



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO DE
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

RENDIMIENTO DE GRANO Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN POBLACIONES DE MAIZ DE LA REGIÓN DE HUAQUECHULA, PUEBLA

VÍCTOR FLORES PARTIDA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

Puebla, Puebla
2011

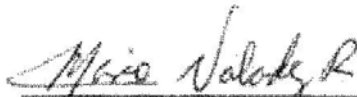
La presente tesis intitulada: **Rendimiento de grano y contenido de antocianinas en poblaciones de maíz de la región de Huaquechula, Puebla**; realizada por el alumno: **Victor Flores Partida**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRICOLA REGIONAL

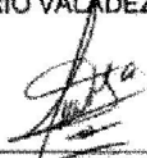
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. MARIO VALADEZ RAMIREZ

ASESOR



DR. J. ARAHON HERNANDEZ GUZMAN

ASESOR



DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

Puebla, Pue., México, 10 de febrero de 2011



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUE- 43-2-03 ANEXO

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Víctor Flores Partida**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Mario Valadez Ramirez, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: **Rendimiento de grano y contenido de antocianinas en poblaciones de maíz de la región de Huaquechula, Puebla** Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 16 de marzo del 2011.

Víctor Flores Partida
Firma

Dr. Mario Valadez Ramirez
Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

RENDIMIENTO DE GRANO Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN POBLACIONES DE MAIZ DE LA REGIÓN DE HUAQUECHULA, PUEBLA

Víctor Flores Partida, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011.

Con el propósito de seleccionar poblaciones locales de maíz con potencial para la producción de grano y la extracción de antocianinas, se colectaron 94 materiales genéticos en los municipios de Huaquechula, Atzizihuacán y Tlapanalá del estado de Puebla, pertenecientes geográficamente a la región de Huaquechula. Estas poblaciones y seis variedades testigo se evaluaron en 2007 en temporal, en las localidades de Huaquechula, Tlapanalá y Teacalco, utilizando el diseño Látice Triple 10x10. Los testigos correspondieron a tres materiales liberados por el Colegio de Postgraduados (CPV-M 301, Precoz Huejotzingo y Chiautla blanco), una población local de San Juan Tetla, una población de Izúcar de Matamoros y el híbrido comercial AS-910 desarrollado por la compañía semillera Aspros. La unidad experimental consistió de dos surcos de 0.8 m de ancho y 4.8 m de largo. La separación entre matas fue de 0.4 m, para un total de 13 matas y 26 plantas por surco. Se depositaron tres semillas para aclarar, después de la segunda labor, a dos plantas por mata. El manejo general de los experimentos correspondió a la tecnología de cada productor participante, con excepción de la fertilización. A las poblaciones de color, sobresalientes en rendimiento de grano, se les determinó el contenido de antocianinas. Los resultados indican que en la región del estudio existen poblaciones de maíz con alto potencial para la producción de grano. Asimismo, se identificaron materiales promisorios para la producción de antocianinas, así como algunos que combinan potencial para la producción de grano y antocianinas, aunque también hubo otros con alto potencial para la producción de antocianinas y bajo para la de grano, lo que sugiere su mejoramiento. Se encontró que el rendimiento de grano y el contenido de antocianinas no están correlacionados. La diversidad de maíz encontrada permite reconocer la importancia de la conservación *in situ* en la región.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones nativas, rendimiento, antocianinas.

GRAIN YIELD AND ANTHOCIANYNS CONTENT IN MAIZE POPULATIONS OF THE HUAQUECHULA PUEBLA REGION

Víctor Flores Partida, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011.

To select local maize populations with potential to produce grain and extract anthocyanins, 94 genetic materials were collected in the municipalities of Huaquechula, Atzizihuacán, and Tlapanalá, Puebla, which are geographically located within the Huaquechula region. These populations and six check varieties were evaluated in 2007 under rainfed conditions at the localities of Huaquechula, Tlapanalá, and Teacalco, using a 10x10 triple lattice design. The checks corresponded to three materials released by the Colegio de Postgraduados (CPV-M 301, Precoz Huejotzingo, and Chiautla blanco), one local population of San Juan Tetla, another population of Izúcar de Matamoros, and the commercial hybrid AS-910 developed by the seed company Aspros. The experimental unit consisted of two rows, 4.8 m long and 0.8 m apart. Plots were overplanted and, after the second cultivation, two plants were left every 0.4 m, to a final stand of 26 plants per row. The general management of the trials was according to the traditional technology used by each farmer, with the exception of fertilization. Anthocyanin content of the highest yielding colored populations was determined. Results show that in the region of this study there are maize populations with high potential to produce grain; likewise, there are promissory materials to produce anthocyanins. There were some materials that combined potential to produce both grain and anthocyanins, and some others shown high potential to produce anthocyanins and low to produce grain, which suggests its improvement. It was found that grain yield and anthocyanin content are not correlated. The maize diversity found let it recognize the importance of the *in situ* conservation in the study region.

Key words: *Zea mays* L., maize populations, yield, anthocyanins.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, el entendimiento y la capacidad para lograr un grado académico más en mi vida profesional y por las bendiciones que me brinda día a día.

A mis padres: Sra. Ildeliza Partida Ramos y Sr. Marcelino Flores Meza, porque gracias a sus grandes esfuerzos permitieron que pudiera emprender mi formación académica y concluir un estudio de postgrado. Gracias por creer en mí, gracias por regañarme, apoyarme, aconsejarme, cuidarme y regalarme su cariño y comprensión en todo momento. Los quiero y valoro mucho, y no hay día que no agradezca a Dios por tenerlos como padres.

A mis hermanos María Eugenia, Carmen, Raúl, Fidencio (q.e.p.d), Gloria, Gladis e Hilda, por su constante manifestación de apoyo y cariño en mi vida: los quiero mucho; gracias por todo.

A María Lilia Modesto Martínez, mi compañera de vida. Gracias por todo tu amor, compañía, paciencia, comprensión y consejos que me brindaste. Eres una gran mujer: te amo.

A mi hija Liliana y a mi hijo Jerson Omar, gracias por regalarme su tiempo y comprensión. Solo pido a Dios me de otra vez la oportunidad y el tiempo necesario para disfrutar de su alegría.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA-PUEBLA), encabezada por el M.C. Héctor Rene Becerril Toral, por las facilidades administrativas y laborales a un servidor y para el desarrollo del presente trabajo de investigación; apoyo sin el cual no hubiera sido posible alcanzar la meta.

A los integrantes de mi Consejo Particular, los doctores: Mario Valadez Ramírez, J. Arahón Hernández Guzmán y Aquiles Carballo Carballo. Les agradezco

sinceramente su amistad, dirección, apoyo y dedicación en la elaboración y revisión de este proyecto de investigación; y de forma especial al Dr. J. Arahón Hernández Guzmán, por sus acertadas sugerencias técnicas y dirección en el análisis estadístico de los resultados de esta investigación.

A los millones de mexicanas y mexicanos que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC) de la Subsecretaría de Educación Media Superior (SEM) adscrita a la Secretaría de Educación Pública (SEP), y del Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación.

A los agricultores de la región de Huaquechula, Puebla; especialmente a los productores de maíz, por facilitarme el material genético para realizar mi investigación; pero sobre todo, gracias por permitirme aprender de sus experiencias. Sus conocimientos tradicionales son muy valiosos.

A mis amigos Noé Larrága, Aniceto Martínez, Félix Alonso y Octavio Mota porque gracias a su apoyo, consejos y amistad sin reservas, me brindaron un aliciente más para esforzarme y terminar un estudio de postgrado; los quiero mucho y me siento honrado por permitirme su amistad.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. HIPOTESIS.....	2
3.1 Hipótesis general.....	2
3.2 Hipótesis específicas.....	2
4. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1 El cultivo del maíz en México.....	4
4.2 Diversidad genética del maíz en el estado de Puebla.....	6
4.3 Producción de maíz en el estado de Puebla.....	7
4.4 Algunas generalidades sobre antocianinas.....	8
4.4.1 Estructura de antocianinas.....	8
4.4.2 Síntesis de las antocianinas.....	9
4.4.3 Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas.....	10
4.4.3.1 pH y temperatura.....	10
4.4.3.2 Almacenamiento de antocianinas y estabilidad del color.....	11
4.4.3.3 Método de extracción	11
4.4.4 Importancia de las antocianinas como pigmento natural	12
4.4.5 Las antocianinas en maíz.....	13
4.4.6 Periodo de acumulación en la semilla.....	15

4.4.7 Acumulación diferencial de antocianinas en la semilla.....	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
5.1 Características de la región de Huaquechula.....	18
5.2 Desarrollo de la investigación.....	19
5.2.1 Etapa de campo.....	19
5.2.1.1 Colecta de semilla, aplicación de encuestas y selección de sitios experimentales.....	19
5.2.1.2 Evaluación de variedades.....	20
5.2.1.3 Registro de variables agronómicas.....	22
5.2.1.4 Registro de precipitación.....	22
5.2.2 Etapa de laboratorio.....	24
5.3 Análisis estadístico.....	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
7. CONCLUSIONES.....	44
8. BIBLIOGRAFIA.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Superficie sembrada con maíz, volumen de producción y rendimiento promedio por unidad de superficie por Distrito de Desarrollo Rural del estado de Puebla en 2008.....	7
Cuadro 2. Relación de municipios, localidades por municipio y número de poblaciones de maíz colectadas por localidad. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	18
Cuadro 3. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinal alto, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	25
Cuadro 4. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinal intermedio, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla.2007.....	26
Cuadro 5. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinal bajo, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	27
Cuadro 6. Análisis de varianza para rendimiento de grano en poblaciones de maíz evaluadas en la región de Huaquechula, Puebla en 2007.....	35
Cuadro 7. Prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para rendimiento de grano en poblaciones de maíz. Huaquechula, 2007.....	36
Cuadro 8. Análisis de varianza para rendimiento de grano en poblaciones de maíz evaluadas en Tlapanalá, Puebla en 2007.....	36
Cuadro 9. Prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para rendimiento de grano en poblaciones de maíz. Tlapanalá, 2007.....	37
Cuadro 10. Rendimiento de grano y otras variables agronómicas para las poblaciones sobresalientes en Huaquechula, Puebla, en 2007.....	38
Cuadro 11. Rendimiento de grano y otras variables agronómicas para las poblaciones sobresalientes en Tlapanalá, Puebla, en 2007.....	38
Cuadro 12. Análisis de varianza para contenido de antocianinas en poblaciones de maíz procedentes de la región de Huaquechula, Puebla.....	40
Cuadro 13. Poblaciones de color sobresalientes y contenido de antocianinas.....	41

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura básica de las antocianinas.....	8
Figura 2. Ubicación geográfica de la región de Huaquechula, Puebla.....	16
Figura 3. Distribución de poblaciones en los tres estratos altitudinales en función del color del grano. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	27
Figura 4. Rendimiento de poblaciones en los diferentes estratos, según la percepción de los productores encuestados. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	28
Figura 5. Procedencia de semilla de maíz para siembra en los diferentes estratos estudiados. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	29
Figura 6. Variación en las fechas de siembra de poblaciones de maíz en tres estratos altitudinales. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	30
Figura 7. Variación en las fechas de cosecha de poblaciones de maíz en tres estratos altitudinales. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	30
Figura 8. Siembra de poblaciones de maíz en función de la pendiente del suelo. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	31
Figura 9. Años en que los productores conservan la misma población de maíz. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.....	32
Figura 10. Distribución de la precipitación en sitios experimentales. Región de Huaquechula, 2007.....	33

1. INTRODUCCION

En México, la baja producción en maíz se atribuye, entre otros factores limitantes, a que el 80% de la superficie utilizada depende del agua de lluvia, la cual es usualmente escasa y con una distribución desfavorable. Esto, aunado a otros factores ambientales y socioeconómicos, contribuye al abandono de las actividades del campo, especialmente las relacionadas con la producción de maíz (Cordero, 2003). Ante estas circunstancias, resulta pertinente la búsqueda de alternativas que agreguen valor a la producción de maíz, con la finalidad de revertir tal situación; entre esas alternativas se encuentra el aprovechamiento del maíz para la extracción de antocianinas. Existe una importante demanda de colorantes naturales para sustituir a los artificiales, los cuales se relacionan con enfermedades crónicas degenerativas, lo que no ocurre cuando se utilizan los colorantes naturales.

La presente investigación, desarrollada en la región de Huaquechula, Puebla, tuvo como propósito central la selección de poblaciones locales de maíz con potencial para la producción de grano y la extracción de antocianinas, buscando entre otros propósitos agregar valor al maíz a través de este uso especial que ha venido mostrando una demanda creciente en el mercado internacional. El estudio se llevó a cabo en dos etapas principales; en la primera se evaluaron y caracterizaron un grupo de maíces procedentes de la región de referencia, con base en su rendimiento de grano, a fin de seleccionar los que resultaran sobresalientes. En la segunda etapa, se seleccionaron las mejores poblaciones de color rojo y azul, a las que se les determinó el contenido de antocianinas; característica que se espera agregue valor a los maíces del área de estudio, contribuyendo con ello a incentivar la siembra de poblaciones locales y con ello a la conservación del maíz, cultivo básico en la dieta de los mexicanos y de los poblanos en particular.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Seleccionar poblaciones de maíz promisorias para la producción de grano y/o la extracción de antocianinas, en la región de Huaquechula, Puebla.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Colectar y evaluar en condiciones de campo y temporal, poblaciones de maíz procedentes de la región de Huaquechula, Puebla, a fin de seleccionar aquellas que muestren el mejor potencial para rendimiento de grano y/o contenido de antocianinas.

2.2.2 Determinar el contenido de antocianinas de las poblaciones locales de maíz de color azul o rojo que muestren el mayor potencial de rendimiento.

3 HIPOTESIS

3.1 Hipótesis general

Entre las poblaciones de maíz colectadas en la región de Huaquechula, Puebla, existe variación significativa en rendimiento de grano y/o contenido de antocianinas como para permitir su diferenciación y selección.

3.2 Hipótesis específicas

3.2.1 En la región de Huaquechula, Puebla, existen poblaciones de maíz con alto potencial para la producción de grano.

3.2.2 En la región de Huaquechula, Puebla, existen poblaciones de maíz con alto potencial para la producción de antocianinas.

