, cuando se descubrió que la zeína está casi desprovista de lisina y triptófano. A partir de entonces se hicieron algunos esfuerzos exitosos para aumentar el contenido de proteínas del maíz y el ejemplo clásico es la experimentación para alto contenido de proteínas a largo plazo, llevada a cabo en una población de maíz en la Estación Agrícola Experimental de Illinois. Después de 70 ciclos de selección, el contenido de proteína del grano se incrementó de 10,9 a 26,6 % (Dudley *et al.*, 1974). No se ha alcanzado un límite para seleccionar niveles más altos de proteínas, pero existe una correlación negativa entre el rendimiento de grano y el porcentaje de proteína en el mismo (Dudley y Lambert, 1992). Sin embargo, y tal como se esperaba, el incremento en el porcentaje de proteína no mostró un aumento proporcional en el valor nutricional del maíz (Poehlman, 1987).

El descubrimiento del efecto químico del mutante opaco-2 (*o2*) en la composición de la proteína del maíz por un aumento en el contenido de lisina y triptófano del endospermo, hecho por Mertz, Bates y Nelson (1964) llevó a un renovado interés y a esfuerzos para mejorar la calidad nutricional de la proteína del maíz. La transferencia del gen *o2* al maíz normal fue relativamente simple: esta transferencia se llevó a cabo cruzando un maíz normal con un mutante *o2* y seleccionando fenotípicamente los granos opacos. El maíz *o2* mostró un incremento significativo en el contenido de lisina y triptófano del endospermo y, por lo tanto, mejoró la calidad nutricional. Sin embargo, el gen *o2* trajo consigo varias deficiencias fenotípicas inherentes; textura blanda del endospermo y pobre apariencia opaca del grano; mayor susceptibilidad a los hongos de la pudrición de la mazorca y al daño de los insectos en el campo y en el almacenamiento; mayor contenido de humedad del grano en el momento de la cosecha; pericarpio más grueso y una baja germinación de la semilla, y por sobre todo, rendimientos más pobres (Vasal *et al.*, 1980; Villegas *et al.*, 1992; Bjarnason y Vasal, 1992; Magnavaca *et al.*, 1993; Vasal, 1994). En vista de esos problemas se intentaron alternativas de mejoramiento para aumentar la calidad de las proteínas (Vasal, 1994), éstas fueron: a) búsqueda de nuevos y mejores mutantes; b) alteración de la proporción germen/endospermo; c) aumento del contenido de lisina en las poblaciones normales de maíz, por medio de selección recurrente; d) combinaciones dobles de mutantes tales como opaco-2 y harinoso-2, u opaco-2 y azucarado-2; y, e) selección recurrente del maíz con múltiples capas de aleurona. Estos métodos de mejoramiento fueron efectivos para eliminar los problemas relacionados con el gen *o2*, pero no fueron suficientes para solucionar el problema de los bajos rendimientos. El incremento en calidad de las proteínas no fue tan espectacular cuando se utilizaron dos combinaciones de mutantes como cuando se utilizaba solamente el gen *o2*.

Los investigadores de maíz en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en México desarrollaron procedimientos para combinar la interacción del gen *o2* y de modificadores genéticos para obtener germoplasma de maíz con endospermo con proteínas de calidad (Vasal *et al.*, 1980; Bjarnason y Vasal. 1992; Villegas *et al.*, 1992; Vasal, 1994).

Al menos se han descrito 18 mutantes que causan un fenotipo suave, endospermo amiláceo, como los tipos opacos (*op*), harinosos (*fl*), mucuronate (*Mc*) y endospermo defectuoso B30 (*DeB30*) (Thompson y Larkins, 1994). Varias de estas mutaciones han sido identificadas que causan una reducción en la síntesis de zeína. Unos de estos, son el opaco-2, (*o2*) y el harinoso-2 (*fl2*) que provocan una reducción de aproximadamente 50 % en proteínas zeína en comparación con los genotipos normales (Tsai *et al.*, 1978).

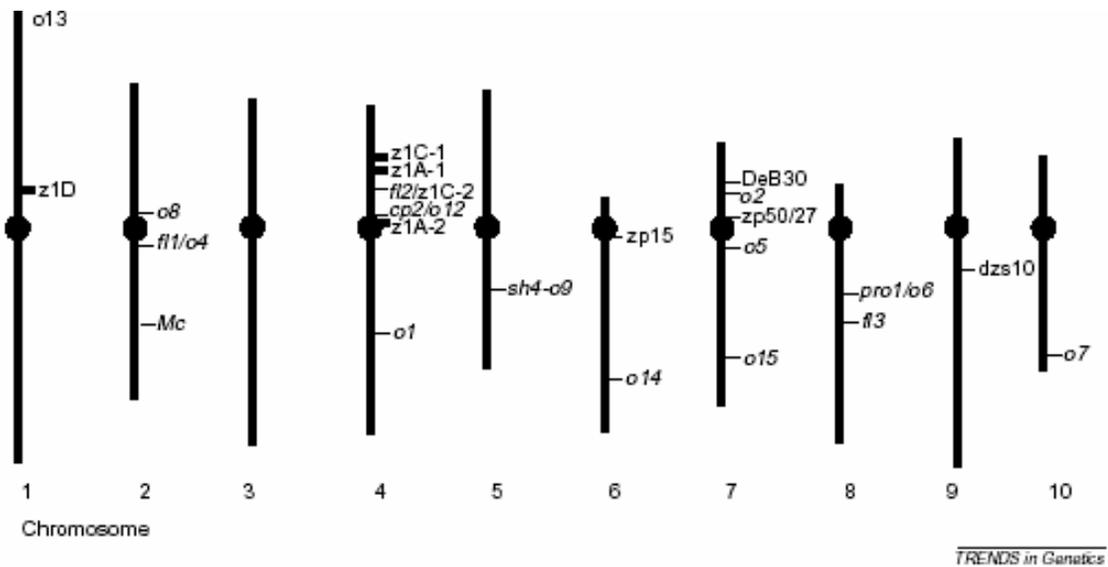
La descripción del gen mutante *o2* la presentaron por primera vez en Emerson *et al.* (1935), mencionado por Neuffer *et al.* (1997) en el libro de "Mutants of Maize", este mutante se encuentra localizado en el cromosoma VII, más allá v5. Y su efecto sobre la acumulación de la proteína de almacenamiento y el equilibrio de aminoácidos la caracterizaron en Mertz *et al.* (1964). El *o2*-676 es un punto de mutación inducida por metanosulfonato de etilo que genera una sustitución de aminoácidos en el dominio de unión al ADN, haciendo que la proteína sea incapaz de reconocer el lugar objetivo en 22-kD, que es un promotor de genes de zeína (Aukerman *et al.*, 1991).

En 1963 se descubrió que el mutante *o2* tiene mayor contenido de lisina en la proteína (4 %) que los encontrados en los maíces normales (2 %) (Mertz *et al.*, 1964), así como el

doble del nivel de triptófano (Misra *et al.*, 1972). El maíz opaco-2 puede reducir en 70 % el contenido de zeína en estado homocigótico (Wall y Bietz, 1987).

No obstante el reconocimiento de los mutantes *o2* y harinoso-2 (*fl2*) como importantes en el mejoramiento de la calidad de proteína del endospermo del maíz, ha sido reconocida también la presencia de otros genes, no identificados con precisión, que determinan gran variabilidad en el contenido de aminoácidos esenciales en poblaciones sin los mutantes mencionados y que actúan no solamente por sí solos, sino también de manera aditiva cuando están presentes *o2* y *fl2*. Otros genes con similares efectos sobre la calidad de las proteínas existen en el maíz, pero los intentos de mejorar la calidad de proteína de maíz se han basado principalmente en el uso del gen *o2* y en germoplasma modificado de *o2*.

La Figura 4.1 muestra la posición de genes de zeína y genes mutantes para endospermo opaco y harinoso en el idiograma de maíz. Las mutaciones afectan opacos mientras que la red de regulación harinoso; endospermo mucronado *Mc* y defectuosa *DeB30* afecta a las proteínas de almacenamiento (Gibbon y Larkin, 2005). La calidad de proteína se debe a varios genes, que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos (Figura 1). Variación que se puede trabajar en mejoramiento genético participativo como un carácter cuantitativo.



**Figura 4.1.** Localizaciones cromosómicas de los diferentes genes de zeína, opacos y harinosos (fuente: Gibbon y Larkin, 2005).

Tello *et al.* (1965), en un estudio sobre el mejoramiento del balance de aminoácidos esenciales en la proteína de maíz (correlación entre características raciales y varietales y niveles de lisina en maíz), estudiaron las tendencias raciales y varietales que afectan el valor nutritivo del maíz. Se evaluaron niveles de lisina en grano, contenido de proteína y contenido de sólidos germinales. Los grupos resultantes se evaluaron sobre la base de su origen ancestral, para establecer las influencias raciales y varietales. Entre las razas o los complejos raciales que influyen en las variedades de alto contenido de lisina, parecen ser Tepecintle, Blanco Nal-Tel, complejo Salvadoreño (TWNTS), y las razas Chepo, Cubano Flint, Shandelle y Pira. Todos, excepto dos de las 20 variedades, seleccionadas al azar, como representantes de los complejos TWNTS de Centroamérica, fueron altas en lisina. Las dos excepciones tuvieron niveles intermedios en el contenido de lisina, al igual que las razas mexicanas

Pepitilla, Chalqueño, Cónico norteño y Celaya. En contraste con las variedades de alto contenido de lisina, las siete variedades dentro de la raza Tuxpeño de México demostraron tener niveles bajos de lisina, independientemente de la ubicación de cultivo u otras influencias ambientales.

Estudios de la Universidad Estatal de Colorado indican que el maíz azul presenta 30 % más proteína que los maíces blancos o amarillos (Johnson y Jha, 1996). En una evaluación realizada en 1990, por la cooperativa de extensión de servicios de Nuevo México en cinco variedades de maíz azul, en todas se determinó un contenido mayor de lisina (2.3 mg/g peso seco) que las dos variedades de maíz blanco (1.6 mg/g) y amarillo (1.4 mg/g). Los autores mencionan que al igual que el maíz opaco-2, el maíz azul contiene una fuente más completa de proteínas que los maíces blanco y amarillo (Dickerson y Holocomb, 1992).

En un estudio exploratorio de poblaciones de maíz nativos del Sureste del Estado de México en 1996 (datos no publicados) se observó la tendencia a presentar mayor porcentaje de lisina y triptófano en los granos de maíz azul de la raza Chalqueño en comparación con poblaciones de granos de otro color (blanco, amarillo) del tipo Chalqueño de la misma región. (Fernando Castillo González, comunicación personal).