3.2.3 En la región de Huaquechula, Puebla, existen poblaciones de maíz que combinan alto potencial para la producción de grano y antocianinas.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 El cultivo del maíz en México

De los cultivos originarios y/o domesticados en Mesoamérica, el maíz, frijol, chile, calabaza y tomate son las más importantes en la dieta del pueblo mexicano. En forma conjunta se cultivan en México aproximadamente 10 millones de ha, en una gran diversidad de sistemas de producción. El maíz ha sido y sigue siendo el producto de mayor consumo nacional y por persona en el país; es la fuente principal de proteínas y carbohidratos, fundamentalmente a través de unos 6.5 millones de toneladas que se consumen directamente como tortillas y alrededor de 2.5 millones de toneladas de otras formas. La forma cultivada del género *Zea*, el maíz, está representada en México por casi 59 razas, cada una con características especiales de uso y adaptación a las diferentes condiciones ambientales y sistemas de producción. Hay variedades de maíz para casi cualquier necesidad específica; existen variedades de 1.5 a 5 metros de altura; diferentes grados de tolerancia al calor, frío o sequía; adaptación a diferentes tipos de suelo, altitud y latitud. El maíz se cultiva desde las costas del Golfo o del Pacífico hasta casi 3000 msnm; se siembra en regiones con precipitación pluvial menor a 400 mm hasta cercana a 3000 mm. Todas las partes de la planta tienen una forma de uso: el grano para tortillas, tostadas, atole, tamales, ponteduro, totopos, pinole, pozole, pozol, etc.; el tallo para jugo; los tallos secos para cercas o combustible, los olotes y raíces como combustible; hongos de la mazorca tierna como alimento; las hojas verdes o del totemoxtle para envolver tamales, etc. (INIFAP, 1995). En México se han documentado más de 600 recetas de alimentos preparados con base en el maíz, además de su uso en bebidas y como medicamento (Zorrilla, 1982). Actualmente, alrededor del 54% del consumo nacional de maíz se hace directamente para consumo humano, 36% se destina a forrajes y el 10% restante se emplea en procesos industriales muy diversos (SAGARPA, 2000).

A nivel nacional, en más del 80% de la superficie dedicada al cultivo del maíz se utilizan poblaciones locales, nativas o criollas, que los agricultores han conservado por generaciones; y en la actualidad, gran parte de la diversidad genética en esta especie

aun se conserva en manos de dichos agricultores. No obstante lo anterior, los materiales locales siempre han estado amenazados por diferentes factores: políticas gubernamentales, bajos precios, migración rural, pérdida de la cultura, altos costos de producción, sequías, nuevas variedades, sustitución del cultivos por otros más rentables (Aragón, 2005). Ante esta situación, una estrategia sería aquella que plantee como objetivo elevar la productividad del maíz donde predomine el cultivo de las poblaciones nativas y a la vez conservar la diversidad genética de esa especie, en donde tenga prioridad el estudio de la diversidad del maíz en las regiones maiceras, además de ensayar junto con los agricultores, varias metodologías sencillas de mejoramiento genético, que logre una evolución bajo domesticación en forma mas dirigida. Aunado a lo anterior, el aprovechamiento del maíz para determinados usos especiales, como la producción de pigmentos a través de las antocianinas para colorear alimentos, por ejemplo, es una alternativa factible para agregarle valor, promover su cultivo y coadyuvar a su preservación.

El maíz representa la principal fuente alimenticia de México y es el componente más relevante de la producción agrícola, al ocupar más de la mitad de la superficie destinada a la agricultura. El volumen de producción durante los últimos cinco años se ha mantenido en aproximadamente 21 millones de toneladas, de las cuales el 89% es de maíz blanco, el resto corresponde a maíz amarillo y a maíces pigmentados. En la actualidad la producción de maíz en México supera los 23 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 3.21 ton ha^{-1} . El total de la superficie sembrada es de 8117368 ha, y los principales estados productores por orden de importancia son Sinaloa, Jalisco, México, Michoacán, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Puebla y Oaxaca (SAGARPA, 2008).

De acuerdo con SAGARPA (2008), la superficie nacional sembrada con el cultivo de maíz decreció de 8.4 millones de ha en el año 2000 a 8.1 millones de ha en el 2007; sin embargo, en esos mismos años, el rendimiento nacional promedio por hectárea subió de 2.46 a 3.2 ton. Este incremento en el rendimiento por unidad de superficie se atribuye al aumento de la producción en las superficies irrigables del país, fundamentalmente en los estados más productores como son Sinaloa, Jalisco, Estado de México y Guanajuato.

4.2 Diversidad genética del maíz en el estado de Puebla

El maíz (*Zea mays* L.) se originó en Mesoamérica y se considera al teocinte como su ancestro (Miranda, 1966). Aun cuando en la actualidad existe un debate sobre el lugar preciso del lugar de origen del maíz, se considera a México como centro de origen ya que la diversidad genética encontrada de esta especie es una de las mayores en el mundo (Wellhausen *et al*, 1951); no obstante, de lo que no hay duda es de que esta planta ha tenido una larga historia en México.

Teorías que apoyan el origen del maíz en México argumentan que éste se debe haber sembrado como planta cultivada cuando menos desde 2000 años antes de la era cristiana y quizá las razas actuales de maíz en México son, por consiguiente, el producto de 4000 años o más de evolución bajo cultivo (Wellhausen *et al*, 1951). De igual forma los arqueólogos presentan la domesticación del maíz como una creación colectiva e histórica de los pueblos que ocuparon en la antigüedad la región del centro-sur del México actual (Warman, 1988). Este proceso de domesticación es tan antiguo como la agricultura misma. Estudios realizados en material vegetativo prehistórico encontrado en diferentes cuevas en el valle de Tehuacan, Puebla, señalan una edad cronológica de alrededor de 7000 años (Robles, 1990).

Los indígenas domesticaron e iniciaron la selección del maíz, contribuyendo de manera importante a la formación de variedades y razas. El proceso ha continuado a través de los agricultores quienes las han conservado por siglos y los fitomejoradores las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento y mejoramiento (Espinoza, 2003). Ortega y González (1989) reportaron 41 razas de maíz descritas en México; no obstante, este número se ha venido incrementando (Castillo, 1993), de tal manera que en la actualidad se tiene la descripción de 50 (Sánchez *et al*; 2000).

De acuerdo con Muñoz (2005), quien reporta para el Estado de Puebla la clasificación realizada en base a la diversidad de ambientes y tipos de mazorca a nivel de nichos ecológicos, el estado de Puebla queda comprendido desde la región mixteca baja que incluye los nichos de Ayuquila Oaxaca y Chiautla Puebla, en donde se encuentran mazorcas de tipo cónico con influencia de pepitilla, identificado como mixteco. En el Valle de Vásquez, Morelos, se encuentra un maíz blanco tipo pepitilla,

el maíz mixteco y el maíz tipo ancho, este último con características muy parecidas al Vandefío. En la subregión de transición entre valles altos e intermedios; particularmente en el nicho del Tentzo, situado al sur del valle de Puebla, existen poblaciones con mazorcas cónicas cortas color azul, así como mazorcas coloradas también cónicas pero con un grano tipo pepitilla. También se presentan mazorcas cónicas con influencia de la raza bolita. El tipo de más potencial de rendimiento es el Chalqueño, de color blanco cremoso, pasando por el rojizo hasta el rojo intenso. En la región del altiplano central que comprende los valles altos y fríos de los estados de Guerrero, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y México principalmente, a la que pertenecen los nichos de los volcanes Popocatepetl, Iztaccihuatl, pico de Orizaba, valle de Serdán y el valle de Puebla, se encuentra una amplia diversidad de poblaciones por agricultor; las formas de mazorca se asemejan a las razas Chalqueño con coloración blanca, blanco cremosos y amarillos, así como a la raza cónico tipo elotes cónicos, con coloración azul y rojo; existe además la raza Cacahuacintle.

4.3 Producción de maíz en el estado de Puebla

El estado de Puebla, de acuerdo a cifras de producción nacional de maíz en 2007, se encuentra entre los 10 principales productores, contribuyendo con 4% de la producción nacional, con aproximadamente 942 mil toneladas. La superficie total sembrada es de 591,213 ha, la cual constituye 7.28% del total de la superficie nacional sembrada con maíz, que es de 8117368 ha. El rendimiento promedio estatal es de 1.85 ton ha⁻¹; mismo que se encuentra muy por debajo de la media nacional (SAGARPA, 2008).

En el Cuadro 1 se concentran algunas estadísticas para el cultivo del maíz por Distrito de Desarrollo Rural, en donde destaca que el DDR de Cholula ocupa el segundo lugar estatal después del DDR Libres; estos dos distritos, además de presentar las mayores superficies sembradas con maíz, presentan los mayores rendimientos por unidad de superficie; de allí que su aporte al volumen estatal de maíz es importante. La región de Huaquechula -que es donde se ubica el presente estudio- queda comprendida en el DDR Cholula (SAGARPA, 2008).

El cultivo de maíz en la región de estudio es la segunda opción productiva; sin embargo esta región aporta aproximadamente el 2.11 % de la superficie sembrada con maíz en el estado. En el 2007 el volumen producido en la región contribuyó con el 2.5 % de la producción estatal. Por otro lado, las condiciones de cultivo en la región se caracterizan, en su mayoría, por siembras de temporal, con bajos rendimientos por hectárea; no obstante, el rendimiento promedio regional (2.58 ton ha^{-1}) es superior al rendimiento promedio estatal que es de 1.85 ton ha^{-1} (SAGARPA, 2008).

Cuadro 1. Superficie sembrada con maíz, volumen de producción y rendimiento promedio por unidad de superficie por Distrito de Desarrollo Rural del estado de Puebla en el 2008.

DISTRITO	SUPERFICIE (ha)	PRODUCCION (ton)	RENDIMIENTO (ton ha^{-1})
Cholula	111,627	288,579	2.58
Huachinango	26,922	25,037	1.31
Izucar de Matamoros	100,350	106,698	1.06
Libres	123,003	284,342	2.69
Tecamachalco	88,738	157,279	1.87
Tehuacan	41,361	20,566	0.72
Teziutlán	55,020	47,994	1.06
Zacatlán	44,192	11,822	0.75

Fuente: SAGARPA, 2008.

4.4 Algunas generalidades sobre antocianinas

4.4.1 Estructura de antocianinas

Las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides, grupo de pigmentos ampliamente distribuido en el mundo vegetal. Las antocianinas son responsables de un gama de colores en las plantas, que incluye el azul, púrpura, violeta, rojo y naranja (Fennema, 2000); además representan los principales pigmentos solubles en agua, que son visibles al ojo humano, son mucho mas evidentes en flores y frutos, aunque se pueden encontrar en cualquier parte de la planta (Salinas, 2000). Usualmente están acumuladas en las vacuolas de raíces y brácteas de las células epidérmicas o subepidérmica (Espinoza, 2003). Su composición básica es un núcleo de flavón, el cual consta de dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbonos (Figura 1).

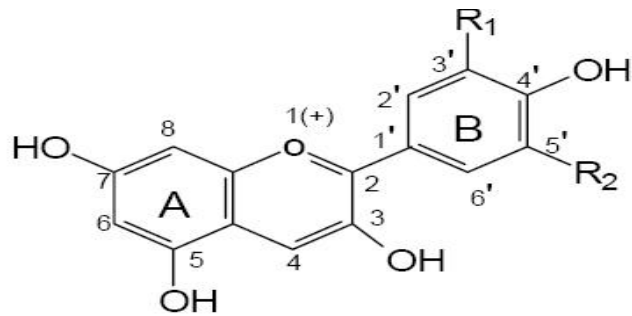


Figura 1. Estructura básica de las antocianinas.

En general, las antocianinas se acumulan en la planta en forma glicosilada; esto es, unidas a algún azúcar. Generalmente, el azúcar se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico aunque puede también unirse en las posiciones 5 y 7; el azúcar presente en la molécula de las antocianinas les confiere una gran solubilidad y estabilidad. Si el azúcar que contiene la antocianina se hidroliza, se origina una antocianidina (Salas, 2003). El nivel de hidroxilación o metilación en el anillo “B” de la molécula determina el tipo de antocianidina (Strack y Wray, 1989).

4.4.2 Síntesis de las antocianinas

La síntesis de antocianinas ocurre en el citoplasma de la célula. Cerca del retículo endoplásmico se localiza el conjunto de enzimas que participan en este proceso y cuyo sitio de acción se halla muy cerca del tonoplasto. Una vez que la antocianina es formada, se deposita en la vacuola, mediante un fenómeno de transporte en la que participa una GS transferasa (Marrs *et al.*, 1995); en este organelo las antocianinas se localizan en pequeños cuerpos esféricos conocidos como antocianoplastos (Strack y Wray, 1989).

Las antocianidinas se derivan de la condensación de tres moléculas de malonil-CoA, provenientes de la ruta del acetato, con una molécula de p-coumaril-CoA, de la ruta de los fenilpropanoides, para dar una molécula de chalcona, que es el primer precursor común para la síntesis de flavonoides. Esta reacción es catalizada por la

enzima chalcona sintasa, considerada como la más importante en la biosíntesis de flavonoides (Grisebach, 1982).

4.4.3 Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

4.4.3.1 pH y temperatura

Wrolstad (2004) menciona la existencia de factores limitantes en la aplicación de antocianinas como colorantes, por ser inestables a la luz y el calor, ya que son susceptibles a la degradación. En la mayoría de las antocianinas el rango de pH ácido proporciona una mayor estabilidad al color, si el pH es mayor de cuatro existen posibilidades de destrucción de la antocianina; sin embargo, no todas las antocianinas son igualmente susceptibles a degradarse ante condiciones extremas de pH y temperatura. En general, cuando se tienen antocianinas simples, los monoglucósidos son más intercambiables o lábiles que los diglucósidos (Markakis, 1982). Las antocianinas aciladas son mucho más estables que las antocianinas simples, en condiciones extremas de pH y temperatura, lo que es atribuido a que los radicales acilos interactúan con los núcleos de flavilium y logran así mayor estabilidad a la copigmentación intramolecular, y además previenen la reacción de hidratación del C₂ de la molécula (Dougall *et al.*, 1997).

Se ha dicho que las antocianinas son susceptibles al pH, y que de acuerdo al valor de este factor es el color que adquieren cuando están en solución. En general a pH muy ácido todas las antocianinas son de color rojo, y bajo estas condiciones la estructura química que prevalece es la de catión flavilium. Si el pH está entre dos y cuatro, la forma predominante es como base quinonoidal y el color es azulado. A un pH de cinco se presenta la estructura de pseudo base carbinol, y la antocianina es incolora; si el pH es de seis se tiene la pseudo base chalcona, que es también incolora. Si el pH se incrementa arriba de siete, la antocianina se destruye (Brouillard, 1982). Es en la vacuola celular donde estos compuestos se almacenan, y cuyo pH oscila entre cuatro y seis; en estas condiciones, se presenta una mezcla en equilibrio

de las cuatro formas arriba mencionadas, con predominio de la forma pseudo base carbinol (Marrs *et al.*, 1995).

4.4.3.2 Almacenamiento de antocianinas y estabilidad del color

Little (1977) realizó un estudio de preservación de la composición del pigmento en fresas naturales y conservas, así como en vino de color rojo oscuro, durante 55 días de almacenamiento a una temperatura de 37.7 °C, con rangos de pH de 3.4 a 1. No encontró efecto del pH sobre la formación de polímeros cafés y degradación de pigmentos; observando por el contrario, la prolongación de la degradación de las antocianinas, así como una mayor estabilidad del color.

4.4.3.3 Método de extracción

Baublis *et al.* (1994), monitoreando la extracción de pigmentos y la estabilidad de diferentes estructuras de antocianinas en cuatro extractos y bajo condiciones controladas, encontraron que la extraordinaria estabilidad de las antocianinas puede ser atribuida a sus estructuras, conjuntamente con el grado de acilación y sustitución en el anillo “B” de la estructura del cromóforo. Asimismo, afirman que la co-pigmentación intramolecular, puede disminuir la hidratación de estos compuestos a la pseudo base incolora que aumenta la estabilidad en el extracto. Davies y Mazza (1993), citados por Baublis *et al.* (1994), reportaron que el pH, el co-pigmento, la estructura del pigmento y la concentración del co-pigmento y pigmento, tienen una fuerte influencia sobre la estabilidad.

Jing y Giusti (2007) evaluando los métodos de extracción de antocianinas en maíz morado para reducir los residuos durante el proceso productivo, encontraron que las condiciones de extracción, incluyendo el tipo de disolvente, la temperatura y el tiempo de exposición de la antocianina durante el proceso, pueden ser reguladas a fin de producir pigmento de calidad superior con una reducción considerable de pérdidas. De igual forma, el empleo de agua desionizada a temperaturas de 50 °C influye no solo

en la producción de altos rendimientos de antocianinas sino también en la reducción de proteínas y taninos.

4.4.4 Importancia de las antocianinas como pigmentos naturales

Actualmente, en los países de la Unión Europea, el uso de colorantes sintéticos en alimentos ha sido severamente cuestionado y muchos de ellos prohibidos, ya que algunos reportes indican que el consumo indiscriminado de estos pigmentos está ligado con el desarrollo de enfermedades degenerativas como algunos tipos de cáncer (Wang *et al.*, 1997). Sin embargo, dado que el color de los alimentos tiene un fuerte efecto sobre la aceptación o rechazo por parte del consumidor, los colorantes prohibidos requieren ser sustituidos por colorantes naturales, y se considera a las antocianinas como una fuente alternativa para sustituir algunos de estos colorantes, sobre todos los rojos. Estos compuestos han sido consumidos por el hombre desde antaño, sin ningún efecto perjudicial evidente (Mazza y Miniati, 1993).

Las antocianinas poseen importantes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Ghiselli *et al.*, 1998; Noda *et al.*, 2000; Wang y Lin, 2000; Prior 2003); participan en la actividad antimutagénica (Gasiorowski *et al.*, 1997; Peterson y Dwyer, 1998), como un fármaco preventivo (Koide *et al.*, 1997; Zhao *et al.*, 2004) y contribuyen a la reducción de enfermedades crónicas degenerativas. Se ha demostrado que los alimentos basados en pigmentos de antocianinas provenientes de grano de maíz morado inhiben la mutación de las células (Aoki *et al.*, 2004), y pueden prevenir la obesidad y la diabetes (Tsuda *et al.*, 2003). Además, las antocianinas pueden utilizarse en la tinción de alimentos, telas o pieles, y por las propiedades antioxidantes que presentan, pueden emplearse como un aditivo para prevenir la autooxidación de los lípidos (rancidez) en productos alimenticios (Espinoza *et al.*, 2000). Aunado a lo anterior, los brillantes colores y alta solubilidad en agua hace de las antocianinas una importante opción para sustituir parte de los colorantes sintéticos cuyo uso ha disminuido por su posible efecto dañino sobre la salud humana (Salas, 2003). De acuerdo con Downham y Collins (2000), la producción de los colorantes naturales o derivados de estos se ha incrementado de un 5 a 10%, mientras que la de los sintéticos

ha decrecido entre 3 y 5 %. Se estima que, a nivel mundial, se hayan bajo estudio 70% de las plantas conocidas y no tóxicas para ser consideradas como posibles fuentes de pigmentos (Wissgott y Bortlik, 1996). Asimismo se ha asociado a los compuestos naturales con la neutralización de especies reactivas del oxígeno (OH, ROO y O₂), las cuales son producidas como resultado del metabolismo de los seres vivos y cuya producción descontrolada es causante de enfermedades como las cardiovasculares, artritis, varios tipos de cáncer, envejecimiento prematuro, aterosclerosis y la enfermedad de Alzheimer (Satué-Gracia *et al.*, 1997).

El consumo de vegetales que contienen antocianinas está cobrando importancia porque (aunque éstas últimas no son nutritivas) protegen al organismo y representan una valiosa fuente natural en la prevención de enfermedades como las ya mencionadas (Madhavi y Salunkhe 1995). Francis (2000) reportó que las antocianinas pueden ser también utilizadas como colorantes en alimentos, botanas, como farmacéuticos y cosméticos; además se están usando actualmente en la elaboración de bebidas y postres (Jing y Giusti, 2007).

Los carotenoides son la principal fuente de colorantes, 78 de los cuales han sido patentados, seguido de las antocianinas con 49 (Francis, 1987). Los colorantes de antocianinas en su mayoría han sido extraídos de *Vitis sp*; *Brassica olearaceae*, *Hibiscus sabdariffa*, *Sambucus nigra*, *Perilla sp*, *Rubus sp*, y en menor cantidad de hojas de *Zea mays* (Bridle y Timberlake, 1997).

4.4.5 Las antocianinas en maíz

Estudios realizados por Vázquez *et al* (2006) indican que los contenidos de antocianinas en algunas muestras de maíz pigmentado provenientes de algunas razas de México y otras muestras regionales de la estación de Ames, Iowa, USA, osciló entre 636 y 2612 mg kg⁻¹ de harina. Estas dos muestras corresponden a granos de color negro y sus pigmentos estaban en el pericarpio y en la capa de aleurona del grano, aunque también mostraron una baja intensidad de color. De las muestras mexicanas evaluadas de color negro sobresalió la Gto 2, la cual presentó una intensidad de color media; el pigmento se localizó en la capa de aleurona, y mostró una

concentración de antocianina de 432 mg kg^{-1} de harina. Las muestras sobresalientes de granos con color rojo fueron el tipo IA3 USA y Gto 1, de México con concentraciones de 84 y 152 mg kg^{-1} de harina, respectivamente. Ambas muestras tuvieron el pigmento en el pericarpio y en la capa de aleurona. La proporción de antocianinas en estas últimas muestras fue comparada con muestras de granos donde el pigmento se localizaba solo en la capa de aleurona o pericarpio, encontrando que el contenido de antocianinas fue afectado por la localización del pigmento dentro del grano. De acuerdo con Salas (2003), los maíces de color café y naranja presentaron pigmento solo en el pericarpio. En relación a los valores de croma (brillantez y luminosidad del color), los granos de color naranja presentaron valores más altos mientras que los granos de color azul los más bajos. La concentración de antocianinas no dependió de la coloración del grano pero si de la ubicación del pigmento, ya que los maíces que tenían su concentración solo en el pericarpio presentaron concentraciones muy bajas (Salinas, 2000; Espinoza, 2003). Por su parte Salas (2003), en muestras de maíz proveniente de la raza arrocillo, encontró que los mayores contenidos fueron de $1150.5 \text{ mg kg}^{-1}$ de harina, mientras que el contenido mas bajo correspondió a las muestras provenientes de la raza cónico con 540 mg kg^{-1} de harina. Salinas (2000) encontró que el contenido de antocianinas totales en los maíces de grano rojo varió desde 87 a 610 mg kg^{-1} de harina; mientras que los maíces de grano azul presentaron valores de 298 a 461 mg kg^{-1} de harina; afirma además que el contenido de antocianinas más alto se presentó en las muestras con pigmento tanto en el pericarpio como en la capa de aleurona. Asimismo, no encontró una relación clara entre la intensidad del color de grano y el contenido de antocianinas totales, ya que los maíces con los valores más bajos de L, indicativo de un color mas intenso, presentaron un contenido de antocianinas totales de bajo a intermedio. Esto lo confirma el análisis de correlación entre los parámetros de color y algunas expresiones obtenidas a partir de estos, con el contenido de antocianinas totales en el grano de los maíces pigmentados. No detectó correlación entre la variable L y el contenido de antocianinas totales en el grano, lo que equivale a decir que la intensidad del color del grano no está asociada con el contenido de antocianinas.

En lo que se refiere a los tipos de antocianinas, Cyanidin 3-glucósido es la más importante en granos de maíz morado (Styles y Ceska, 1972; Nakatani *et al.*, 1979). Se han encontrados también glucósidos derivados de Cyanidina, pelargonidina y peonidina en plantas de maíz como otros derivados malónicos. (Aoki *et al.*, 2002; Pascual-Teresa *et al.*, 2002; Jing y Giusti, 2005). Aunque otros autores mencionan también la presencia de malvidina (Caldwell y Peterson, 1972), así como delfinina (Bustillos, 1997).

Las antocianinas presentes en maíz son tanto simples como aciladas (Salinas, 2000). En las simples, el único azúcar es la glucosa (Straus, 1959; Harborne y Gavazzi, 1969; Harborne y Self 1987), mientras que en las aciladas se ha identificado además de este azúcar, a la rutinosa (Caldwell y Peterson, 1992). Las antocianinas simples reportadas para maíz son: cianidina 3-glucósido, pelargonidina 3-glucósido y peonidina 3-glucósido. La primera es común en grano morado (Nakatani *et al.*, 1979) y azul (Salinas, 2000) y las dos restantes en maíces de grano rojo (Coe, 1955).

Las antocianinas aciladas que tienen uno o mas radicales acilo derivados de ácidos alifáticos (málico, malónico o succínico) presentan en su estructura únicamente glucosa y se han identificado en hojas de maíz coloreadas (Harborne y Self, 1987), en tanto que las aciladas con alguno de los cuatro ácidos cinámicos (p-coumárico, caféico, ferúlico o sináptico) poseen glucosa y rutinosa en su estructura, y los compuestos identificados en granos de maíz con color en la aleurona son peonidina 3-(cafeilrutinosido)-5 glucósido, peonidina3-(p-coumarilrutinosido)-5 glucósido y malvidina 3-(cafeilrutinosido)-5 glucósido (Caldwell y Peterson, 1992).

4.4.6 Periodo de acumulación en la semilla

La acumulación de antocianinas en flores y frutos comúnmente se da en las fases finales de su desarrollo, aunque en frutos como pera y manzano se ha encontrado que presentan dos picos en la síntesis de estos compuestos; el primero cuando el fruto es aun muy joven, y el segundo que coincide con la madurez del mismo (Viljoen y Huysamer, 1995). En otros cultivos como fresa y grosella, la mayoría de las antocianinas totales se sintetizan en estadios tempranos del desarrollo del fruto y

aunque el contenido total de estos compuestos se incrementa con la madurez del fruto, el patrón de antocianinas y los porcentajes relativos de cada una permanecen casi sin cambios (Toldam y Hansen, 1997). En maíz se ha evaluado el resultado de diferentes cruza entre materiales pigmentados contrastantes, observándose que el color es apreciable en la aleurona de los granos en estadios tan tempranos como 11 días después de la polinización (Prasana y Sarkar, 1992). En estudios que tenían como objetivo conocer la etapa del desarrollo del grano en que comienza la acumulación de antocianinas en dos muestras de maíz (azul y rojo), Salinas (2000) encontró en los maíces de grano azul un periodo de acumulación que va desde los 21 días hasta los 56 días después de la polinización, mientras que los maíces de grano rojo la acumulación fue desde los 12 días hasta los 63 días después de la polinización, considerando que los dos maíces empleados son de ciclo largo, sobretodo el de grano rojo.

4.4.7 Acumulación diferencial de antocianinas en la semilla

En el caso de los maíces de grano color rojo, desde los 12 días después de la polinización, la concentración del pigmento fue de $613 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de harina, ésta concentración se incrementó hasta alcanzar un máximo de $1290 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de harina a los 33 días después de la polinización; a partir de esta fecha fue evidente un decremento significativo. La concentración mas baja de antocianina se presentó a los 40 días después de la polinización y a partir de esta fecha comenzó a incrementarse a una tasa similar a la de la materia seca en el grano, comportamiento que se mantuvo hasta los 54 días después de la polinización, ya que después de esta fecha se observó un ligero descenso de la antocianina total hacia el final del periodo de crecimiento del grano (Salinas, 2000).

La antocianina total en el grano de maíz azul es cuantificable a partir de los 21 días después de la polinización y la mayor acumulación se presentó entre los 39 y 45 días después de la polinización, periodo en el que también el grano mostró las más altas tasas de crecimiento. A partir de los 49 días después de la polinización la tasa de acumulación de los pigmentos decreció y fue cero desde los 56 días después de la polinización, que es la fecha en que se registró la aparición de la capa negra en el

grano. La dinámica de acumulación de antocianinas en este tipo de grano, que presenta pigmentos solo en la capa de aleurona, describe una curva similar a la de materia seca (Salinas, 2000).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Características de la región de Huaquechula

La investigación se realizó en la región de Huaquechula, Puebla, que se ubica entre los valles de Atlixco e Izúcar de Matamoros (Figura 2). Geográficamente está comprendida entre los 18°48'39" y 18°41'27" de latitud norte, y entre los 98°30'50" y 98°33'02" de longitud Oeste. El clima predominante es semicálido subhúmedo con lluvias en verano (ACw1 y Acw0). Presenta una configuración fisiográfica en la que predomina la llanura con lomerío en 62% de la superficie regional. La altitud oscila entre 1200 y 1699 m; la temperatura media anual es de 21.6 °C. Los meses más fríos registran una temperatura promedio anual de 18°C. La precipitación pluvial promedio es de 880 mm anuales (INEGI, 2009).

La superficie regional es de aproximadamente 431.2 km² (Gobierno del estado de Puebla, 2005) El uso del suelo en la región es principalmente para la agricultura con 60%, pastizal de uso forrajero 6%, bosque 10%, selva baja 22% y matorral 1 %. Los cultivos sembrados de mayor importancia económica son el sorgo seguido del maíz; además de cacahuate, jícama, frijol y gladiola (INEGI, 2009).