Por otro lado, Vera-Guzmán *et al.* (2012) realizaron estudios de calidad de proteína en 70 poblaciones nativas de la Región Mixteca, Oaxaca. Encontraron que 10 poblaciones superaron al testigo QPM en contenido de proteína y la población CIIDIR-185 (grano color azul) con 0.086 % de triptófano y 0.533 % de lisina es promisorio debido a que fue estadísticamente igual al testigo y lo superó en proteína total con 15.9 %.

Con estos antecedentes, y considerando que el gen *o2* u otros genes que determinan mejor calidad de proteína pueden encontrarse en la diversidad del maíz en México, se planteó esta investigación para considerar de manera conjunta la valoración de la calidad de la proteína (lisina y triptófano) en un conjunto de 108 poblaciones nativas de maíz de grano azul y 61 poblaciones de grano rojo, colectadas en Valles Altos del Centro-Sur del país.

## **4.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.2.1 Material Genético**

El material genético utilizado en el estudio proviene de la colecta de 169 poblaciones de maíces nativos pigmentados de las cuales 108 fueron poblaciones con grano de color azul (Anexo 1) y 61 con grano de color rojo (Anexo 2), colectadas a principios de 2009 en zonas altas del Sureste del Estado de México, Sur del Distrito Federal, La Mixteca de Oaxaca, La Montaña de Guerrero, Centro-Sur de Hidalgo, Noroeste de Puebla y Zona Centro de Michoacán. Cada población estuvo representada por 30 mazorcas o por 3 kg de semilla. La clasificación preliminar identificó a cuatro grupos con variantes de las razas: Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, los cuales se integran en complejos raciales asociados a ubicación regional geográfica, para ambos colores de granos de maíz; además del complejo racial Chalqueño-Celaya en las poblaciones con grano de color rojo (Anexos 3 y 4).

#### 4.2.2 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en campo en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2009 en la localidad de Montecillo, Estado de México, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados. La ubicación geográfica y características climáticas de la localidad se presentan en el Cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1.** Ubicación geográfica y características climáticas de la localidad donde se estableció el experimento de maíces pigmentados en los Valles Altos del Centro-Sur de México.

Localidad	Estado	Altitud* (msnm)	Latitud Norte*	Longitud Oeste*	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)	Clima**	Tipo de suelo
Montecillo	Edo.Méx.	2248	19° 28' 06.70"	98° 53' 54.84"	15.9	686	C(w <sub>1</sub> )(w)b(i)g	Vertisol

(\*) *Google Earth, 2012*; (\*\*) *García, E. (1988)*

#### 4.2.3 Diseño y parcela experimental

Las poblaciones se clasificaron por color de grano para establecer dos experimentos, uno con el conjunto de 108 poblaciones de maíz con grano azul y otro con las 61 poblaciones de grano rojo. Las poblaciones fueron arregladas en un 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 0.80 m entre surcos. Se sembraron tres semillas cada 0.5 m, y después de cinco semanas, se ajustó a dos plantas; la densidad de población fue de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

#### **4.2.4 Manejo agronómico del experimento**

La siembra se realizó manualmente el 5 de mayo, en suelo seco y el riego se aplicó inmediatamente después de sembrar. No existió restricción de humedad por la aplicación de riegos durante todo el cultivo y se fertilizó con una dosis de 120N-80P-00K. Se realizaron las labores culturales conforme al manejo convencional de los productores de la región. El control de maleza se realizó manualmente y no se hicieron aplicaciones de químicos para plagas y enfermedades.

#### **4.2.5 Diseño experimental y análisis estadístico**

Para asignar los tratamientos (poblaciones) a las unidades experimentales se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y la separación de medias por grupos de variantes raciales de las poblaciones, se realizaron con el paquete de computo Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Para la separación de medias se utilizó el método de Diferencia Mínima Significativa (LSD) con nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

#### **4.2.6 Determinación de calidad de proteína**

Las semillas utilizadas en la determinación de calidad de proteína fueron tomadas de 5 plantas polinizadas por medio de cruza fraternales planta-planta de cada población; se tomaron 6 semillas de la parte media de cada mazorca, para obtener 30 semillas por cada población (muestra) con 2 repeticiones.

La determinación de proteína, triptófano y lisina fueron realizadas por medio de la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR), los escaneos fueron realizados en un equipo

FOSS™ NIRSystems, con los modelos Maize25 para proteína, Trpunx y Lysun para triptófano y lisina, respectivamente, utilizados por el laboratorio de Nutrición de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMyT) Campus El Batán, Texcoco, Estado de México. Se utilizaron semillas completas sin la separación de sus fracciones, las cuales primeramente fueron trituradas y después fueron pasadas por un molino con malla 0.05 mm; posteriormente cada muestra fue colocada en una celda para ser escaneada en el equipo para obtener la lectura. Los resultados que arroja el análisis por medio de los modelos utilizados son en porcentaje de la variable evaluada.

### 4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas entre grupos ( $P \leq 0.01$ ) para triptófano en poblaciones azules y para lisina entre grupos y entre poblaciones de color rojo; esto indica que existe variación en las poblaciones de maíces nativos pigmentados estudiadas en este trabajo, para estos aminoácidos que le confieren calidad a la proteína del maíz. En general se presentó mayor variación dentro de grupos y no entre grupos de variantes raciales para contenido de proteína total, para ambas poblaciones con granos de color azul y rojo (Cuadro 2). Las poblaciones azules del grupo Chalqueño se separan de las demás por su contenido de triptófano con 0.068 % y las poblaciones rojas de los grupos Chalqueño, Cónico y Chalqueño-Celaya contienen mayor cantidad de lisina con 0.352, 0.349 y 0.346 %, respectivamente, que los grupos Mixteco y Ancho (Cuadro 2). Estos resultados superan a los encontrados por Vera-Guzmán *et al.* (2012) en poblaciones de maíces azules de la Mixteca oaxaqueña y a los encontrados por Vidal *et al.* (2008) para maíces nativos de Nayarit.

En todos los grupos y color de grano de las poblaciones, los contenidos de proteína, triptófano y lisina, superan los promedios del maíz normal, considerado este como sin calidad de proteína con relación a los maíces de alta calidad proteica conocidos como QPMs (Vivek *et al.*, 2008) (Cuadro 4.2). Tomando en cuenta que se han descrito al menos 18 mutantes que causan un fenotipo suave y endospermo amiláceo, como los tipos opacos (*op*), harinosos (*fl*), mucuronate (*Mc*), y endospermo defectuoso B30 (*DeB30*) (Thompson y Larkins, 1994), representados estos en el idiograma de Gibbon y Larkin (2005) (Figura 4.1), de estas mutaciones varias han sido señaladas como las que causan una reducción en la síntesis de zeína y como se sabe, unos de éstos, son el opaco-2, (*o2*) y el harinoso-2 (*fl2*)

que provocan una reducción de aproximadamente 50 % en proteínas de zeína en comparación con los genotipos normales (Tsai *et al.*, 1978). Por lo anterior y con los resultados aquí presentados se puede considerar que la calidad de proteína en el maíz se debe a varios genes que determinan la calidad de proteína y que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos (Figura 4.1).

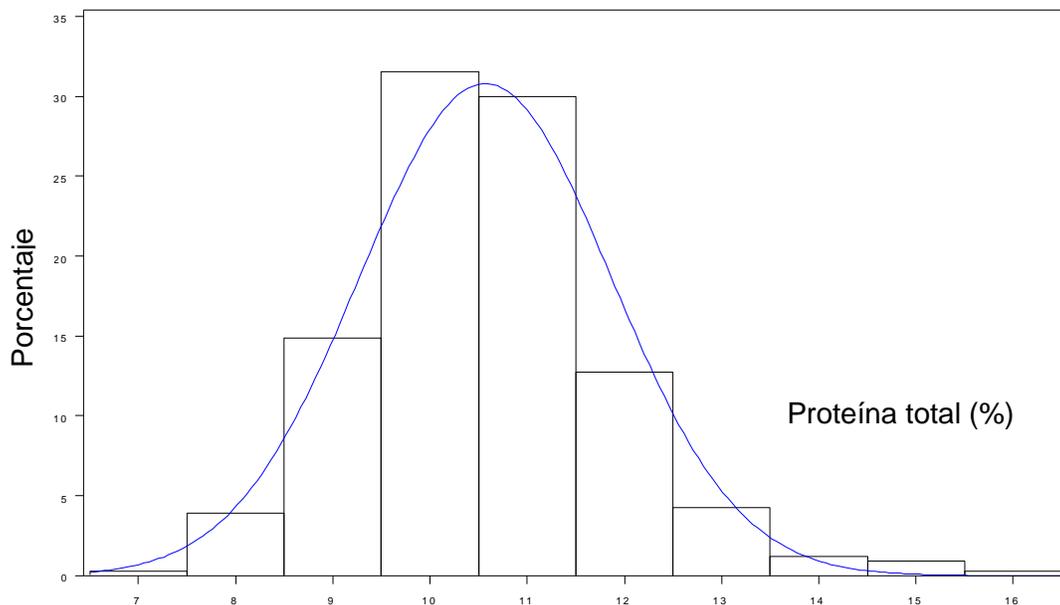
**Cuadro 4.2.** Promedios de proteína, triptófano y lisina por grupo de variantes raciales en 108 poblaciones con grano de color azul y en 61 poblaciones de color rojo.