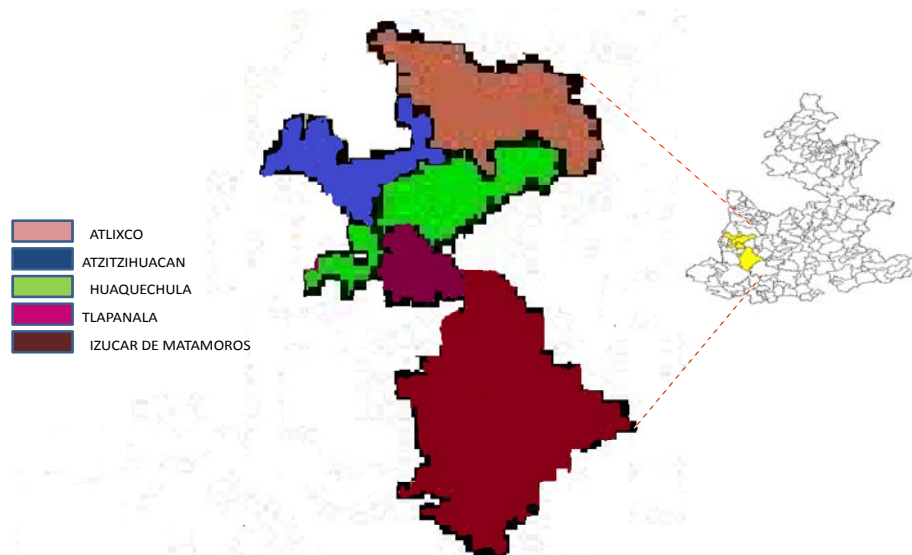


Figura 2. Ubicación geográfica de la región de Huaquechula, Puebla.

5.2 Desarrollo de la investigación

La investigación consistió en una etapa de campo y otra de laboratorio. Las particularidades de cada etapa se describen a continuación.

5.2.1 Etapa de campo

5.2.1.1 Colecta de semilla, aplicación de encuestas y selección de sitios experimentales

Esta etapa inició con la consulta de fuentes secundarias de información aunada al análisis cartográfico del área de estudio. Se identificaron localidades, condiciones edafoclimáticas, importancia relativa de las áreas maiceras y número de productores maiceros según información proporcionada por presidentes de comisariados ejidales. Con base en la información disponible se llevó a cabo la colecta de materiales genéticos, buscando representar en lo posible la diversidad existente. El número de poblaciones colectadas, procedentes de tres municipios, fue de 94 (Cuadro 2).

Simultáneamente a la obtención de muestras de maíz se aplicó una encuesta a cada agricultor cooperante. Esta encuesta tuvo la finalidad de documentar información referente a condiciones de producción, rendimiento, lugar de origen de la semilla, años de uso, tipo de suelos en donde se siembra y usos que se le da a la cosecha. La aplicación de encuestas y la colecta de germoplasma tuvieron lugar durante enero y febrero de 2007.

La información obtenida de fuentes secundarias y el recorrido de campo efectuado durante la colecta de germoplasma, sirvieron de base para seleccionar los sitios de evaluación. Se eligieron tres localidades distribuidas de tal manera que se cubrieran las condiciones edáficas, altitudinales y climáticas más representativas del área de estudio, con el propósito de que los resultados obtenidos en las evaluaciones fueran aplicables a la región. Los sitios experimentales se ubicaron en la localidad de Tlapanalá, que corresponde al municipio del mismo nombre, así como en Teacalco y Huaquechula, pertenecientes al municipio de Huaquechula. Estos centros de población se localizan a

altitudes de 1699, 1580 y 1400 m, respectivamente. Existe una separación en distancia entre ellas de aproximadamente 20 km. La localidad de Huaquechula se ubica entre los 18°45'57" de latitud norte y los 98°32'52" de longitud oeste. Tlapanalá se localiza entre los 18°41'27" de latitud norte y los 98°33'02" de longitud oeste; en tanto que Teacalco se ubica entre los 18°48'39" de latitud norte y los 98°30'50" de longitud Oeste (Google Earth 5.0, 2009).

Cuadro 2. Relación de municipios, localidades por municipio y número de poblaciones de maíz colectadas por localidad. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Municipio	Localidad	No. de Poblaciones Colectadas	
Atzizihuacán	San Miguel Aguacomulcan	6	
Huaquechula	Huaquechula	23	
	La Soledad	12	
	Teacalco	11	
	Cacaloxuchitl	8	
	Santa Ana Coatepec	5	
	Tezonteopan de Bonilla	5	
	Santiago Tetla	3	
	San Antonio	3	
	Huejotal	2	
	San Juan Vallarta	2	
	Tronconal	1	
	Soto y Gama	1	
	Tlapanalá	Tepetzingo	3
		Tepapayeca	3
El Aztla		3	
Tlapanalá		3	
Total		94	

5.2.1.2 Evaluación de variedades

Los terrenos donde se establecieron los experimentos presentan poca pendiente; los de Huaquechula y Teacalco se conocen regionalmente como barros, correspondiendo en su mayoría a los tipos de suelo: regosol eútrico, vertisol cálcico, histosol férrico y leptosol móllico; mientras que los suelos de Tlapanalá son conocidos localmente como tierra blanca y corresponden a los tipos arenosol háplico y regosol

calcárico. Existen sin embargo otros suelos conocidos como tierra limosa, mismos que corresponden a los tipos vertisoles eútricos y leptosoles dístricos (Dorronsoro, 1988).

El material genético en evaluación consistió de las 94 poblaciones colectadas localmente y seis variedades testigo, de las cuales tres fueron desarrolladas por el Colegio de Postgraduados (CPV-M 301, Precoz Huejotzingo y Chiauutla blanco), dos correspondieron a poblaciones locales de San Juan Tetla e Izúcar de Matamoros y la otra fue el híbrido comercial AS-910, liberado por la compañía semillera Aspros.

Se estableció un experimento por localidad, utilizando el diseño en Látice Triple 10x10. La aleatorización de los tratamientos en el diseño se efectuó siguiendo el procedimiento descrito por Cochran (1990), el cual consiste en: a) aleatorizar los bloques, separada e independientemente, dentro de cada repetición; b) aleatorizar los tratamientos en forma separada e independiente dentro de cada bloque; y c) designar al azar los tratamientos a los números de tratamiento. La unidad experimental consistió de dos surcos de 0.8 m de ancho y 4.8 m de largo. La separación entre matas fue de 0.4 m, para un total de 13 matas por surco. Se depositaron tres semillas para aclarar, después de la segunda labor, a dos plantas por mata.

La siembra tuvo lugar el 28 de junio en Teacalco, el 3 de julio en Huaquechula y el 12 y 13 de julio de 2007 en Tlapanalá. Esta se llevó a cabo manualmente con la forma conocida regionalmente como “tapapie”, que consistió en abrir el surco con el arado utilizando tracción animal, se depositaron las semillas en el fondo del surco a la distancia especificada utilizando cadena previamente marcada con listones y se tapó con el pie movilizanddo suelo del lomo del surco.

El manejo general de los experimentos durante el periodo de cultivo fue de acuerdo al que tradicionalmente realizan los agricultores; no obstante, se realizaron dos fertilizaciones con base a la recomendación del INIFAP para la región, con la fórmula 120-60-00. La primera fertilización tuvo lugar al momento de la primera labor, cuando la planta alcanzó 20-25 cm de altura, aplicando la primera mitad del fertilizante nitrogenado y todo el fósforo en forma mateada. El resto del fertilizante nitrogenado se aplicó al momento de la segunda labor o “despacho”, el cual tuvo lugar a los 15 días después de la primera escarda.

En las tres localidades el control de malezas se realizó con productos químicos selectivos (Hierbamina en dosis de 1.0 L.ha^{-1}), aplicado en post emergencia temprana, de acuerdo a las especificaciones del producto. Asimismo, para el control de plagas (gallina ciega y gusano cogollero) se aplicaron Furadán 350 L en dosis de 2 L.ha^{-1} y Parathión Metílico en dosis de 1 L.ha^{-1} , respectivamente.

La cosecha de los experimentos se llevó a cabo durante la segunda quincena de noviembre y primera quincena de diciembre de 2007.

5.2.1.3 Registro de variables agronómicas

Nivel de Precocidad. Se evaluó con base al porcentaje de plantas con espigas liberando polen dentro de cada unidad experimental. Esta variable se registró a los 70 días después de la siembra en Tlapanalá y a los 80 días en Teacalco y Huaquechula. El nivel precoz se estableció cuando el porcentaje de floración de las variedades estuvo entre el 80 y 100 %. El nivel intermedio correspondió a las variedades que presentaron la floración entre el 60 y 79 % y el nivel tardío se asignó a las variedades de maíz que presentaron floraciones menores al 60 %.

Altura de planta. Se tomó en metros desde el nivel del suelo hasta la base de la primera rama de la espiga. Se muestrearon cinco plantas por unidad experimental.

Altura de mazorca. Se tomó en metros desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior. Se muestrearon cinco plantas por unidad experimental.

Calificación del aspecto de planta. Un poco antes de iniciar la cosecha en cada parcela, se asignó una calificación con base al aspecto general de las plantas a esa fecha, considerando la uniformidad en altura, permanencia de inflorescencia masculina y de hojas completas, acame y sanidad principalmente. Se utilizó una escala de 1 a 5, correspondiendo a buen y mal aspecto, respectivamente.

Calificación del aspecto de mazorca. Al momento de la cosecha se evaluó visualmente la calidad de la mazorca producida por unidad experimental, considerando la uniformidad en el tamaño de la mazorca, presencia de pudriciones, problemas de

llenado de grano, de fallas en la fecundación, de ataque de insectos. Se utilizó la escala 1 a 5, correspondiendo a buen y mal aspecto, respectivamente.

Rendimiento de mazorca por unidad experimental o peso de campo (Pcam). Se pesaron las mazorcas cosechadas en cada unidad experimental, utilizando báscula de reloj con aproximación a 25 gr.

Factor de desgrane (FD). En una muestra de cinco mazorcas se obtuvo su peso total (grano más olote) y el peso del grano. El factor de desgrane se calculó dividiendo el peso del grano de las cinco mazorcas entre el peso total de las mismas cinco mazorcas.

Porcentaje de humedad a la cosecha (Phum). Dado que no se tuvo disponible algún determinador electrónico de humedad al momento de la cosecha, se procedió a tomar una muestra de cinco mazorcas representativas por unidad experimental, se pesaron y se secaron a temperatura ambiente hasta peso constante, momento en el que se pesaron nuevamente para determinar, por diferencia, la humedad existente al momento de la cosecha. Para ello se aplicó la fórmula:

$Phum = (P_f - P_s) / P_f \times 100$; en donde:

P_f = Peso fresco de las cinco mazorcas (al momento de la cosecha).

P_s = Peso seco de las cinco (después del secado a temperatura ambiente).

Rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$, ajustado al 14% de humedad (Rend). Se estimó con base en el peso de campo por unidad experimental, tomando en cuenta el factor de desgrane y el ajuste de humedad al 14%. Para ello se utilizó la fórmula:

$Rend = [P_{cam} \times FD \times FS] \times (100 - Phum) / 86$; en donde:

FD = Factor de desgrane.

FS = Factor de superficie, cuyo valor fue de 1201.92. Este valor se calculó con base en la

longitud del surco (4.8 m), más 0.4 m agregados por las dos matas orilleras,

multiplicados por la separación entre surcos (0.8 m) y por el número de surcos (2);

esto es: Superficie de parcela = $(4.8 + 0.4) \times 0.8 \times 2 = 8.32 \text{ m}^2$. Enseguida, para

convertir a rendimiento de grano por hectárea, se dividieron 10,000 m² entre la

superficie de parcela, para obtener el valor de 1201.92.

$(100 - \text{Phum})/86 =$ Expresión para ajustar la humedad del grano a 14%.

5.2.1.4 Registro de precipitación

Se registró la precipitación a nivel de sitio experimental. Para ello se instaló un pluviómetro y registró semanalmente la precipitación acumulada.

5.2.2 Etapa de laboratorio

Esta etapa consistió en la cuantificación de antocianinas en el grano de maíz, en el 50% de las variedades de color con rendimiento superior. La determinación se realizó con base al siguiente protocolo:

- a) **Preparación de muestras.** De cada variedad se pesaron 20 granos de maíz y se molieron utilizando un molino M20 universal Mill (IKA Werke Staufen Germany). El proceso de molienda se repitió 10 veces, durante 5 segundos, con tiempos de descanso entre moliendas de 10 segundos, hasta obtener un tamaño de partícula malla 20.
- b) **Extracción y cuantificación de antocianinas.** Se pesaron 5 gramos de harina por muestra a los que se le agregaron 25 ml de disolvente o solución de

5.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a los análisis de varianza, utilizando el paquete estadístico SAS y en particular los procedimientos PROC GLM, PROC LATTICE, PROC ANOVA y PROC CORR; este último a fin de correlacionar rendimiento de grano con el contenido de antocianinas en el mismo. A las variables que resultaron significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Poblaciones colectadas

De acuerdo con Aragón *et. al.* (2006), “maíz criollo es un término campesino que comúnmente se utiliza para denotar que es un material nativo de la comunidad, región, estado o país y que se diferencia de un material extranjero, un maíz híbrido o una variedad mejorada. Está conformado por una población heterogénea de plantas, las cuales son diferenciadas por los agricultores por su color, textura, forma del grano, forma de la mazorca, ciclo de cultivo y uso.” Es común referirse también a estos materiales como variedades nativas o locales. En el presente trabajo de investigación se utilizará el concepto de “población” para referirse a los materiales genéticos procedentes de los agricultores.

Las poblaciones colectadas por localidad, productor y color del grano, dentro de cada uno de los tres estratos altitudinales se muestran en los cuadros 3, 4 y 5. De las 94 poblaciones obtenidas, 40.4% correspondió al estrato alto (Cuadro 3), 44.7% al intermedio (Cuadro 4) y 14.9% al estrato bajo (Cuadro 5). Destaca en esta proporción, que la mayor diversidad colectada correspondió a condiciones en donde se practica más la agricultura de temporal, en donde son frecuentes los problemas por sequía ocasionados por la ocurrencia de lluvias mal distribuidas. Por el contrario, en el estrato altitudinal bajo, en donde hay la posibilidad de aplicar riego de auxilio y existen suelos más profundos, se colectó una menor diversidad. Esto puede deberse a que, al existir condiciones agroclimáticas y culturales más favorables para la producción del maíz, no se ha tenido la necesidad de conservar poblaciones más diversas para responder al ambiente.