Variantes de razas	Grano azul			Grano rojo		
	Proteína total (%)	Triptófano (%)	Lisina (%)	Proteína total (%)	Triptófano (%)	Lisina (%)
Chalqueño	10.398 a	0.068 a	0.340 a	10.530 a	0.066 a	0.349 ab
Cónico	11.055 a	0.059 b	0.339 a	10.142 a	0.066 a	0.352 a
Mixteco	10.665 a	0.060 b	0.335 a	10.438 a	0.058 a	0.327 bc
Ancho	10.561 a	0.058 b	0.329 a	10.352 a	0.060 a	0.325 c
Chalqueño-Celaya	-----	-----	-----	10.594 a	0.056 a	0.346 abc
Promedio	10.641	0.063	0.337	10.445	0.061	0.334
Maíz Normal <sup>1</sup>	9.000	0.040	0.260	9.000	0.040	0.260
DMS	0.677	0.007	0.014	1.002	0.013	0.024
C.V. (%)	14.69	25.80	9.30	10.54	24.04	7.77
Significancia	NS	**	NS	NS	NS	**

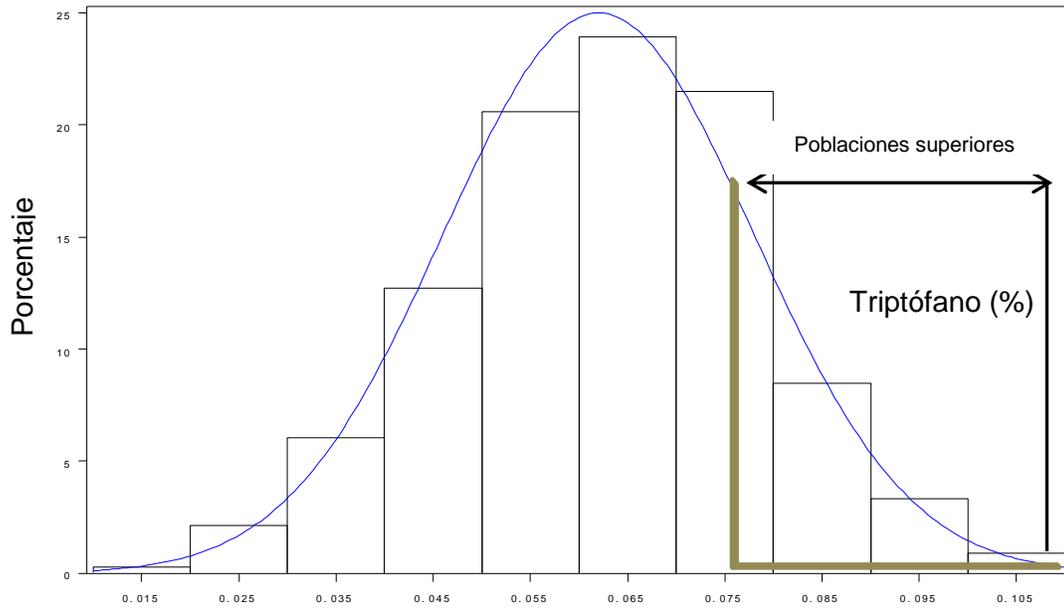
Maíz Normal<sup>1</sup>: (no considerado QPM), valores tomados de Vivek *et al.* (2008); Medias con letras diferentes dentro de filas son estadísticamente diferentes con DMS  $\alpha=0.05$ ; C.V.: Coeficiente de variación; NS: No Significativo con  $P>0.05$ ; \*\*: Significativo con  $P\leq 0.01$ .

Las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran la distribución de los contenidos de proteína, triptófano y lisina, respectivamente, para las poblaciones de maíz con grano de color azul; la distribución de las poblaciones de maíz de grano rojo (Figuras no mostradas) se comportaron de manera similar a las azules. En las Figuras 4.3 y 4.4 se observa que existe importante

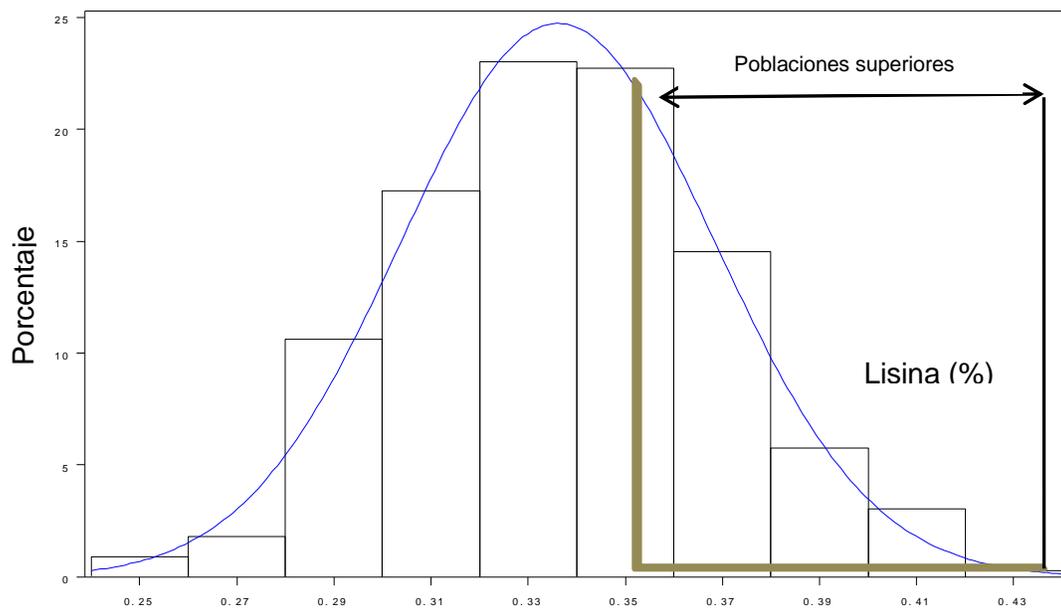
variabilidad genética para los caracteres que le confieren calidad de proteína al maíz (triptófano y lisina). Además muestran poblaciones con valores de triptófano por arriba de 0.075 % y valores de lisina por arriba de 0.350 %, consideradas como potenciales para alta calidad de proteína. Existen poblaciones por arriba del promedio del contenido de proteína en maíz, pero este carácter no se considera como un carácter de calidad, ya que por sí solo no confiere disponibilidad y cantidad de aminoácidos. Para fines de selección se pueden considerar poblaciones con 8 % de proteína pero con altos contenidos de triptófano y lisina para ser clasificadas como de alta calidad proteica.



**Figura 4.2.** Distribución de la variación de proteína total en 108 poblaciones maíces de grano color azul.

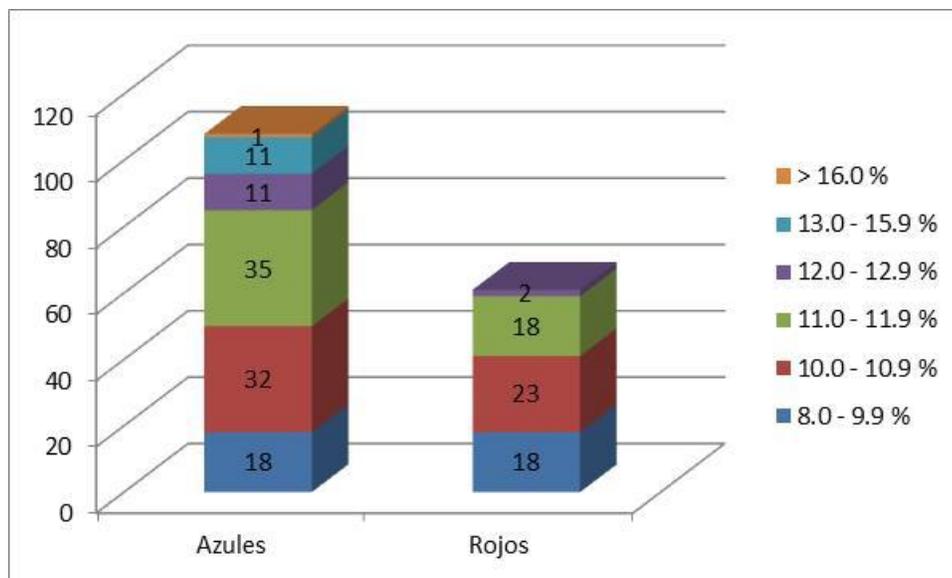


**Figura 4.3.** Distribución de la variación de triptófano en 108 poblaciones maíces con grano color azul.



**Figura 4.4.** Distribución de la variación de lisina en 108 poblaciones maíces de grano color azul.

Varios estudios han comprobado que los maíces azules tienen mayor contenido de proteínas que maíces blancos (Johnson y Jha, 1996; Dickerson y Holocomb, 1992). En la Figura 4.5 se observa que existe una gran variación de este carácter en las poblaciones nativas con grano de color azul y rojo de Valles Altos, estudiadas en este trabajo. En las poblaciones de maíces con grano color azul 83.3 % de éstas superan a los promedios de contenido de proteína total (Figura 4.5) registrados en maíces con endospermo normal, obteniendo un valor máximo de 16.309 % en las poblaciones de color azul, éste fue registrado en la población 9, agrupada en las variantes de Chalqueño.

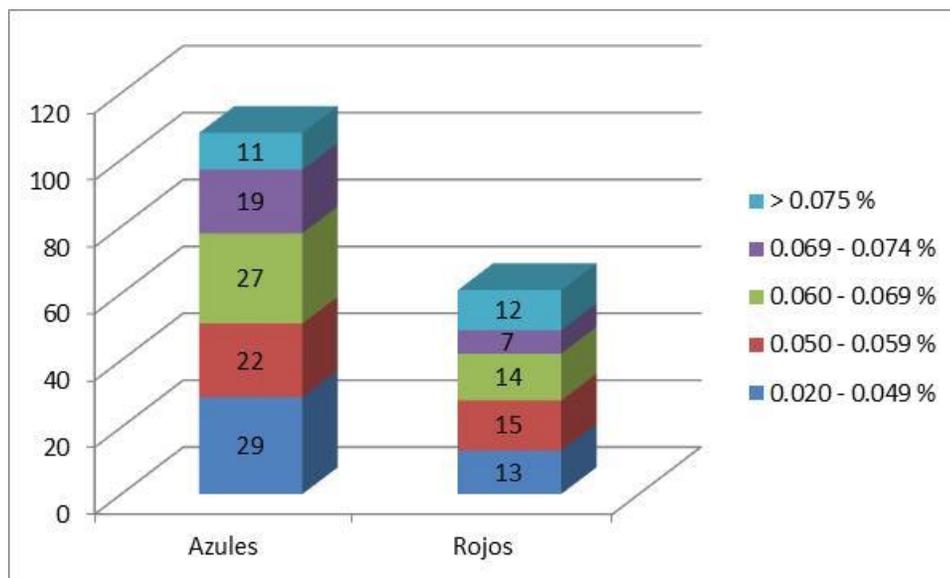


**Figura 4.5.** Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con grano de azul y rojo en intervalos de contenido de proteína total.