Para el caso del estrato alto, 23.7% de los productores cooperantes proporcionó 2 o más poblaciones de maíz, en tanto que 73.6% contribuyó con una población. En el estrato intermedio, 28.6% de los productores visitados aportó dos o más poblaciones, mientras que 71.4% aportó una sola población de maíz. Similarmente, en el estrato bajo, 72.7% de los productores solamente tuvieron disponible una población.

Cuadro 3. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinales alto, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Localidad	Agricultor cooperante	Color del grano (*)	Número de población
La soledad	José Xolalpa de Santiago	Rojo	1
	José Xolalpa de Santiago	Blanco	10
	José Xolalpa de Santiago	Azul	29
	Benigno Reyes Ambrosio	Blanco arroceño	8
	Sabino Delgado	Rojo	31
	Sabino Delgado	Azul	56
	Fidela de santiago	Rojo	52
	Liberio Hernández Flores	Blanco criollo	61
	Xenón Vivaldo Segundo	Blanco	65
	Simeón Hernández	Blanco criollo	73
	Otilio Flores Crisantos	Blanco medio arroceño	89
Anastasio Martínez	Blanco arroceño	92	
Teacalco	Catalino Delgado	Blanco	4
	Catalino Delgado	Azul	64
	Cupertino Hidalgo	Azul	17
	Cupertino Hidalgo	Blanco	18
	Cupertino Hidalgo	rojo	88
	Elio Rosas	Rojo	27
	Gabino de Jesús Pérez	Blanco Tehuacanero	40
	Gabino de Jesús Pérez	rojo	90
	Pedro Aguilar	Blanco Tehuacanero	48
	Josefa Huitzil	Blanco criollo	62
Josefa Huitzil	Blanco arroceño	58	
Tronconal	Cupertino Vivas	Blanco	3
Santa Ana Coatepec	Herminio Pérez Pérez	Blanco morado	9
	Herminio Pérez Pérez	Colorado	21
	Herminio Pérez Pérez	Azul	63
	Herminio Pérez Pérez	Blanco criollo	85
	Pedro Hernández	Blanco criollo	72
San Miguel	Prisciliano Hernández	Azul	12
Aguacomulcan	Prisciliano Hernández	Blanco criollo	25
	Prisciliano Hernández	Colorado	38
	Petra Rodríguez Morales	Blanco criollo	47
	Pastor Morales	Blanco arroceño	67
	Justina Hernández	Azul	94
San Antonio Cuautla	Jaime Mendoza	Rojo colorino	42
	Jaime Mendoza	colorado cuarenteño	50
	Jaime Mendoza	azul	54

(*) El color de grano que se reporta corresponde a los nombres con los que cada productor identifica a las poblaciones colectadas.

Cuadro 4. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinal intermedio, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Localidad	Agricultor Cooperante	Color de Grano (*)	Número de población
Huaquechula	Candido Sarmiento	Negro	46
	Candido Sarmiento	Blanco	5
	Benito Medina	Blanco	6
	Benito Medina	Colorado rojo	41
	Benito Medina	Bayo	77
	Benito Medina	Negro	66
	Gumaro Peña	Blanco tehuacanero	55
	Gumaro Peña	Negro	13
	Narciso Rosales	Rojo	19
	Benito Chapero	Rojo	20
	Benito Chapero	Azul	35
	Corsino Garfias	Blanco	22
	Corsino Garfias	Azul	49
	Corsino Garfias	Colorado	78
	Martín Rojas	Colorado	23
	Esteban Sarmiento	Blanco criollo	26
	Moisés Alonso	Blanco	59
	Moisés Alonso	Colorado	69
	Martín Salamanca	Azul	34
	Alfredo Modesto	Negro	81
Esteban Plata	Negro	82	
Esteban Plata	Blanco tehuacanero	86	
Esteban Plata	Rojo	87	
Cacaloxuchitl	Leonardo Flores Popoca	Blanco	11
	Adriel Mora Reyes	Azul	32
	Adriel Mora Reyes	Blanco arroceño	71
	Fortunato Gómez	Blanco	33
	Fortunato Gómez	Rojo	53
	Raúl Mora Reyes	Rojo	39
	Lucas Alonso Cardoso	Blanco	45
	Epitacio Gómez Hernández	Negro	75
San Juan Vallarta		Colorado	15
	Esperanza García	Azul	37
Tzonteopan de Bonilla	Esperanza García		
		Colorado	95
	Audón Contreras Soriano	Blanco tehuacanero	30
	Audón Contreras Soriano	Blanco arroceño	43
	Lucio Ezequiel Cortés	Rojo	79
	Rafael Sacramento	Blanco	57
Santiago Tetla	Rafael Sacramento		
		Blanco	44
	Adelfo Rosas	Blanco	80
	Maclovio Reyes	Rojo	91
Soto y Gama	Severiano Guzmán		
		Blanco tehuacanero	51
	Francisco Alonso		

(*) El color de grano que se reporta corresponde a los nombres con los que cada productor identifica a las poblaciones colectadas.

Cuadro 5. Relación de localidades muestreadas en el estrato altitudinal bajo, agricultores donadores de semilla de maíz y color de grano de la población colectada. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Localidad	Agricultor Cooperante	Color de Grano (*)	Número de población
Tepapayeca	Isaac Medina	Negro	2
	Isaac Medina	Rojo	70
	Donato Medina	Blanco delgado	36
Tepetzingo	Euleterio Ángel Flores	Blanco Teh.	84
	Euleterio Ángel Flores	Negro	7
	Máximo Ángel Ramos	Colorado	83
Tlapanalá	Miguel Medina	Blanco Teh.	14
	Bernardo Pineda	Negro	68
	Flores	Blanco ancho	60
	Bernardo Pineda		
El Aztla	Flores	Blanco delgado	16
		Blanco	74
	Rutilo Ramírez Méndez	Azul	76
Huejotal	Florentino Trujillo	Blanco criollo	24
	Platón Molina	Blanco chino	28
	Maximino Rodríguez		
	Juan Avelar López		

(*) El color de grano que se reporta corresponde a los nombres con los que cada productor identifica a las poblaciones colectadas.

En lo que al color del grano se refiere (Cuadros 3, 4 y 5), para fines de la presente investigación se utilizaron los nombres con los cuales cada productor cooperante identifica a su material genético. No obstante, aun cuando existen particularidades que caracterizan a cada población, en términos generales las poblaciones colectadas se pueden agrupar en granos de color blanco, rojo y azul. De las 94 poblaciones colectadas, 47.9% fueron blancas, 29.7% rojas y 23.4% azules. Posiblemente esta distribución se asocie con dos hechos fundamentales; el primero, tiene relación con el potencial de rendimiento. Usualmente, en igualdad de circunstancias y cuando el ambiente es favorable, los maíces de color blanco superan en rendimiento a los de color azul y rojo, y quizás por ello la mayoría de los productores que donaron poblaciones de maíz prefieren poblaciones blancas. Otra explicación puede estar

relacionada al mercado. Aun cuando las poblaciones de grano azul (principalmente), cuando se utilizan para elaborar tortillas y otros derivados alcanzan precios medios rurales superiores a los del grano blanco; este valor agregado asociado al color algunas veces no es muy apreciado en la industria, en donde las poblaciones de grano blanco tienen preferencia. Aunque en la actualidad esta tendencia está cambiando, y seguramente en el mediano plazo, variedades de grano de color diferente al blanco llegarán a posicionarse mejor en el mercado. La Figura 3 muestra cómo se distribuyen las poblaciones colectadas dentro de cada estrato altitudinal y color del grano.

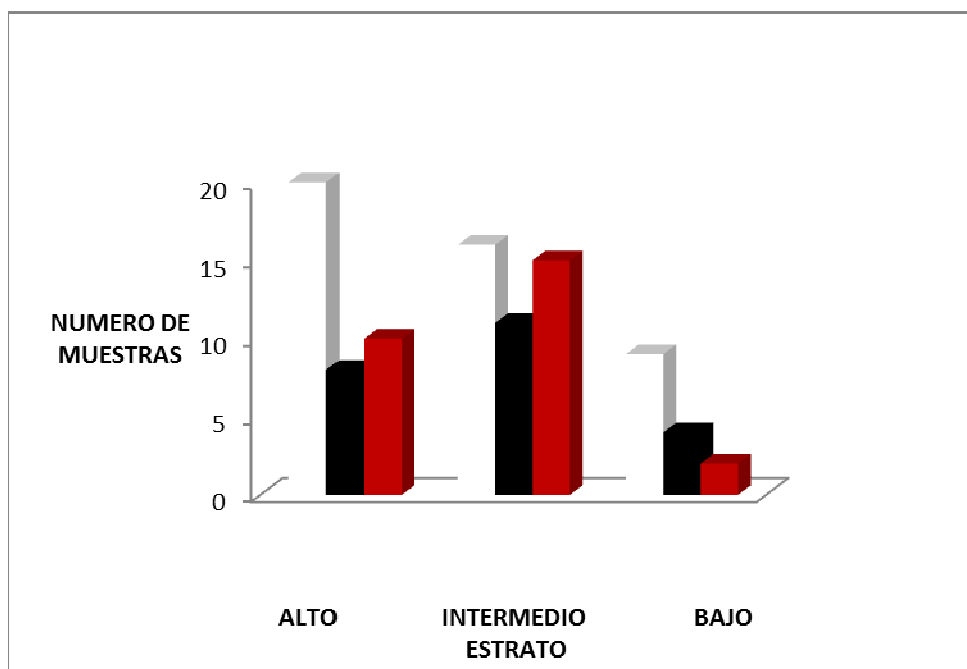


Figura 3. Distribución de poblaciones en los tres estratos altitudinales en función del color del grano. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

6.2 Resultados de encuestas

Simultáneamente a la obtención de muestras de maíz se aplicó una encuesta a cada agricultor cooperante. Esta encuesta tuvo la finalidad de documentar información referente a condiciones de producción, rendimiento, lugar de origen de la semilla, años de uso, tipo de suelos en donde se siembra y usos que se le da a la cosecha. La percepción de los productores en lo que al rendimiento de sus variedades se refiere es que, en términos generales, las poblaciones que provienen del estrato bajo son más productivas que las demás, seguido por las poblaciones del estrato alto y por último las

del estrato intermedio. Esta percepción promedio se muestra en la Figura 4. Nuevamente, en el estrato bajo existen suelos profundos, más fértiles y que mejor conservan la humedad, aunado a que existe también la posibilidad de aplicar riegos de auxilio, lo que puede explicar por qué los productores consideran a las poblaciones de este estrato como las más rendidoras. Con base en el promedio de rendimiento captado a través de la encuesta, este varía en función de la altitud de la siguiente manera: 3.01, 2.82 y 2.48 t.ha⁻¹ en los estratos bajo, alto e intermedio, respectivamente.

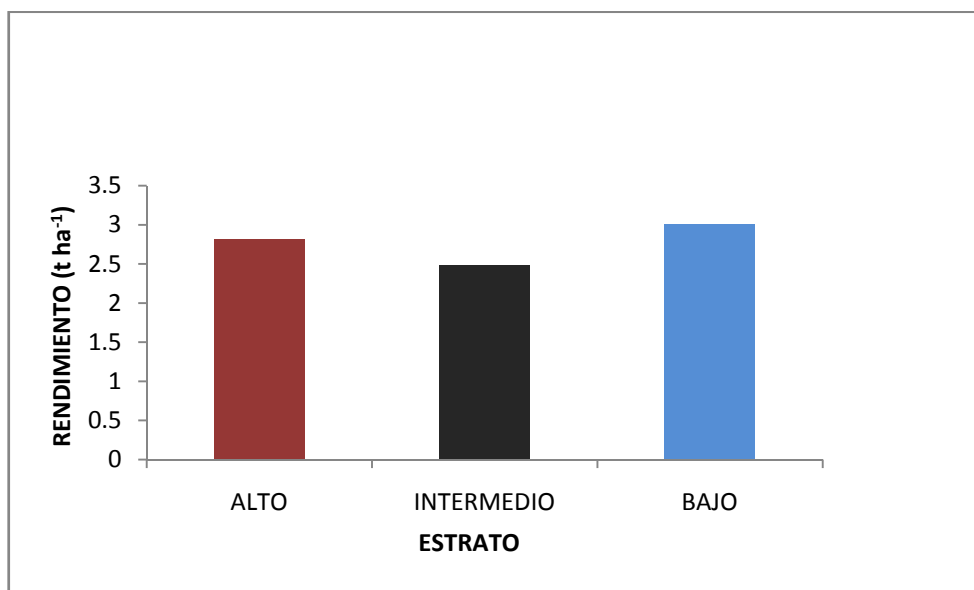


Figura 4. Rendimiento de poblaciones en los diferentes estratos, según la percepción de los productores encuestados. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Al cuestionar a los productores donantes de poblaciones de maíz a cerca de la procedencia de la semilla, 65 de 94 (69.1%) respondieron que la semilla la obtienen de la cosecha anterior mientras que 30.9% la compra en la misma comunidad. Una situación similar se presenta a través de estratos altitudinales (Figura 5). El hecho de que el mayor porcentaje de productores obtenga semilla de la cosecha anterior da evidencia de la importancia de la conservación *in situ* en regiones productoras de maíz como la del presente estudio; de esta manera, las semillas continúan con el proceso de evolución que se detiene con la conservación *ex situ*, ya que, como lo afirman Altieri y Merrick (1987), la vida de la variedad depende más de su capacidad de adaptarse a las condiciones del banco de germoplasma que de las características que la hicieron

valiosa para ser recolectada y almacenada. El estudio reveló además que, en la región de Huaquechula, el intercambio de material genético entre productores mediante la compra de germoplasma dentro de la misma comunidad fue también importante.