Los altos porcentajes de proteína (>10.0 %), en maíces con texturas intermedias y suaves, resultaron semejantes a los informados por Robutti *et al.* (2000) quienes en razas de maíces argentinos identificaron colectas de textura suave con alto contenido de proteína. Sin

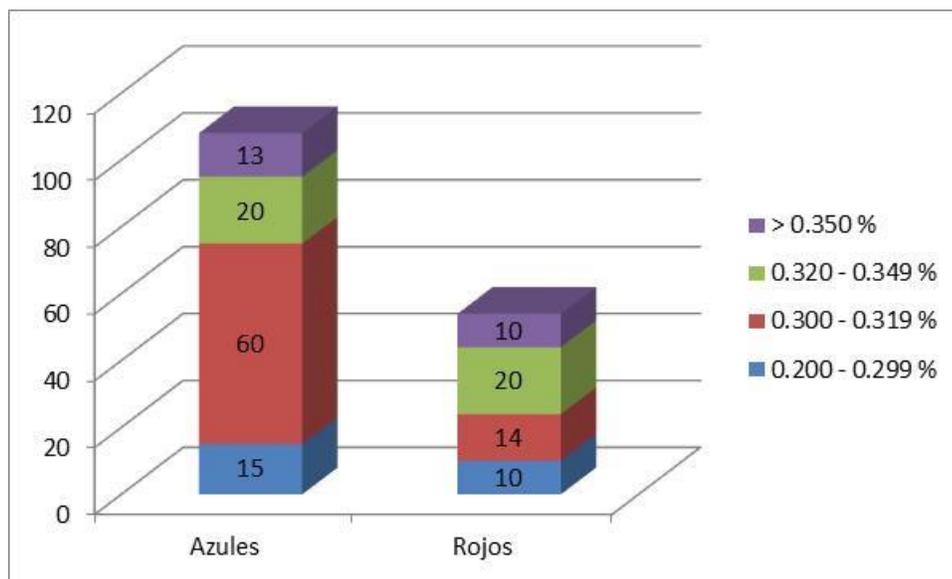
embargo, tales resultados son contrarios a lo informado para maíces mejorados, donde la textura dura se asoció con mayor cantidad de proteína (Salinas y Pérez, 1997) debido a una mayor proporción de prolaminas (zeínas), fracción mayoritaria (50-70 %) en la proteína del endospermo del maíz, y deficiente en lisina y triptófano (Serna-Saldívar, 1996).

En la Figura 4.6 se observa que de las poblaciones de maíces con grano azul más del 73 % y 78.7 % de las poblaciones rojas, superan a los promedios de contenido de triptófano registrados en maíces con endospermo normal, obteniendo valores máximos de 0.109 y 0.097 %, para azules y rojos, respectivamente; éstos valores fueron registrados en las poblaciones 28 y 61 agrupadas en variantes del grupo Chalqueño. También, en las poblaciones de color azul y rojo se encontraron 11 y 12 poblaciones con contenidos superiores a 0.075 %, respectivamente, consideradas como potenciales para determinar al maíz con alta calidad de proteína (Vivek *et al.*, 2008; Moro *et al.*, 1995).



**Figura 4.6.** Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con granos de color azul y rojo en intervalos de contenido de triptófano.

Para el caso de contenido de lisina en las poblaciones estudiadas de maíces azules y rojos, se muestra que del total por grupo 86 y 72 %, respectivamente, estuvieron por arriba de los promedios del contenido de lisina registrados en maíces con endospermo normal, obteniendo valores máximos de 0.438 y 0.404 %, para azules y rojos, respectivamente; éstos valores fueron registrados en las poblaciones 9 y 18 agrupadas en variantes de los grupos Chalqueño y Mixteco, respectivamente. También, en las poblaciones de maíz color azul y rojo se encontraron 13 y 10 poblaciones con contenidos de lisina superiores a 0.350 % para azules y rojos, respectivamente (Figura 4.7), poblaciones consideradas como potenciales para determinarlas como de alta calidad proteica (Vivek *et al.*, 2008; Moro *et al.*, 1995).



**Figura 4.7.** Número de poblaciones (números colocados en las barras) de maíz con granos de color azul y rojo en intervalos de contenido de lisina.

Las poblaciones de maíces nativos azules y rojos de Valles Altos estudiadas en este trabajo registraron en promedio una mayor cantidad de proteína total, triptófano y lisina que

lo reportado por Vidal *et al.* (2008) al estudiar 45 colectas de maíces nativos del estado de Nayarit, que presentaron valores promedio para triptófano de 0.050 % y lisina 0.304 %. Con respecto a lo encontrado por Vera-Guzmán (2012) en 70 poblaciones de maíces de la Mixteca oaxaqueña, los resultados aquí presentados fueron similares, obteniendo para los maíces azules y rojos, contenidos de triptófano y lisina superiores a los maíces considerados como “normales” (sin alta calidad de proteína y sin el gen *o2*) (Vivek *et al.*, 2008; Moro *et al.*, 1995; Ortega *et al.*, 2001).

En el Cuadro 4.3, se muestran las poblaciones de maíces azules y rojos sobresalientes, seleccionadas por mayores contenidos de lisina, encontrando poblaciones con contenido igual al de los maíces QPM, las poblaciones azules 13, 40, 58, 70 y 76 tienen valores de triptófano y lisina para ser considerados como maíces QPM y las poblaciones 18, 58 y 63, además de tener calidad de proteína debido al buen nivel de aminoácidos que le confieren esta característica, tienen un rendimiento considerable para ser materiales sin manejo de mejoramiento genético, con rendimientos alrededor de 5000 kg ha<sup>-1</sup> y aún más, la población azul 58 del grupo Mixteco puede ser considerada como QPM y de buen rendimiento con 5224 kg ha<sup>-1</sup>.

Los contenidos de los aminoácidos triptófano y lisina encontrados en poblaciones nativas con grano de color azul y rojo de Valles Altos de México estudiadas en este trabajo coinciden con Dickerson y Holocomb (1992) donde mencionan que al igual que el maíz QPM con el gen *o2*, el maíz azul contiene una fuente más completa de proteínas; al igual que los maíces con grano color rojo, según este trabajo.

**Cuadro 4.3.** Poblaciones de maíz con grano azul y rojo, sobresalientes en calidad de proteína.

Color de grano	Población	Grupo	Proteína (%)	Triptófano (%)	Lisina (%)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Azul	9	Chalqueño	16.309	0.063	0.438	2446.19
Azul	87	Cónico	13.132	0.070	0.410	1249.64
Azul	40	Chalqueño	11.381	0.094	0.408	911.21
Azul	4	Chalqueño	9.047	0.071	0.406	1700.57
Azul	76	Cónico	14.620	0.090	0.406	504.53
Azul	58	Mixteco	10.648	0.078	0.404	5223.85
Rojo	18	Mixteco	11.469	0.056	0.404	5322.95
Azul	13	Chalqueño	9.152	0.078	0.403	1501.60
Azul	70	Cónico	15.234	0.089	0.402	1405.11
Rojo	4	Chalqueño	12.554	0.070	0.400	772.97
Rojo	2	Chalqueño	9.319	0.065	0.400	1698.35
Azul	63	Mixteco	10.675	0.067	0.398	4634.47
Azul	65	Cónico	13.002	0.053	0.397	1758.32
Rojo	47	Ancho	9.635	0.064	0.394	5385.63
Rojo	29	Mixteco	9.726	0.070	0.392	5160.52
	QPM*		9.000	0.090	0.420	----
	Normal*		9.000	0.040	0.260	----

\*Valores tomados de Vivek et al. (2008).

Con estos resultados y otros que se han realizado valorando la variación de la calidad de proteína en maíces nativos surge una pregunta: ¿Era necesario invertir tantos recursos a la investigación de maíces con el gen mutante *o2* para generar materiales QPM? Si genes mutantes como el *o2* y otros que confieren calidad de proteína se encuentran presentes en la diversidad del maíz de México en sus diferentes alelos, así como que existe el potencial de rendimiento, tal vez sea una mejor opción invertir en la valoración, el mejoramiento y aprovechamiento de los maíces nativos que son muchos y con alto potencial.

#### **4.4 CONCLUSIONES**

Existe gran variación genética para proteína, triptófano y lisina en 108 poblaciones de maíces nativos con grano color azul y en 61 poblaciones de grano rojo colectadas en Valles Altos del Centro-Sur de México. Las poblaciones azules del Grupo Chalqueño tienen en promedio mayor contenido de triptófano con 0.068 % y las poblaciones de color rojo, en los grupos Chalqueño, Cónico y Mixteco resultaron con mayor contenido de lisina 0.349, 0.352 y 0.346 %, respectivamente.

Se identificaron 11 poblaciones de maíces azules y 12 poblaciones de color rojo con contenidos de triptófano superiores a 0.075 % y 13 poblaciones azules y 10 rojas con contenido de lisina superior a 0.350 %, las cuales son consideradas como potenciales para maíces de alta calidad proteica. Y se identificaron las poblaciones 13, 40, 58, 70 y 76, con valores superiores de triptófano a 0.078 % y lisina a 0.402 % y son consideradas como poblaciones de maíz azul con alta calidad proteica.

Con lo anterior se puede mencionar que la calidad de proteína en el maíz se debe a varios genes que la determinan y que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos. Variación que se puede trabajar en mejoramiento genético participativo como un carácter cuantitativo y con esto mejorar la alimentación de los mexicanos.

#### 4.5 BIBLIOGRAFÍA

- Aukerman M J, Schmidt R J, Burr B and Burr F A (1991)** An arginine to lysine substitution in the bZIP domain of an opaque-2 mutant in maize abolishes specific DNA binding. *Genes & Development* 5: 310-320.
- Bjarnason M and Vasal S K (1992)** Breeding of quality protein maize (QPM). *Plant Breed Rev.*, 9:181-216.
- De Pascual T S, M T Sánchez B (2003)** Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem. Rev.* 7:281-299.
- Dickerson G W and Holcomb G B (1992)** A small-scale agriculture alternative: Specialty corns. USDA Cooperative State Research Service. Internet.  
<http://www.sfc.ucdavis.edu/pubs/brochures/Specialtycorns.html>.
- Dudley JW and Lambert R J (1992)** Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica*, 37; 81-87.
- Dudley J W, Lambert R J and Alexander D E (1974)** Seventy generations of selection for oil and protein concentration in the maize kernel. In J.W, Dudley, ed. *Seventy generations of selection for oil and protein in maize*. Madison, W1, USA. Crop Science Society of America.
- Emerson R A, Beadle G W and Fraser A C (1935)** A summary of linkage studies in maize. Cornell Univ. Agric Exp. Stn Memor 180: 1-83.
- Ford R H (2000)** Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *Amer. Biol. Teacher* 62:181-188.

- García E (1988)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. pp 120-137.
- Gibbon B and Larkin B (2005)** Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. *Trends Genet.* 21: 227-233.
- Hernández X E (1985)** Maize and man in the greater southwest. *Econ. Bot.* 39: 416-430.
- Johnson D L and Jha M N (1993)** Blue corn. In: Janick, J. and Simon J.E. (eds.), *New crops*. Wiley, New York. p. 228-230. Internet: <http://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-228.html>.
- Magnavaca R, Larkins B A, Schaffert R E and López M A (1993)** Improving protein quality of maize and sorghum. *International crop science I*, p. 649-653. Madison, WI, USA, Crop Science Society of America.
- Mertz E T, Bates L S and Nelson O E (1964)** Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, 145:279-280.
- Misra P S, Jambunathan R, Mertz E T, Glover D V, Barbosa H M and McWhirter K S (1972)** Endosperm protein synthesis in maize mutants with increased lysine content. *Science*. 176(4042): 1425-1427.
- Moro G L, Lopes M A, Habben J E, Hamaker B R, and Larkins B A (1995)** Phenotypic effects of opaque2 modifier genes in normal maize endosperm. *Cereal Chem.* 72, 94–99.
- Neuffer M G, Coe E, and Wessler S (1997)** *Mutants of Maize*. (Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press).

**Ortega C A, O Cota A, S K Vasal, E Villegas M, H Córdova O, M A Barreras S, J J Wong P, C A Reyes M, R E Preciado O, A Terrón I, A Espinosa C (2001)** H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y Subtrópico de México. Folleto Téc. No. 41. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Son. 44 p.

**Poehlman J M (1987).** Breeding field crops. Westport. CT. USA. AVI Publishing Company.

**Robutti J, F Borrás, M Ferrer, M Percibaldi, C A Knutson (2000)** Evaluation of quality factors in Argentine maize races. *Cereal Chem.* 77:24-26.

**Salinas M Y, P Pérez H (1997)** Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:121-136.

**SAS Institute (2002)** Statistical analysis system. User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

**Serna-Saldívar S O (1996)** Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 519 p.

**Tello F, Alvarez-Tostado M A and Alvarado G (1965)** A study on the improvement of the essential amino acid balance of corn protein. I. Correlation between Racial and Varietal Characteristics and Lysine Levels of Corn. Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A. C, Mexico City, co-sponsored project with Corn Products Company, Institute of Nutrition, Argo, Illinois.

**Thompson G and Larkins B A (1994)** Characterization of zein genes and their regulation in maize endosperms. In *The Maize Handbook*, M. Freeling and V. Walbot, eds (Berlin: Springer-Verlag), pp. 639–646.

- Tsai C Y, Larkins B A, and Glover D V (1978)** Interaction of the opaque-2 gene with starch-forming mutant genes on the synthesis of zein in maize endosperm. *Biochem. Genet.* 16, 883-896.
- Vasal S K (1994)** High quality protein corn./// A. R. Illallauer, ed. *Specially corns*, p. 79-121. Boca Raton. FL. USA. CRC Press.
- Vasal S K, Villegas E, Bjarnason M, Gelaw B and Goertz P (1980)** Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. *In* W.G. Pollmer & R.H. Phipps, eds. *Improvement of quality traits of maize for grain and silage use*. p. 37-71. The Hague, Netherlands, Nijhoff.
- Vera-Guzmán A M, J L Chávez-Servia, J C Carrillo-Rodríguez (2012)** Proteína, lisina y triptófano en poblaciones nativas de maíz mixteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35 (Núm. Especial): 7-13
- Vidal M V A, G Vázquez C, B Coutiño E, A Ortega C, J L Ramírez D, R Valdivia B, M J Guerrero H, F J Caro V, O Cota A (2008)** Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(Núm. Esp. 3):15-21.
- Villegas E, Vasal S K and Bjarnason M (1992)** Quality protein maize - what is it and how was it developed. *In* E.T. Mertz, ed. *Quality protein maize*, p. 27-18. St Paul, MN, USA, The American Association of Cereal Chemists.
- Vivek, B.S., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A.O. Diallo (2008)** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT.
- Wall J S and Bietz J A (1987)** Differences in corn endosperm proteins in developing seeds of normal and opaque-2 corn. *Cereal Chemistry*. 64:275-280.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

Con los resultados de esta investigación se concluye que existe importante diversidad genética en poblaciones de maíces nativos con grano color azul y rojo colectadas en Valles Altos del Centro-Sur de México. Los análisis multivariados realizados con las mediciones de caracteres morfo-agronómicos de las poblaciones en estudio en tres localidades indican que las poblaciones de maíces azules (108) y rojas (61), de los Estados de México, Distrito Federal, Puebla, Michoacán, Guerrero, Hidalgo y Oaxaca, pueden agruparse en primera instancia en variantes de las razas; Chalqueño, Cónico, Mixteco y Ancho, con influencia de otras como Pepitilla, Celaya, Bolita, Tabloncillo y Arrocillo, los cuales se integran en complejos raciales asociados a ubicación regional geográfica.

Para el análisis de conglomerados se utilizaron 20 y 21 variables en azules y rojos, respectivamente, para valorar la diversidad genética y se formaron cuatro grupos como primera referencia con variantes de la razas Chalqueño y Cónico, agrupándose en estos las colectas realizadas en el estado de México, Puebla, Hidalgo y Distrito Federal, principalmente. Las variantes del grupo Mixteco se formó con poblaciones de Oaxaca y Michoacán, principalmente y en su mayoría las poblaciones agrupadas en variantes de raza Ancho fueron del estado de Guerrero. Sólo para los maíces rojos se formó un quinto grupo que fue el Chalqueño-Celaya con poblaciones de Hidalgo y Guerrero. Las variables que permiten detectar diferencias entre poblaciones de maíces pigmentados azules y rojos fueron en su mayoría atributos morfológicos de las estructuras reproductivas femeninas; esto indica

que sus expresiones son menos afectadas por factores ambientales así como los efectos de interacción con el ambiente.

La alta frecuencia de complejos raciales encontrados en este estudio sugiere que actualmente (tal vez nunca) las poblaciones cultivadas de maíz no son puras en términos de pertenecer a una sola raza; por el contrario, muestran combinaciones de características morfológicas de dos o más razas. Probablemente, son el producto de la recombinación genética que se lleva a cabo mediante el flujo de polen entre poblaciones vecinas y el movimiento de semilla que hacen los agricultores, mediante el intercambio de semillas ya sea entre vecinos o con agricultores de regiones muy apartadas.

Para rendimiento de grano existió fuerte interacción genotipo x ambiente, ya que las poblaciones colectadas en el oriente del estado de México con buen rendimiento en sus localidades de origen tuvieron bajos rendimientos, principalmente en la localidad de Montecillo, localizada a 200 msnm menos que la altura en el oriente del estado. Pero por otro lado las poblaciones de Oaxaca y Guerrero tuvieron buen comportamiento en las localidades de Montecillo y Mixquiahuala, no esperando este comportamiento debido a los bajos rendimientos reportados en las localidades de origen. La respuesta de interacción poblaciones x ambientes, puede ser útil para identificar poblaciones con adaptación específica a las condiciones de los sitios incluidos en el estudio.

Las poblaciones con grano de color azul del Grupo Mixteco obtuvieron los mejores rendimientos con un promedio de 3608 kg ha<sup>-1</sup> y las poblaciones del grupo Cónico fueron las de menor rendimiento con 2184 kg ha<sup>-1</sup>. Para las poblaciones de grano color rojo, el Grupo

Chalqueño-Celaya fue el que obtuvo el mejor rendimiento con 4193 kg ha<sup>-1</sup> y los Grupos Chalqueño y Cónico resultaron con menor rendimiento 2053 y 2437 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Las poblaciones 91 (azul) y 45 (rojo) del Grupo Mixteco y Chalqueño-Celaya fueron las que mayor rendimiento obtuvieron con 8213 y 6614 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ambas colectas realizadas en el Estado de Hidalgo.

En 108 poblaciones de maíces nativos con grano color azul y en 61 poblaciones rojas colectadas en Valles Altos del Centro-Sur de México, la valoración del potencial para proteína, triptófano y lisina mostró que las poblaciones azules del Grupo Chalqueño tienen en promedio mayor contenido de triptófano con 0.068 % y las poblaciones de color rojo en los grupos Chalqueño, Cónico y Mixteco resultaron con mayor contenido de lisina 0.349, 0.352 y 0.346 %, respectivamente. Se identificaron 11 poblaciones de maíces azules y 12 poblaciones de color rojo con contenidos de triptófano superiores a 0.075 % y 13 poblaciones azules y 10 rojas con contenido de lisina superiores a 0.350 %, las cuales son consideradas como potenciales para maíces de alta calidad proteica. Se identificaron las poblaciones 13, 40, 58, 70 y 76, de grano azul con valores superiores de triptófano a 0.078 % y lisina a 0.402 % consideradas como maíz de alta calidad proteica.

En las poblaciones estudiadas existe una gran variabilidad genética, representada en variantes de color de grano azul y rojo, de manera homóloga a la clasificación racial que se conoce para las poblaciones de grano blanco o amarillo, a su vez estas cuentan con un alto potencial de rendimiento de grano y calidad de proteína, esta última se debe a varios genes que la determinan y que se encuentran en la diversidad del maíz en sus diferentes alelos.

Todo esto y más se puede trabajar en mejoramiento genético participativo para mejorar la alimentación y situación económica de los agricultores tradicionales de México.

Al valorar la diversidad genética de una manera integral como se hizo en este estudio, se puede determinar la dirección de su aprovechamiento, para lograr un mejor uso de los genotipos y relacionarlos con su área de adaptación. Con estos resultados es posible detectar regiones geográficas y poblaciones de maíz que pueden ser deseables para planear el mejor aprovechamiento de la diversidad genética de los maíces pigmentados, en el sentido de obtener mejor producción y calidad nutracéutica.