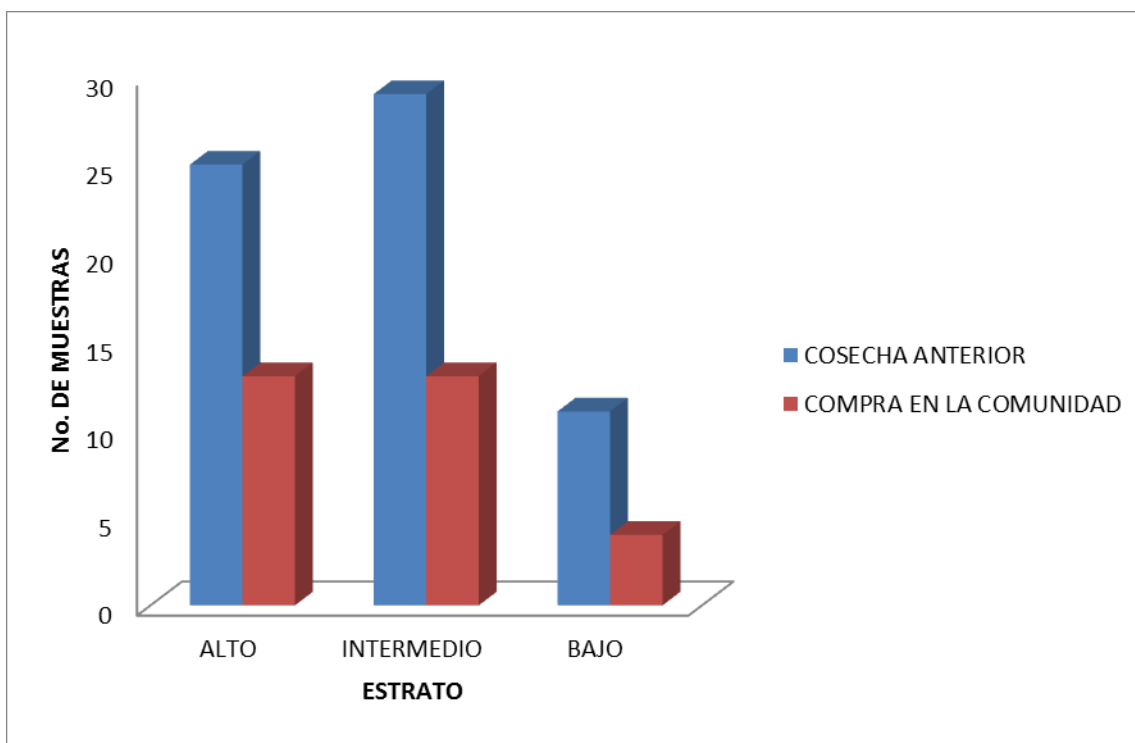


Figura 5. Procedencia de semilla de maíz para siembra en los diferentes estratos estudiados. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

La fecha de siembra es otro factor controlable de la producción que mostró variación importante (Figura 6). Estas fechas usualmente se determinan en función del establecimiento del temporal, lo cual ocurre, normalmente, durante el mes de junio, y de allí que la mayor proporción de productores realicen sus siembras durante este mes. Una mayor variación se observa en las fechas de cosecha (Figura 7), lo cual tiene su explicación por diversas razones. Usualmente, una vez formado el grano, la premura para la cosecha puede darse dependiendo de la necesidad familiar, lo cual tiene relevancia en esta región porque en su mayoría, los productores combinan parte de su cosecha para autoconsumo y venta. El factor climático puede ser también determinante en condicionar la fecha de cosecha, pero un factor adicional que puede ampliar el periodo de cosechas es el ciclo biológico de las poblaciones cultivadas.

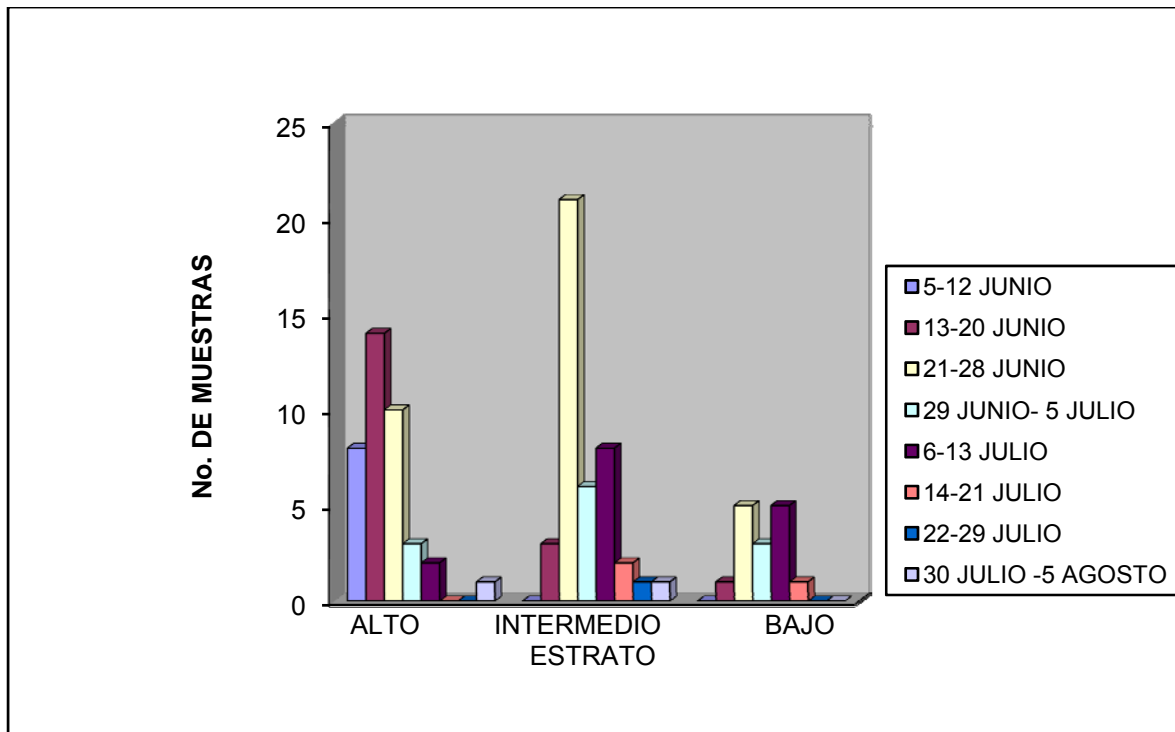


Figura 6. Variación en las fechas de siembra de poblaciones de maíz en tres estratos altitudinales. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

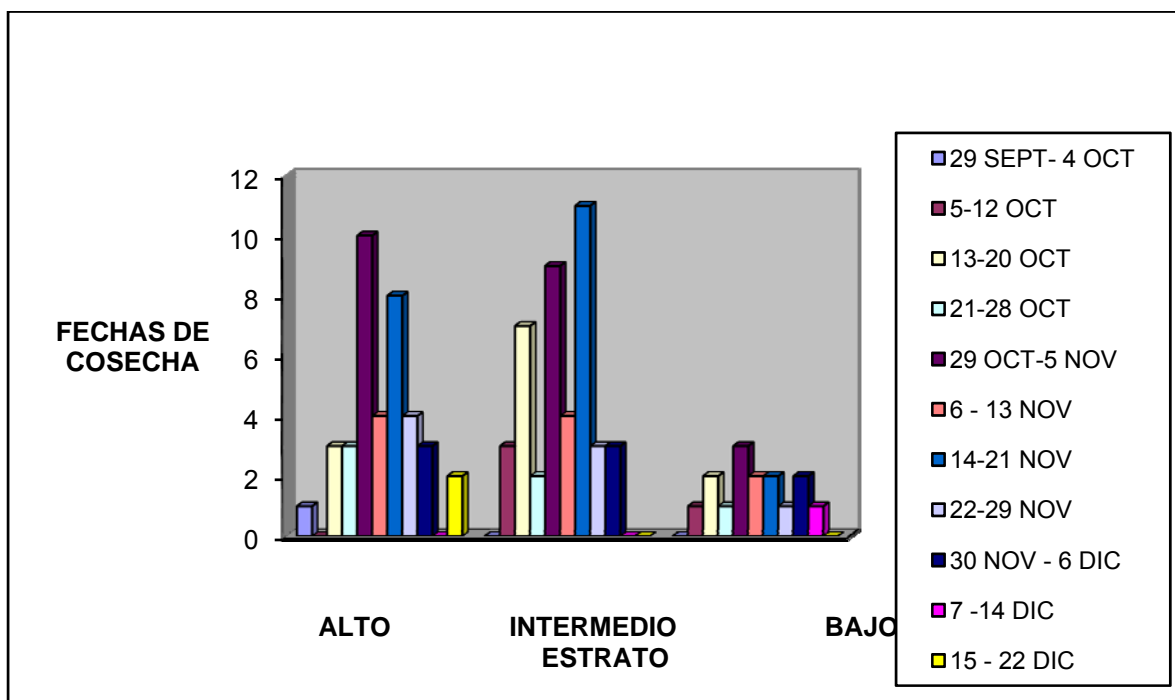


Figura 7. Variación en las fechas de cosecha de poblaciones de maíz en tres estratos altitudinales. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

En lo que se refiere a la pendiente del suelo en donde se cultivan las poblaciones colectadas (Figura 8), destaca que, independientemente del estrato altitudinal, la mayor proporción de poblaciones se cultivan en suelo planos, y lo cual tiene lógica ya que los suelos de la región del estudio presentan esta característica. De hecho, 77% de los entrevistados manifestó realizar la siembra en suelos planos, mientras que sólo 19% dio hacerlo en terrenos de lomerío.

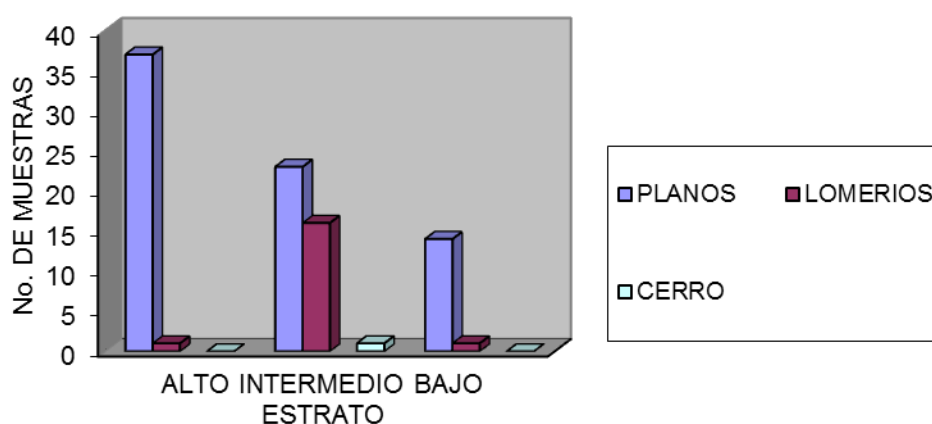


Figura 8. Siembra de poblaciones de maíz en función de la pendiente del suelo. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

Sobre el destino que tiene el maíz cosechado sobresale el hecho de que ninguno de los productores manifestó utilizar su maíz totalmente para la venta, y por el contrario, 30.9% dijo utilizar la cosecha totalmente para el autoconsumo. El 69.1% manifestó que, en función de las necesidades familiares usualmente combinan autoconsumo y venta. El 33 % de los 94 encuestados dijo que la proporción de consumo y venta de maíz en sus familias corresponde aproximadamente al 50 y 50%, respectivamente.

Finalmente, la pregunta relacionada a los años en que cada productor conserva su misma semilla o sus mismas poblaciones demostró que, como ocurre en muchas regiones en donde se cultiva maíz, estos años fueron en promedio de 20.4 para el estrato alto, 20.5 para el intermedio y 31.9 para el estrato bajo. Esto demuestra la

tradición y la importancia de la agricultura campesina en la conservación y aprovechamiento de la diversidad del maíz, en sus propias condiciones agroclimáticas de producción. Al respecto es conveniente agregar que, en la región del estudio, el uso de semilla de variedades mejoradas es muy limitado, predominando consecuentemente la siembra de poblaciones nativas, casi en su totalidad; lo que explica en lo general el alto número de años en que los productores conservan una misma población. Aunado a esto, en los estratos alto e intermedio existe mayor probabilidad de que las poblaciones en estudio enfrenten alguna eventualidad climática, y quizás por ello el número de años en que en esos estratos se conserva semilla de una misma población es menor, en promedio, al número de años en que los productores del estrato bajo conservan semilla de las mismas poblaciones.

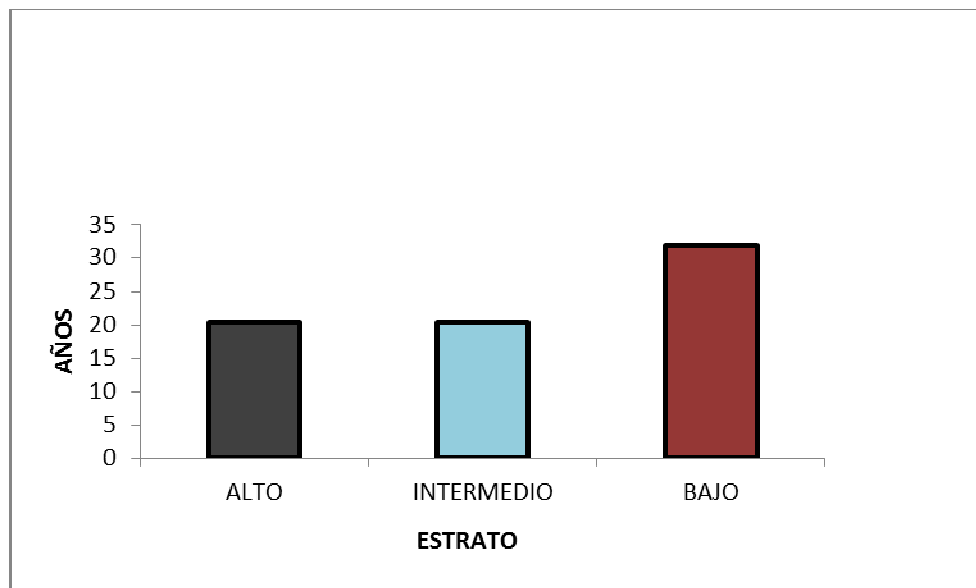


Figura 9. Años en que los productores conservan la misma población de maíz. Región de Huaquechula, Puebla, 2007.

6.3 Evaluación de poblaciones en campo

Durante el establecimiento de experimentos, el sitio experimental ubicado en la localidad de Teacalco presentó humedad heterogénea en el suelo. Después de la siembra ocurrió lluvia ligera sin lograr homogeneizar la humedad edáfica; a consecuencia de ello y con base a muestreos, se observó que la germinación de la

semilla fue satisfactoria en la mayoría de los casos, pero el establecimiento de plántulas resultó severamente afectado. Posteriormente a la ocurrencia de la llovizna el temporal fue errático en este sitio en particular, registrándose pérdida total o parcial en cerca de 87% de las unidades experimentales, motivo por el cual el experimento de Teacalco no se consideró como parte del presente estudio. Contrario a esta situación y con base en el registro de la precipitación a nivel de sitio experimental, se encontró que la precipitación acumulada durante el ciclo biológico de las poblaciones fue de 712 mm para Teacalco, 600 mm para Huaquechula y 596 mm para Tlapanalá. Consecuentemente, el problema presentado en Teacalco fue la mala distribución de la precipitación aunado a la falta de humedad disponible en el suelo para favorecer la germinación, emergencia y establecimiento. Investigaciones realizadas por CIMMYT para mejorar el establecimiento de plántulas mostraron aumentos pequeños en la sobrevivencia de las mismas en déficit hídrico (Bänziger *et al.*, 1997); situación similar fue la ocurrida en el caso descrito. Como se muestra en la Figura 10, la mayor precipitación para Teacalco ocurrió en el mes de agosto, pero fue demasiado tarde para propósitos de la presente investigación. Tlapanalá y Huaquechula tuvieron menos precipitación, pero mejor distribuida y humedad apropiada desde la siembra. No obstante, durante la etapa de floración y el llenado de grano, ocurrieron periodos con sequía que de alguna manera influyeron en el comportamiento diferencial de las poblaciones evaluadas.