## ANEXOS

## ANEXO 1. Identificación de poblaciones de maíces nativos con grano color azul.

Pobn	Identif	Localidad	Municipio	Estado	Color	Donante
1	Col-08-01	San Juan Tehuixtitlan	Atlautla	Edo. Méx.	Azul	Isabel Valencia Ramírez
2	Col-08-02	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Bruno García Sanchez
3	Col-08-03	Pahuacan	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Miguel Angel Díaz
4	Col-08-04	San Juan Tehuixtitlan	Atlautla	Edo. Méx.	Azul	Fernando Ibañez Galicia
5	Col-08-05	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	David Rosas del Rosario
6	Col-08-06	San Juan Coxtocán	Tenango del Aire	Edo. Méx.	Azul	Miguel Hernández
7	Col-08-07	San Juan Tehuixtitlan	Atlautla	Edo. Méx.	Azul	Pedro Ibañes Galicia
8	Col-08-08	Niños Héroes S/N, Cocotitlán	Cocotitlán	Edo. Méx.	Azul	Clemente Castillo Vallejo
9	Col-08-09	San Diego Huehuecalco	Amecameca	Edo. Méx.	Azul	Esteban Juárez Lara
10	Col-08-10	Sn Marcos Tecomaxusco	Ecatzingo	Edo. Méx.	Azul	Ricardo Solis Castillo
11	Col-08-11	Palma S/N,Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Isaias Garcia Sara
12	Col-08-12	Palma S/N, Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Matias Castillo del Rosario
13	Col-08-13	Mihuacan	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Beatriz Martinez Diaz
14	Col-08-14	Pahuacan	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Fermin Contreras Padilla
15	Col-08-15	Pahuacan	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Cupertino Flores Franco
16	Col-08-16	Pahuacan	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Juan Ramos
17	Col-08-17	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Pablo Reyes de la Cruz
18	Col-08-18	Col. Rosita Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Francisco Rosales Valencia
19	Col-08-19	San Juan Tehuixtitlan	Atlautla	Edo. Méx.	Azul	Alfredo Ramírez Ibarra
20	Col-08-20	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Florencio de los Santos Reyes
21	Col-08-21	San Diego Huehuecalco	Amecameca	Edo. Méx.	Azul	Enrique Padilla Rivera
22	Col-08-22	Sta. María Huexocolco	Chalco	Edo. Méx.	Azul	Alfredo Galicia Sánchez
23	Col-08-23	Ayapango	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	Zenaida Garcia
24	Col-08-24	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Azul	Carlos Ramos Espinoza
25	Col-08-25	San Diego Huehuecalco	Amecameca	Edo. Méx.	Azul	Ma Elena Castro Jimenez
26	Col-08-26	San Juan Coxtocán	Tenango del Aire	Edo. Méx.	Azul	Fam. Contreras Pavon
27	Col-08-27	San Juan Coxtocán	Tenango del Aire	Edo. Méx.	Azul	Vicente Uribe Espinoza
28	Col-08-28	Sta. María Huexocolco	Chalco	Edo. Méx.	Azul	Refugio Villalpando Estrada
29	Col-08-29	San Martín Cuautlalpan	Chalco	Edo. Méx.	Azul	Santiago Agustin Campillo
30	Col-08-30	Huexotla	Texcoco	Edo. Méx.	Azul	Fredi
31	Col-08-45	Sta Ana Tlacotenco	Milpa Alta	D. F	Azul (7)	Bertha Rojas
32	Col-08-46	Sta Ana Tlacotenco	Milpa Alta	D. F	Azul (4)	Apolonia Flores G
33	Col-08-47	Sn Pablo Oxtotepec	Milpa Alta	D. F	Azul (2A)	Isabel Lozada
34	Col-08-48	Sn Pablo Oxtotepec	Milpa Alta	D. F	Azul (2)	Isabel Lozada
35	CP-07 (bordo)	Tequexquinahuac	Texcoco	Edo. Méx.	Azul	(siembra Dra Carmen Mendoza)

36	Col-07-01	Cocotitlán (hoja morada)	Cocotitlán	Edo. Méx.	Azul	Mercado (conocida de Santos Altamirano)
37	MMOca13°CS	Sn cristobal Poxtla	Ayapango	Edo. Méx.	Azul	13° ciclo SM participativa
38	CP06-3335#	##	Victoria	Tams	Azul	Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo
39	SnMiguel	SnMiguel	SnMiguel	##	Azul	Dr. Moisés Mendoza Rodríguez
40	SnMiguelito	SnMiguelito	SnMiguelito	##	Azul	Dr. Moisés Mendoza Rodríguez
41	CIIDIR-02	Independencia	San Bartolo Atlatlauca	Oax		Pedro Hernández bautista
42	CIIDIR-05	Barrio San Nicolas	Tlaxiaco	Oax		Marina Cruz Santiago
43	CIIDIR-12	El Mogote	San Juan Ñumí	Oax		Daniel Reyes San Juan
44	CIIDIR-16	Cañada de Piedra	San Juan Ñumí	Oax		Anastacio Santiago Vasquez
45	CIIDIR-20	La Unión	San Juan Ñumí	Oax		Benito Antonio Paz
46	CIIDIR-23	Santo Domingo Yosoñama	San Juan Ñumí	Oax		Angelina Gonzalez Jose
47	CIIDIR-32	Seccion 12	Tlaxiaco	Oax		Francisca León Ramirez
48	CIIDIR-38	Nduajio	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax		Adrian Velasco Velasco
49	CIIDIR-54	Tikinivico	Santa María del Rosario	Oax		Emigdio Casiano Lopez Garcia
50	CIIDIR-58	Enduayavi	Santa Cruz Tayata	Oax		Dominga Garcia
51	CIIDIR-62	Nduayucuyoco	San Martín Huamelúlpam	Oax		Javier Hernández Santiago
52	CIIDIR-65	Tercera Seccion	San Martín Huamelúlpam	Oax	pinto	Comisariado de Bienes Comunales
53	CIIDIR-66	Tercera Seccion	San Martín Huamelúlpam	Oax		Eliseo Ramirez Bautista
54	CIIDIR-84	San Isidro	Magdalena Peñasco	Oax		Vicenta Vasquez Barrios
55	CIIDIR-90	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax		Miguel Aguilar Barrios
56	CIIDIR-91	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax	pinto	Miguel Aguilar Barrios
57	CIIDIR-95	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax	pinto	Alfredo Ortíz Aguilar
58	CIIDIR-96	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax		Ricardo Aguilar Mendoza
59	CIIDIR-105	Totobonete	Chalcatongo de Hidalgo	Oax	pinto	Herminio Jiménez Ruiz
60	CIIDIR-107	Barrio Chico	Chalcatongo de Hidalgo	Oax		Joel Cortez Ruíz
61	CIIDIR-112	La Laguna	Chalcatongo de Hidalgo	Oax		Gerardo Jiménez Ramírez
62	CIIDIR-117	##	Santa Cararina Ticuá	Oax		Romualdo Vásquez Cruz
63	CIIDIR-121	Fortín Juárez	Santa Cararina Ticuá	Oax		Filemon Hernández Vásquez
64	CIIDIR-124	Independencia	Chalcatongo de Hidalgo	Oax		Raúl Mendoza Cortéz
65	CIIDIR-125	Cabacuha	Chalcatongo de Hidalgo	Oax		Antolin Ramirez Jiménez
66	CIIDIR-129	##	##	Oax		##
67	CIIDIR-131	##	##	Oax		##
68	CIIDIR-139	##	##	Oax		##
69	CIIDIR-142	##	##	Oax		##
70	CIIDIR-145	##	##	Oax		##
71	Hgo08-01	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Azul	Gabino Tenorio Gutiérrez
72	Hgo08-02	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Azul	Luis Balderas Arrieta
73	Hgo08-04	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Azul	Esteban Meneses Mena
74	Hgo08-06	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Azul	Ascención Arrieta Ferruco
75	Hgo08-10	Sta Rosalía	Mineral del Monte	Hgo	Azul	Lucino Fragozo Hernández
76	Hgo08-12	Sta Rosalía	Mineral del Monte	Hgo	Azul	Micaela Barrera Carpio

77	Hgo08-13	Texoantla	Mineral del Monte	Hgo	Azul	Octavio Velázquez Armenta
78	Hgo08-20	Tulancingo	Tulancingo	Hgo	Azul	Mercado de Tulancingo
79	Hgo08-22	Tulancingo	Tulancingo	Hgo	Azul	Matías Rodríguez (Miscelánea La Aurora)
80	Hgo08-25	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul	Mercado de Zacatlán
81	Hgo08-30	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul con Rojo	Rutilio González (Semillera)
82	Hgo08-34	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul	José Dagoberto Morales (Compra Venta de Semillas)
83	Hgo08-36	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Amarillo - negro - rojo - bco	José Dagoberto Morales (Compra Venta de Semillas)
84	Hgo08-37	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul - blanco	José Dagoberto Morales (Compra Venta de Semillas)
85	Hgo08-38	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul - amarillo	Heriberto Mejorada (semillera)
86	Hgo08-40	Matlahuacala	Zacatlán	Pue	Azul	Guadalupe Trejo Trejo
87	Hgo08-43	Matlahuacala	Zacatlán	Pue	Azul	Esteban Cázarez Cortés
88	Hgo08-44-A	Tlaxcoapan	Tlaxcoapan	Hgo	Azul	##
89	Hgo08-46	Mixquiahuala	Mixquiahuala	Hgo	Azul	##
90	Hgo08-47	Tlaxcoapan	Tlaxcoapan	Hgo	Azul	Sr. Moreno
91	Hgo08-48	##	##	Hgo	Azul	##
92	Gro08-02	Xalmolapa	Cualác	Gro.	azul	Delia Aburto
93	Gro08-03	Xalmolapa	Cualác	Gro.	azul	Delia Aburto
94	Gro08-04	Cualác	Cualác	Gro.	azul	##
95	Gro08-06	Cualác	Cualác	Gro.	azul	Valentín Pablo Vargas
96	Gro08-08	Cualác	Cualác	Gro.	azul	Dominga García Mora
97	Gro08-10	Sn Martín Jolalpan	Cualác	Gro.	azul	Santiago Galindo
98	Gro08-16	Sn Martín Jolalpan	Cualác	Gro.	morado	María Santana de la Cruz
99	Gro08-19	Chiauzingo	Cualác	Gro.	azul	Francisca Ramírez Albino
100	Gro08-20	Nuevo Paraiso	Cualác	Gro.	azul	Elizabeth Guevara
101	Gro08-21	Nuevo Paraiso	Cualác	Gro.	azul redondo y pinto	Andrés Martín Juan
102	Gro08-22	Cuescomapa	Cualác	Gro.	azul	Cándido Peña Basilio
103	Gro08-23	Cuescomapa	Cualác	Gro.	azul	Vicente Pacheco Máximo
104	Gro08-28	Cuescomapa	Cualác	Gro.	negro	Juan Lucio Isidoro
105	Gro08-30	Tlatlauquitepec	Atlixac	Gro.	azul	Juan Pérez Hernández
106	Gro08-32	Tlatlauquitepec	Atlixac	Gro.	azul	Juana Ibáñez Flora
107	Mich07-02	Potrero de Bravo	##	Mich.	Azul	Rodrigo O.
108	Mich07-04	##	##	Mich.	Negro	Papá de Valdemar

## ANEXO 2. Identificación de poblaciones colectadas de maíces con grano color rojo.

Pob n	Identif	Localidad	Municipio	Estado	Color	Donante
1	Col-08-31	San Juan Tehuixtitlan	Atlautla	Edo. Méx.	Rojo	Isabel Valencia Ramírez
2	Col-08-32	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Rojo	Bruno García Sanchez
3	Col-08-33	Juchitepec de Mariano Rivapalacio	Juchitepec	Edo. Méx.	Xitocle	Sotero Cruz García
4	Col-08-34	Juchitepec de Mariano Rivapalacio	Juchitepec	Edo. Méx.	Rojo	Guadalupe Romero de la Rosa
5	Col-08-35	San Diego Huehucalco	Amecameca	Edo. Méx.	Rojo	Eulalio Juarez
6	Col-08-36	Juchitepec de Mariano Rivapalacio	Juchitepec	Edo. Méx.	Rojo	Alicia Rodriguez
7	Col-08-37	San Juan Coxtocan	Tenango del Aire	Edo. Méx.	Xitocle	Fam. Contreras Pavon
8	Col-08-38	Sn Matías Cuijingo	Juchitepec	Edo. Méx.	Rojo	David Rosas del Rosario
9	Col-08-39	San Juan Coxtocan	Tenango del Aire	Edo. Méx.	Rojo	Vicente Uribe Espinoza
10	Col-08-41	Sn Pablo Oxtotepec	Milpa Alta	D. F	Rojo (1A)	Isabel Lozada
11	Col-08-42	Sn Pablo Oxtotepec	Milpa Alta	D. F	Rojo (1)	Isabel Lozada
12	Col-08-43	Sta Ana Tlacotenco	Milpa Alta	D. F	Xitocle (5)	Apolonia Flores G
13	Col-08-44	Sta Ana Tlacotenco	Milpa Alta	D. F	Rojo (6)	Bertha Rojas
14	Col-07-02	Chalco	Chalco	Edo. Méx.	Rojo (ancho)	Mercado de Chalco ¿de cocotitlán?
15	CP06-3334#	##	Victoria	Tams	Rojo	Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo
16	CIIDIR-06	Barrio San Nicolas	Tlaxiaco	Oax	rojo	Marina Cruz Santiago
17	CIIDIR-13	El Mogote	San Juan Numí	Oax	rojo	Daniel Reyes San Juan
18	CIIDIR-17	Cañada de Piedra	San Juan Numí	Oax	colorado	Anastacio Santiago Vasquez
19	CIIDIR-18	Yosoñama	San Juan Numí	Oax	rojo	Reynaldo Antonio Gonzalez
20	CIIDIR-22	La Unión	San Juan Numí	Oax	rojo	Benito Antonio Paz
21	CIIDIR-25	Santo Domingo Yosoñama	San Juan Numí	Oax	rojo	Angelina Gonzalez Jose
22	CIIDIR-30	San Juan Numí	San Juan Numí	Oax	rojo	Tomas Jimenez Ventura
23	CIIDIR-41	Cañada Maria	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax	rojo	Candido Soriano Ramirez
24	CIIDIR-45	Yosincava	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax	rojo	Esthela Velasco Reyes
25	CIIDIR-48	Plan de Guadalupe	San Martín Huamelúlpam	Oax	rojo	Natalia Vasquez Ramirez
26	CIIDIR-51	El Uval	Santa Cruz Tayata	Oax	rojo	Juan Perez Ortiz
27	CIIDIR-55	El Panteón	Santa María del Rosario	Oax	rojo	Emigdio Casiano Lopez Garcia
28	CIIDIR-63	Nduayucuyoco	San Martín Huamelúlpam	Oax	rojo	Javier Hernández Santiago
29	CIIDIR-64	Tercera Seccion	San Martín Huamelúlpam	Oax	rojo	Comisariado de Bienes Comunales
30	CIIDIR-74	Yutejaa	Santa Catarina Ticuá	Oax	rojo	Ismael Hernández Nicolas
31	CIIDIR-80	Cabacúa	Magdalena Peñasco	Oax	rojo	Elvira Maldonado Aguilar
32	CIIDIR-87	##	San Cristóbal Amoltepec	Oax	rojo	Marcelino Bautista Pérez
33	CIIDIR-89	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax	rojo	Miguel Aguilar Barrios
34	CIIDIR-97	Yosocahua	Magdalena Peñasco	Oax	rojo	Ricardo Aguilar Mendoza
35	CIIDIR-103	Totobonete	Chalcatongo de Hidalgo	Oax	rojo	Silvia Ruiz Cortez
36	CIIDIR-118	yosaute	Santa Cararina Ticuá	Oax	rojo	Carolina Nicolás López
37	CIIDIR-122	Fortín Juárez	Santa Cararina Ticuá	Oax	rojo	Filemon Hernández Vásquez
38	CIIDIR-140	##	##	Oax	rojo	##

39	CIIDIR-148	##	##	Oax	rojo	##
40	CIIDIR-150	##	##	Oax	rojo	##
41	Hgo08-03	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Rojo	Luis Balderas Arrieta
42	Hgo08-07	Huitzila	Tizayuca	Hgo	Rojo	Ascención Arrieta Ferruco
43	Hgo08-30	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Azul con Rojo	Rutilio González (Semillera)
44	Hgo08-39	Zacatlán	Zacatlán	Pue	Rojo (xocoyul)	Heriberto Mejorada (semillera)
45	Hgo08-45	##	##	Hgo	Rojo	##
46	Hgo08-51	Tlaxcoapan	Tlaxcoapan	Hgo	Rojo	Pomposo Mendoza
47	Gro08-09	Cualác	Cualác	Gro.	rojo	Dominga García Mora
48	Gro08-12	Sn Martín Jolalpan	Cualác	Gro.	rosita	Santiago Galindo
49	Gro08-14	Sn Martín Jolalpan	Cualác	Gro.	rosita	María Santana de la Cruz
50	Gro08-25	Cuescomapa	Cualác	Gro.	rojo	Liveriana Climaco Reyes
51	Gro08-27	Cuescomapa	Cualác	Gro.	rojo	Juan Lucio Isidoro
52	Gro08-29	Tlatlauquitepec	Atlixnac	Gro.	rojo	Juan Pérez Hernández
53	Gro08-31	Tlatlauquitepec	Atlixnac	Gro.	rojo	Juana Ibáñez Flora
54	Gro08-35	Tlatlauquitepec	Atlixnac	Gro.	rojo	Gaudencio Caballero Tepeco
55	Gro08-36	Chimixtla	Atlixnac	Gro.	rojo	Gaudencio Caballero Tepeco
56	Mich07-01	San Francisco Pichataro	Tigambato	Mich.	Rojo	##
57	Mich07-03	San Francisco Pichataro	Tigambato	Mich.	Rojo	##
58	Mich07-05	San Francisco Pichataro	Tigambato	Mich.	Rojo	##
59	Mich07-06	Nacoepezco	Erongarícuaro	Mich.	Rojo	##
60	Mich07-07	Tzurumútaro	Pátzcuaro	Mich.	Rojo	Mercado de Pátzcuaro
61	Mich07-08	Cuanaco	Pátzcuaro	Mich.	Rojo	##

**ANEXO 3.** Agrupación de las poblaciones de maíces con color de grano azul en variantes raciales.

<b>Variantes de Raza</b>	<b>GRUPO</b>	<b>Pobn</b>	<b>Identificación</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estado</b>
Chalqueño	1	1	Col-08-01	Atlautla	Edo. Méx.
Chalqueño	1	2	Col-08-02	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	3	Col-08-03	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	4	Col-08-04	Atlautla	Edo. Méx.
Chalqueño	1	5	Col-08-05	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	6	Col-08-06	Tenango del Aire	Edo. Méx.
Chalqueño	1	7	Col-08-07	Atlautla	Edo. Méx.
Chalqueño	1	8	Col-08-08	Cocotitlán	Edo. Méx.
Chalqueño	1	9	Col-08-09	Amecameca	Edo. Méx.
Chalqueño	1	10	Col-08-10	Ecatzingo	Edo. Méx.
Chalqueño	1	11	Col-08-11	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	12	Col-08-12	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	13	Col-08-13	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	14	Col-08-14	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	15	Col-08-15	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	16	Col-08-16	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	17	Col-08-17	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	18	Col-08-18	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	19	Col-08-19	Atlautla	Edo. Méx.
Chalqueño	1	20	Col-08-20	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	21	Col-08-21	Amecameca	Edo. Méx.
Chalqueño	1	22	Col-08-22	Chalco	Edo. Méx.
Chalqueño	1	23	Col-08-23	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	24	Col-08-24	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	25	Col-08-25	Amecameca	Edo. Méx.
Chalqueño	1	26	Col-08-26	Tenango del Aire	Edo. Méx.
Chalqueño	1	27	Col-08-27	Tenango del Aire	Edo. Méx.
Chalqueño	1	28	Col-08-28	Chalco	Edo. Méx.
Chalqueño	1	29	Col-08-29	Chalco	Edo. Méx.
Chalqueño	1	31	Col-08-45	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	32	Col-08-46	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	33	Col-08-47	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	34	Col-08-48	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	36	Col-07-01	Cocotitlán	Edo. Méx.
Chalqueño	1	37	MMOca13oCS	Ayapango	Edo. Méx.
Chalqueño	1	39	SnMiguel	SnMiguel	Edo. Méx.
Chalqueño	1	40	SnMiguelito	SnMiguelito	Edo. Méx.
Chalqueño	1	50	CIIDIR-58	Santa Cruz Tayata	Oax
Chalqueño	1	90	Hgo08-47	Tlaxcoapan	Hgo
Chalqueño	1	94	Gro08-04	Cualác	Gro.
Chalqueño	1	95	Gro08-06	Cualác	Gro.
Chalqueño	1	99	Gro08-19	Cualác	Gro.
Cónico	2	30	Col-08-30	Texcoco	Edo. Méx.