Considerando las localidades de Huaquechula y Tlapanalá, se realizó un análisis de varianza combinado (datos no mostrados) utilizando el PROC GLM del SAS, encontrándose diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) para poblaciones, sitios de evaluación y la interacción entre ambas fuentes de variación, sugiriendo que las evaluaciones se realizaron en diferentes ambientes donde el comportamiento de las poblaciones evaluadas varió significativamente en función del sitio experimental; esta situación, de acuerdo con Allard y Bradshaw (1964) permite la selección de materiales genéticos particularmente adaptados a cada ambiente. Por esta razón se procedió a realizar el análisis estadístico para ambas localidades en forma independiente, utilizando para ello el PROC LATTICE del SAS. En ambos casos, el cuadrado medio debido a bloques dentro de repeticiones fue menor que el cuadrado medio del error

intrabloque; en tanto que la eficiencia del análisis estadístico utilizando el diseño en Látice fue menor a 5% con relación al análisis utilizando el diseño en bloques completos al azar. Por lo anterior los análisis de varianza se realizaron en forma independiente por localidad y, como lo recomienda Martínez (1988), se continuó el análisis como diseño en bloques completos al azar, para lo cual se aplicó el PROC ANOVA del SAS.

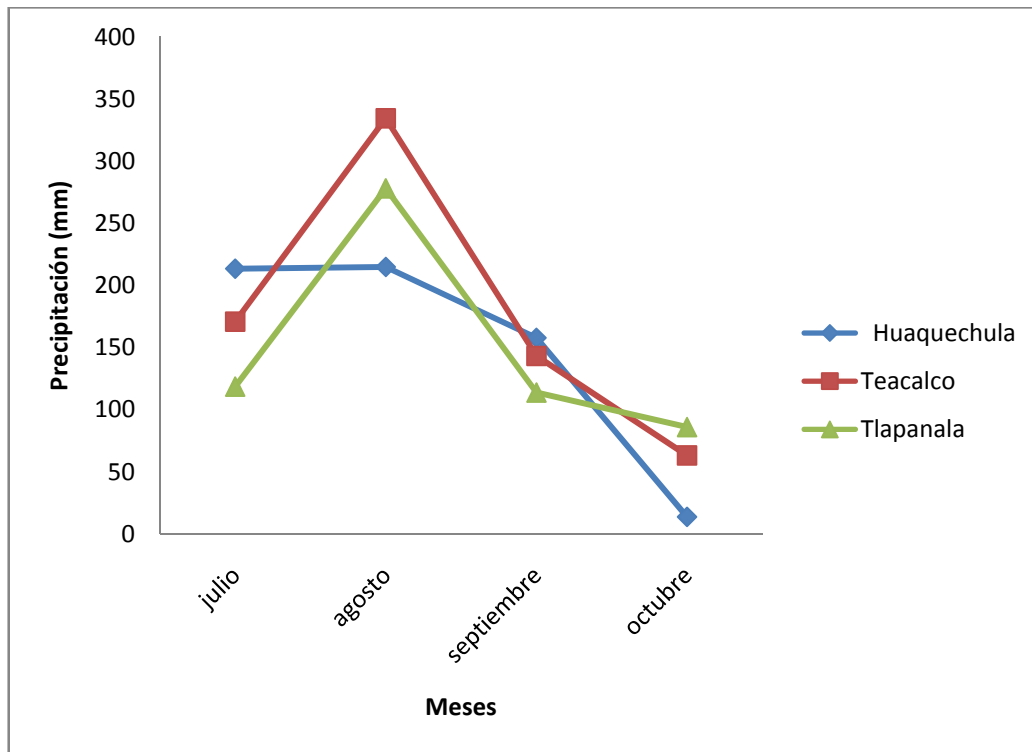


Figura 10. Distribución de la precipitación en sitios experimentales. Región de Huaquechula, 2007.

El Cuadro 6 muestra el análisis de varianza para Huaquechula. Hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) tanto para repeticiones como para poblaciones evaluadas. Esto último significa que, dentro de las poblaciones colectadas y evaluadas, existe la posibilidad de seleccionar genotipos promisorios para la producción de grano de maíz en la región. El valor de R^2 para este caso fue de 0.82, el coeficiente de variación de 15.5% y el rendimiento promedio de 3.09 t.ha^{-1} ; valor ligeramente inferior al rendimiento promedio nacional que es de 3.21 ton ha^{-1} (SAGARPA, 2008).

Cuadro 6. Análisis de varianza para rendimiento de grano en poblaciones de maíz evaluadas en Huaquechula, Puebla en 2007.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	P>F
Repetición	2	63.4	37.7	138.3	≤0.0001
Poblaciones	99	142.6	1.4	6.3	≤0.0001
Error	198	45.4	0.2		
Total corregido	299	251.4			

El cuadro 7 muestra la prueba de comparación de medias para el 10% superior. Este porcentaje de poblaciones sobresalientes en Huaquechula fueron estadísticamente iguales en rendimiento, y todas superaron el rendimiento promedio nacional que es de 3.21 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2008).

El análisis de varianza para rendimiento de grano de las poblaciones evaluadas en Tlapanalá se muestra en el cuadro 8, en donde desataca la significancia estadística (P≤0.0001) para repeticiones y poblaciones. En esta localidad el volumen de lluvia registrado fue similar al de Huaquechula, pero con una peor distribución en Tlapanalá. Esta situación influyó en un mayor error experimental, mayor coeficiente de variación (20.71), menor R² (20.71) y menor rendimiento promedio (2.77 t.ha⁻¹) que en la localidad de Huaquechula.

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para rendimiento de grano en poblaciones de maíz. Huaquechula, 2007

Población	Rendimiento (t ha ⁻¹)
25	4.87 a*
57	4.56 ab
63	4.47 abc
89	4.39 abcd
86	4.36 abcde
14	4.30 abcdef
35	4.01 abcdefg
42	3.97 abcdefgh
69	3.96 abcdefghi
81	3.92 abcdefghij

Diferencia Mínima Significativa = 1.71. *Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (P<0.05).

Cuadro 8. Análisis de varianza para rendimiento de grano en poblaciones de maíz evaluadas en Tlapanalá, Puebla en 2007.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	P>F
Repetición	2	59.7	29.9	90.34	≤0.0001
Poblaciones	99	139.3	1.4	4.28	≤0.0001
Error	198	65.1	0.3		
Total corregido	299	264.1			

El Cuadro 9 muestra parte de los resultados de la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre medias de rendimiento, al 95% de probabilidad. Se reporta en este cuadro el 10% superior, destacando que las poblaciones promisorias superan el rendimiento promedio nacional de 3.21 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2008).

Tanto en Huaquechula como en Tlapanalá, hubo poblaciones locales que superaron a los testigos; no obstante y dado el comportamiento de los materiales testigo en campo, aparentemente no fueron los más apropiados, pero fueron los únicos materiales disponibles al momento de la evaluación. En ambas localidades el mejor testigo fue la variedad CPV-M301, con rendimientos de 3.5 t ha⁻¹ en Huaquechula y de 3.1 t ha⁻¹ en Tlapanalá. En ambas localidades, esta variedad fue estadísticamente igual a las poblaciones sobresalientes, al ubicarse en el primer grupo de significancia estadística, con base en la prueba de comparación de medias de Tukey (P=0.05). El mejor comportamiento de la variedad CPV-M301 en comparación con los otros testigos es que este material fue colectado y mejorado en y para condiciones agroclimáticas similares a las de los sitios de evaluación.

La población 14 fue la única que se ubicó en el 10% superior en ambas localidades, indicando que este material genético interaccionó menos con el ambiente comparado con los demás evaluados. Del total de poblaciones ubicadas en el 10% superior para ambas localidades, 7 corresponden a poblaciones con grano de color rojo y negro, y 13 a poblaciones de color blanco, lo que pone en evidencia la posibilidad de seleccionar materiales promisorios para los tres colores de grano.

Cuadro 9. Prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para rendimiento de grano en poblaciones de maíz. Tlapanalá, 2007.

Población	Rendimiento (t ha ⁻¹)
60	4.71 a*
84	4.40 ab
21	4.33 abc
14	4.17 abcd
20	3.90 abcde
85	3.88 abcde
3	3.86 abcde
9	3.82 abcde
33	3.75 abcdef
16	3.71 abcdef

Diferencia Mínima Significativa = 2.05. *Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (P<0.05).

Con la finalidad de contar con criterios de selección adicionales al rendimiento de grano y contenido de antocianinas, se registraron variables agronómicas de interés. Los Cuadros 10 y 11 presentan un concentrado de estas variables, en valores promedio de tres repeticiones por sitio de evaluación. En lo general, para el caso de las calificaciones del aspecto de planta, acame, mazorca y totomoxtle, valores menores a 2.5 son deseables. Con base en este criterio, puede afirmarse que, en lo general, las poblaciones superiores en ambas localidades mostraron, en su mayoría valores inferiores o muy cercanos a 2.5, lo que seguramente se debe a que, al haber sido colectadas y evaluadas en sus ambientes de distribución y adaptación, las hace responder favorablemente al ambiente, reflejándose consecuentemente en aspectos fenotípicos aceptables.

Cuadro 10. Rendimiento de grano y otras variables agronómicas para las poblaciones sobresalientes en Huaquechula, Puebla, en 2007.

Población	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Altura de:		Calificación del aspecto de:				Nivel de Precocidad
		Planta (m)	Mazorca (m)	Planta	Acame	Totomoxtle	Mazorca	
25	4.87	1.90	0.98	2.17	2.00	1.67	3.00	Precoz
57	4.56	1.82	0.98	2.83	1.83	2.67	2.67	Precoz
63	4.47	2.22	1.15	2.00	2.67	2.33	2.50	Precoz
89	4.39	2.00	1.09	2.17	2.67	2.33	2.83	Precoz
86	4.36	2.05	1.09	2.50	2.17	2.67	2.50	Intermedio
14	4.03	2.23	1.11	2.33	2.00	2.17	3.00	Intermedio
35	4.01	2.26	1.29	2.33	2.67	2.17	2.67	Precoz
42	3.97	1.99	0.96	2.50	2.83	2.83	3.00	Precoz
69	3.96	2.12	1.38	3.17	2.67	2.67	3.00	Precoz
81	3.92	2.04	0.96	2.50	2.67	2.50	3.00	Precoz

Cuadro 11. Rendimiento de grano y otras variables agronómicas para las poblaciones sobresalientes en Tlapanalá, Puebla, en 2007.

Población	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Altura de:		Calificación del aspecto de:				Nivel de Precocidad
		Planta	Mazorca (m)	Planta	Acame Totomoxtle	Mazorca	(escala de 1=mejor a 5=peor)	
60	4.71	2.47	1.42	3.00	2.33	2.50	2.83	Precoz
84	4.40	2.32	1.34	2.50	2.00	1.67	2.33	Precoz
21	4.33	2.29	1.27	3.00	2.50	2.33	2.83	Precoz
14	4.17	2.33	1.34	3.50	2.50	2.00	3.00	Intermedio
20	3.90	2.31	1.27	2.67	2.67	2.00	3.17	Precoz
85	3.88	2.00	1.35	2.00	2.50	2.17	2.17	Precoz
3	3.86	2.42	1.26	2.50	1.83	3.00	3.67	Tardío
9	3.82	2.42	1.37	2.00	3.00	1.67	2.83	Intermedio
33	3.75	2.24	1.05	2.17	1.83	1.83	2.50	Precoz
16	3.71	2.38	1.33	3.00	2.50	2.17	3.33	Intermedio

De los Cuadros 10 y 11 destaca que, con excepción de la población 3 en Tlapanalá, predominaron como variedades promisorias las precoces seguidas de las intermedias. Esto probablemente se debe a que, los periodos de sequía que se presentaron durante la floración y el periodo de llenado de grano, afectaron en forma más severa a las poblaciones de ciclo tardío; por el contrario, las poblaciones de ciclos menos prolongados, tuvieron la posibilidad de escapar a los efectos detrimentales que normalmente ocasiona la falta de agua disponible para el buen desarrollo del cultivo. En condiciones favorables, normalmente las poblaciones de ciclo tardío son más rendidoras, debido a que tienen un periodo más largo para la acumulación de foto sintetizados; situación que no ocurrió para el caso particular del presente estudio.

6.4 Cuantificación de antocianinas

La cuantificación de antocianinas se realizó en condiciones de laboratorio, en donde se analizaron tres muestras por población de color rojo o azul, mismas que en uno o en el otro sitio de evaluación fueron sobresalientes en rendimiento de grano. Para ello fueron seleccionadas previamente, en cada localidad, el 10% de poblaciones de color con mayor rendimiento de grano. Se procedió de esta manera ya que, como se argumentó previamente, la interacción genotipo-ambiente resultó altamente significativa. Este número fue arbitrario en términos estadísticos, y fue decidido básicamente por el presupuesto disponible para el análisis de laboratorio. La muestra analizada se obtuvo de la semilla original remanente. Dado que se cuantificaron tres

repeticiones por población y en condiciones controladas, los resultados de laboratorio se analizaron como un diseño experimental completamente al azar. Hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos (Cuadro 12), lo que prueba la hipótesis de que, entre las poblaciones colectadas, existe variación para contenido de antocianinas. El coeficiente de variación fue de 10.7%, el R^2 de 0.97 y la media experimental de 84.6 miligramos de antocianinas por cada 100 gramos de harina de maíz.