Cónico	2	35	CP-07(bor)	Texcoco	Edo. Méx.
Cónico	2	60	CIIDIR-107	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Cónico	2	61	CIIDIR-112	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Cónico	2	64	CIIDIR-124	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Cónico	2	65	CIIDIR-125	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Cónico	2	69	CIIDIR-142	##	Oax
Cónico	2	70	CIIDIR-145	##	Oax
Cónico	2	71	Hgo08-01	Tizayuca	Hgo
Cónico	2	72	Hgo08-02	Tizayuca	Hgo
Cónico	2	73	Hgo08-04	Tizayuca	Hgo
Cónico	2	74	Hgo08-06	Tizayuca	Hgo
Cónico	2	75	Hgo08-10	Mineral del Monte	Hgo
Cónico	2	76	Hgo08-12	Mineral del Monte	Hgo
Cónico	2	77	Hgo08-13	Mineral del Monte	Hgo
Cónico	2	78	Hgo08-20	Tulancingo	Hgo
Cónico	2	79	Hgo08-22	Tulancingo	Hgo
Cónico	2	80	Hgo08-25	Zacatlán	Pue
Cónico	2	81	Hgo08-30	Zacatlán	Pue
Cónico	2	82	Hgo08-34	Zacatlán	Pue
Cónico	2	83	Hgo08-36	Zacatlán	Pue
Cónico	2	84	Hgo08-37	Zacatlán	Pue
Cónico	2	85	Hgo08-38	Zacatlán	Pue
Cónico	2	86	Hgo08-40	Zacatlán	Pue
Cónico	2	87	Hgo08-43	Zacatlán	Pue
Mixteco	3	38	CP06-3335#	##	Tams
Mixteco	3	41	CIIDIR-02	San Bartolo Atlatlauca	Oax
Mixteco	3	42	CIIDIR-05	Tlaxiaco	Oax
Mixteco	3	43	CIIDIR-12	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	44	CIIDIR-16	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	45	CIIDIR-20	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	46	CIIDIR-23	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	47	CIIDIR-32	Tlaxiaco	Oax
Mixteco	3	48	CIIDIR-38	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax
Mixteco	3	49	CIIDIR-54	Santa Maria del Rosario	Oax
Mixteco	3	51	CIIDIR-62	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	52	CIIDIR-65	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	53	CIIDIR-66	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	54	CIIDIR-84	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	55	CIIDIR-90	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	56	CIIDIR-91	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	57	CIIDIR-95	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	58	CIIDIR-96	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	59	CIIDIR-105	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Mixteco	3	62	CIIDIR-117	Santa Cararina Ticuá	Oax
Mixteco	3	63	CIIDIR-121	Santa Cararina Ticuá	Oax
Mixteco	3	66	CIIDIR-129	##	Oax
Mixteco	3	67	CIIDIR-131	##	Oax
Mixteco	3	68	CIIDIR-139	##	Oax
Mixteco	3	88	Hgo08-44-A	Tlaxcoapan	Hgo

Mixteco	3	89	Hgo08-46	Mixquiahuala	Hgo
Mixteco	3	91	Hgo08-48	##	Hgo
Mixteco	3	103	Gro08-23	Cualác	Gro.
Mixteco	3	107	Mich07-02	Potrero de Bravo	Mich.
Mixteco	3	108	Mich07-04	##	Mich.
Ancho	4	92	Gro08-02	Cualác	Gro.
Ancho	4	93	Gro08-03	Cualác	Gro.
Ancho	4	96	Gro08-08	Cualác	Gro.
Ancho	4	97	Gro08-10	Cualác	Gro.
Ancho	4	98	Gro08-16	Cualác	Gro.
Ancho	4	100	Gro08-20	Cualác	Gro.
Ancho	4	101	Gro08-21	Cualác	Gro.
Ancho	4	102	Gro08-22	Cualác	Gro.
Ancho	4	104	Gro08-28	Cualác	Gro.
Ancho	4	105	Gro08-30	Atlixnac	Gro.
Ancho	4	106	Gro08-32	Atlixnac	Gro.

**ANEXO 4.** Agrupación de las poblaciones de maíces con color de grano rojo en variantes raciales.

Variantes de Raza	GRUPO	Pobn	Identificación	Municipio	Estado
Chalqueño	1	1	Col-08-31	Atlautla	Edo. Méx.
Chalqueño	1	2	Col-08-32	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	3	Col-08-33	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	4	Col-08-34	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	5	Col-08-35	Amecameca	Edo. Méx.
Chalqueño	1	6	Col-08-36	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	7	Col-08-37	Tenango del Aire	Edo. Méx.
Chalqueño	1	8	Col-08-38	Juchitepec	Edo. Méx.
Chalqueño	1	9	Col-08-39	Tenango del Aire	Edo. Méx.
Chalqueño	1	10	Col-08-41	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	11	Col-08-42	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	12	Col-08-43	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	13	Col-08-44	Milpa Alta	D. F
Chalqueño	1	43	Hgo08-30	Zacatlán	Pue
Chalqueño	1	44	Hgo08-39	Zacatlán	Pue
Chalqueño	1	61	Mich07-08	Pátzcuaro	Mich.
Cónico	2	41	Hgo08-03	Tizayuca	Hgo
Cónico	2	42	Hgo08-07	Tizayuca	Hgo
Mixteco	3	15	CP06-3334#	##	Tams
Mixteco	3	16	CIIDIR-06	Tlaxiaco	Oax
Mixteco	3	17	CIIDIR-13	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	18	CIIDIR-17	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	19	CIIDIR-18	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	20	CIIDIR-22	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	21	CIIDIR-25	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	22	CIIDIR-30	San Juan Ñumí	Oax
Mixteco	3	23	CIIDIR-41	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax
Mixteco	3	24	CIIDIR-45	San Pedro Mártir Yucuxaco	Oax
Mixteco	3	25	CIIDIR-48	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	26	CIIDIR-51	Santa Cruz Tayata	Oax
Mixteco	3	27	CIIDIR-55	Santa Maria del Rosario	Oax
Mixteco	3	28	CIIDIR-63	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	29	CIIDIR-64	San Martín Huamelúlpam	Oax
Mixteco	3	30	CIIDIR-74	Santa Catarina Ticuá	Oax
Mixteco	3	31	CIIDIR-80	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	32	CIIDIR-87	San Cristóbal Amoltepec	Oax
Mixteco	3	33	CIIDIR-89	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	34	CIIDIR-97	Magdalena Peñasco	Oax
Mixteco	3	35	CIIDIR-103	Chalcatongo de Hidalgo	Oax
Mixteco	3	36	CIIDIR-118	Santa Catarina Ticuá	Oax
Mixteco	3	37	CIIDIR-122	Santa Catarina Ticuá	Oax
Mixteco	3	38	CIIDIR-140	##	Oax
Mixteco	3	39	CIIDIR-148	##	Oax

Mixteco	3	40	CIIDIR-150	##	Oax
Mixteco	3	56	Mich07-01	Tigambato	Mich.
Mixteco	3	57	Mich07-03	Tigambato	Mich.
Mixteco	3	58	Mich07-05	Tigambato	Mich.
Mixteco	3	60	Mich07-07	Pátzcuaro	Mich.
Ancho	4	14	Col-07-02	Chalco	Edo. Méx.
Ancho	4	47	Gro08-09	Cualác	Gro.
Ancho	4	48	Gro08-12	Cualác	Gro.
Ancho	4	49	Gro08-14	Cualác	Gro.
Ancho	4	50	Gro08-25	Cualác	Gro.
Ancho	4	51	Gro08-27	Cualác	Gro.
Ancho	4	52	Gro08-29	Atlixnac	Gro.
Ancho	4	53	Gro08-31	Atlixnac	Gro.
Ancho	4	55	Gro08-36	Atlixnac	Gro.
Ancho	4	59	Mich07-06	Erongarícuaro	Mich.
Chalqueño-Celaya	5	45	Hgo08-45	##	Hgo
Chalqueño-Celaya	5	46	Hgo08-51	Tlaxcoapan	Hgo
Chalqueño-Celaya	5	54	Gro08-35	Atlixnac	Gro.

**Anexo 5.** Promedios de rendimiento por estado de poblaciones de maíz con grano de color azul, evaluadas en tres localidades.

Montecillo				Ayapango				Mixquiahuala			
Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est	Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est	Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est
Oax	111	3964.0	1662.9	D.F.	11	2643.8	1095.0	Oax	113	4063.0	1374.1
Gro	60	3858.8	1114.4	EdoMéx	101	2306.8	1275.3	Gro	60	3741.9	1032.3
Tams	4	2874.6	654.9	Oax	85	1990.8	1050.8	Mich	8	3595.0	1247.2
Hgo	43	2705.0	1628.2	Pue	23	1973.0	982.1	Hgo	50	3474.4	1835.8
Mich	8	1950.9	735.5	Hgo	37	1698.5	1021.0	Tams	4	3219.4	343.8
EdoMéx	122	1857.4		Mich	6	1341.6	819.4	D.F.	15	2978.6	1004.1
Pue	10	1689.1	644.5	Gro	40	715.7	569.3	EdoMéx	138	2878.4	1343.2
D.F.	15	1614.0	725.9	Tams	3	694.3	419.6	Pue	31	2385.5	723.3

Frec: Número de observaciones; Desv est: desviación estándar; Oax: Oaxaca; Gro: Guerrero; Hgo: Hidalgo; Tams: Tamaulipas; Mich: Michoacán; EdoMéx: Estado de México; Pue: Puebla; D.F.: Distrito Federal.

**Anexo 6.** Promedios de rendimiento por estado de poblaciones de maíz con grano de color rojo, evaluadas en tres localidades.

Montecillo				Ayapango				Mixquiahuala			
Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est	Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est	Estado	Frec	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Desv est
Oax	99	4848.3	1049.4	EdoMéx	30	2357.4	949.5	Hgo	16	4428.5	1442.8
Gro	35	4339.4	887.3	D.F.	12	1918.2	674.0	Oax	99	4322.4	1096.5
Hgo	16	3725.5	2267.2	Mich	18	1722.6	836.3	Tams	4	3707.1	980.9
Tams	4	3714.7	568.8	Hgo	9	1666.2	570.5	Gro	36	3696.0	1010.5
Mich	24	3059.1	1266.7	Oax	75	1639.4	763.6	Mich	23	3590.3	1389.2
EdoMéx	38	1793.4	1037.8	Pue	6	1477.2	439.6	EdoMéx	39	2785.0	968.0
Pue	7	1480.1	723.7	Gro	25	650.5	369.6	Pue	8	2225.5	270.5
D.F.	15	1035.8	503.5	Tams	3	572.1	238.6	D.F.	16	2178.1	865.6

Frec: Número de observaciones; Desv est: desviación estándar; Oax: Oaxaca; Gro: Guerrero; Hgo: Hidalgo; Tams: Tamaulipas; Mich: Michoacán; EdoMéx: Estado de México; Pue: Puebla; D.F.: Distrito Federal.