Con el propósito de determinar la significancia estadística para la diferencia entre medias, se realizó la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Con base en este análisis, se formaron siete grupos de significancia estadística, lo que demuestra que la variación en el contenido de antocianinas entre las poblaciones sobresalientes por rendimiento de grano fue significativa, lo que permite la diferenciación y selección en programas de fitomejoramiento. En el Cuadro 13 se observa que las poblaciones 29 y 64 se ubicaron en el grupo estadísticamente superior, con contenidos de antocianinas de 169 y 167 mg por 100 gramos de harina, respectivamente. Con base en los estudios realizados por Vázquez (2006), al evaluar muestras de maíz pigmentado provenientes de algunas razas de México y otras muestras regionales de la estación de Ames, Iowa, USA, encontró contenidos de antocianinas que oscilaron entre 63.6 y 261.2 mg. 100 g de harina, en tanto que las concentraciones en muestras sobresalientes de granos con color rojo variaron entre 8.4 y 15.2 mg.100 gramos de harina. Por su parte Salas (2003), en muestras de maíz proveniente de la raza arrocillo, encontró que los mayores contenidos fueron de 115.1 mg. 100 g de harina, mientras que el contenido más bajo correspondió a las muestras provenientes de la raza cónico con 54 mg.100 g de harina. Asimismo, Salinas (2000) encontró que el contenido de antocianinas totales en maíces de grano rojo varió desde 8.7 a 61 mg.100g de harina; mientras que los maíces de grano azul presentaron valores de 29.8 a 46.1 mg.100 g de harina. Estos resultados apoyan la hipótesis de que, en la región de Huaquechula, Puebla, existen poblaciones pigmentadas de maíz con alto potencial para el aprovechamiento de las antocianinas. El cuadro 13 también muestra que las poblaciones con granos de color azul y negro presentaron los más altos contenidos de antocianinas; razón por la cual hacia este tipo de poblaciones deberían enfocarse los programas de fitomejoramiento

que busquen agregar valor a poblaciones nativas a través del aprovechamiento de esos pigmentos naturales.

Cuadro 12. Análisis de varianza para contenido de antocianinas en poblaciones de maíz procedentes de la región de Huaquechula, Puebla, 2010.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F
Poblaciones	19	90619	4769	58	< 0.0001
Error	40	3267	82		
Total corregido	59	93886			

Cuadro 13. Poblaciones de color sobresalientes y contenido de antocianinas.

Población	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)		Rendimiento promedio (t ha ⁻¹)	Contenido de antocianinas mg 100 g de harina		Color de grano
	Huaquechula	Tlapanalá				
29	3.80	2.17	3.00	169	a	Azul
64	3.55	2.27	2.90	147	ab	Azul
63	4.47	2.15	3.30	123	c	Azul
12	3.04	3.19	3.10	119	c	Azul
76	3.71	2.43	3.10	110	cd	Azul
54	3.89	3.02	3.50	109	cd	Azul
75	3.51	2.04	2.80	103	cde	Negro
35	4.01	1.97	3.00	98	cdef	Azul
17	2.01	2.94	2.50	96	cdefg	Azul
34	2.71	3.37	3.00	90	defg	Azul
81	3.92	2.23	3.10	88	defg	Negro
37	3.00	2.83	2.90	79	efg	Azul
21	2.78	4.33	3.60	71	fgh	Rojo
20	2.17	3.90	3.00	70	gh	Rojo
31	3.51	2.46	3.00	50	hi	Rojo
42	3.97	3.48	3.70	45	hij	Rojo
46	2.77	3.43	3.10	40	ij	Negro
53	3.77	2.55	3.20	33	ij	Rojo
69	3.96	3.66	3.80	32	ij	Rojo
50	3.85	2.83	3.30	21	j	Rojo

Diferencia Mínima Significativa = 27.9 (Tukey, P=0.05). * Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (P<0.05).

En términos numéricos, considerando el rendimiento de grano, las poblaciones de color que resultaron sobresalientes fueron muy similares para este atributo; sin embargo, para el contenido de antocianinas sí hubo diferencias estadísticas altamente significativas, lo que sugiere que no existe correlación entre ambos atributos deseables. Para probar lo anterior se realizó un análisis de correlación del contenido de antocianinas con el rendimiento de grano por localidad y con el rendimiento promedio. Los coeficientes de correlación fueron de 0.08 para Huaquechula, -0.47 para Tlapanalá y -0.40 para el promedio, y ninguno de los casos resultó significativo. Por ello, hay evidencia estadística de que el rendimiento del grano y el contenido de antocianinas no están correlacionados. Por ello, se sugiere evaluar primeramente los maíces pigmentados por contenido de antocianinas, seleccionar los más sobresalientes para este carácter e incluirlos en programas de mejoramiento genético para mejorar su potencial de rendimiento. De esta manera, se podrá contribuir, en el largo plazo, a mejorar simultáneamente ambos atributos de importancia económica.

7. CONCLUSIONES

- a) La diversidad de maíz colectada en los tres estratos altitudinales de la región de Huaquechula, Puebla, permite reconocer la importancia de la conservación *in situ* de este recurso genético.
- b) Entre las poblaciones de maíz colectadas predominaron las de grano blanco, destacando el hecho de que un mismo productor utiliza a menudo dos o más poblaciones diferentes, las cuales ha conservado por al menos 20 años.
- c) La encuesta evidenció que ninguno de los productores donantes de poblaciones de maíz destina toda su producción a la venta; por el contrario, 30.9% de ellos utiliza la cosecha totalmente para el autoconsumo.
- d) Hubo diferencias altamente significativas en rendimiento de grano entre las poblaciones evaluadas. No obstante, la alta significancia estadística encontrada para la interacción genotipo-ambiente sugiere aplicar esquemas de selección para cada estrato altitudinal de evaluación involucrado en el presente estudio.

- e) Hubo diferencias altamente significativas entre poblaciones pigmentadas para el carácter contenido de antocianinas, encontrándose poblaciones con contenidos de antocianinas superiores a los promedios reportados en la literatura.
- f) Entre las poblaciones de grano pigmentado hubo algunas con bajo rendimiento de grano pero alto contenido de antocianinas; razón por la cual se sugiere mejorar el potencial de rendimiento de grano de estos materiales genéticos y así incrementar la producción de antocianinas.
- g) Entre las poblaciones de maíz pigmentadas que presentaron mayor potencial de rendimiento, aquellas con granos de color azul y negro mostraron los más altos contenidos de antocianinas; razón por la cual hacia este tipo de poblaciones deberían enfocarse los programas de fitomejoramiento que busquen agregar valor a poblaciones nativas a través del aprovechamiento de esos pigmentos naturales.
- h) Los resultados de la presente investigación demuestran que no existe correlación entre el rendimiento de grano y el contenido de antocianinas en variedades promisorias para el primer carácter.
- i) Los resultados indican que, en la región del estudio, existen poblaciones de maíz con alto potencial para la producción de grano. Asimismo, se identificaron materiales promisorios para la producción de antocianinas, y algunos que combinan potencial para la producción de grano y antocianinas, aunque también hubo otros con alto potencial para la producción de antocianinas y bajo para la de grano, lo que sugiere su mejoramiento.

8. BIBLIOGRAFIA

- Allard, R.W. and A.D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.*, 4: 503-508.
- Altieri, M.A. and L.C. Merrick, 1987. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Econ. Bot.*, 41(1): 86-96.
- Aoki H; K Wada; N Kuzo; Y Ogawa; T Koda. 2004. Inhibitory effect of Anthocyanin colors on mutagenicity induced by 2-amino-1-methyl-6- phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP). *Foods & Food Ingredients J Japan* 209:
- Aoki H; N Kuze; Y Kato. 2002. Anthocyanins isolated from purple corn (*Zea mays* L.). *Foods & Food Ingredients J Japan* 199:41-5.
- Aragón C. F. 2005. Informe final del proyecto actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Centro de investigación regional del Pacífico Sur. INIFAP; SAGARPA. Oaxaca, México. 133pp.
- Aragón C.F; S. Taba; J.M. Hernández C.; J de D. Figueroa C y V. Serrano A. 2006. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. INIFAP, Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. Cs002. México, D.F.
- Baublis. A, A. Spomer and M.D. Berber – Jimenez. 1994. Anthocyanins pigments: Comparison of extract stability. *Journal of food science*. Vol 59, No. 6. P 1219.
- Bänziger M.; G.O. Edmeades, and H.R. Lafitte. .1997. Physiological mechanisms contributing to the increased N stress tolerance of tropical maize selected for drought tolerance. *Field Crop Research* 75: 223-233.
- Bridle and Timberlake C.F:1997. Anthocyanins as natural food colours-select aspects. *Food Chemistry* 58(1-2). 103-109.
- Brouillard, R. 1982. Chemical Structure of anthocyanins, En: *Anthocyanins as food Colors*. (P. Markakis) Ed. Academic Press. Pp: 1-38.
- Bustillos E; P. 1997. Cuantificación y elucidación estructural de compuestos pigmentados presentes en maíces criollos azul y rojo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 101 p.
- Caldwell, E.E.O; and P.A. Peterson. 1992. HPLC Identification of anthocyanins In maize endosperm. *Maize Genetics Cooperativa New Letters*. 66:2.
- Castillo G.F. 1993. La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos. *Ciencia Especial* 44: 67-79. *Revista de la academia de la Investigación Científica de las Ciencias agrícolas en México*. México.
- Cochran, W.G.1990. *Diseños Experimentales*. Segunda edición. Editorial Trillas. México.
- Coe, E.H.1955. Anthocyanin synthesis in maize, the interaction of A₂ and Pr in leucoanthocyanin accumulation. *Genetics* 40: 568.
- Cordero, D. B.L. 2003. Especificidades histórico-locales en la emergencia de la migración transnacional de los Huaquechulenses a Nueva York. *Análisis de Estudios agrarios*. Instituto de ciencias sociales y humanidades. Benemérita Universidad autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Davies, A.J and G Mazza. 1993. Copigmentation of simple and acylated anthocyanins with colorless phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 41(5). pp. 716-720

- Dorronsoró. C. 1988. Clasificación y cartografía de suelos. Departamento de edafología y química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la facultad de ciencias. Universidad de Granada, España. En <http://edafologia.ugr.es/carto/tema00/progr.htm>. accesado el día 17 de julio del 2009.
- Dougall, D.K., D.C. Baker, E. Gakh, and M. Redus. 1997. Biosynthesis and stability of Monoacylated anthocyanins. *Food Technology* 15 (11):69- 71.
- Downham, A; P Collins. 2000. Colourinf our foods in the last and next millennium. *International journal of food science and technology* 35: 5-22.
- Espinoza G. B. 2003. Antocianinas en maíces de grano pigmentado (*Zea mays* L) y Medición de su actividad antioxidante. Tesis Ingeniero Agrónomo Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo.8 pp.
- Espinoza J C; C Soler-Rivas; C Witchers; C García-Viguera. 2000. Anthocyanins-based natural colorant: A new source of antira activity for foodstuff. *J. Agric .Food Chem.* 48(5): 1588-1592.
- Fennema, O.R.2000. Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 1258 p.
- Francis, F.J. 1987. Lesser know food colorants. *Food technology* 41: 62-68.
- Francis, F.J. 2000. Anthocyanins and betalains: composition and applications. *Cereal food world.* 45 (5): 2008-213.
- Gasiorowski K; K Szyba; B Brokos; B Koczyska; M Jankowiak-Wodarczyk, J Oszmiaski.1997. Antimutagenic activity of anthocyanins isolated from *Aronia melanocarpa* fruits. *Cancer Lett* 119:37–46.
- Ghiselli A; M. Nardini; A. Baldi; C. Scaccini. 1998. Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *J Agric Food Chem.* 46:361.
- Grisebach, H. 1982. Biosynthesis of anthocyanins. En: *Anthocyanins as food Colors.* P. Markakis (Ed). Academic Press. Pp 69-90.
- Google earth. 2009. Software de información Geografica. En <http://earth.google.es/> accesado el 22 de Julio del 2009.
- Harborne, J.B; and G. Gavazzi. 1969. Effect of Pr and pr alleles on anthocyanins biosynthesis in *zea mays*. *Phytochemistry* 8:999-1001.
- Harborne, J.B; and R. Self. 1987. Malonated Cyanidin 3 glucosides en *Zea mays* and others grasses. *Phytochemistry.* 26(8): 2417-2418.
- INEGI 2009. Prontuario de la información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huaquechula, Puebla.
- INIFAP.1995. Informe nacional de México para la conferencia técnica Internacional de la FAO sobre los recursos fitogeneticos. Leipzig, Alemania.
- Jing G. P, Giusti M.M. 2005. Characterization of purple corncobs (*Zea mays* L) anthocyanin-rich waste and its application in dairy products. *J Agric Food Chem* 53:8775–81.
- Jing G. P and M.M. Giusti. 2007. Effects of Extraction Conditions on Improving the Yield and Quality of an Anthocyanin-Rich Purple Corn (*Zea mays* L.) Color Extract. *Journal of Food Science.* 72 (7) 363-367.

- Koide T; Y Hashimoto; H Kamei; T Kojima; M Hasegawa; K Terabe. 1997. antitumor effect of anthocyanin fractions extracted from red soybeans and red beans *in vitro* and *in vivo*. *Cancer Biother Radiopharm* 12:277– 80.
- Little C, A. 1977. Colorimetry of anthocyanin pigmented products: changes in pigment composition with time. *Journal of food science* 6:42. Pp.1570.
- Madhavi, D.L; D. K Salunkhe. 1995. Antioxidants in: *Food additive Toxicology*. New York, N.Y; Ed. Marcel Dekker., 542 pp.
- Martínez G, A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial trillas. México, D.F. 756 p. ISBN 968-24-2155-1.
- Markakis, P. 1982. Anthocyanins as food colours. Ed. Academic press: New York. Pp. 163-180.
- Marrs, K.A; M.R. Alfenito, A.M. Lloyd, and V. Walbot. 1995. A glutathione S- transferase involved in vacuolar transfer encoded by the maize gene bronze-2. *Nature*, 375 (Jun): 397-400.
- Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanins in foods. En: *Anthocyanins as food colors*. P. Markakis (ed). Academic Press. Pp 163-178.
- Mazza G. and Miniati E. 1993. *Anthocyanins in fruits, vegetables and grains*. CRC Press, Boca ratón, FL.
- Miranda C., S. 1966. Discusión sobre el origen y la evolución del maíz. In: *Memorias Del segundo congreso nacional de Fitogenetica*. SOMEFI. Monterrey, N.L Pp: 233-251.
- Muñoz O.A. 2005. Centli Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, Origen Genético y Geográfico, glosario centli-maíz. Segunda edición. Impresos América, San Vicente Chicoloapan, Estado de México. México.
- Nakatani N, H Fukuda; H Fuwa. 1979. Major anthocyanin of Bolivian purple corn (*Zea mays* L.). *Agric Bio Chem*. Tokyo 43:389–91.
- Noda, Y; T. Kneyuki; K. Igarashi; A. Mori; L. Packer; 2000. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology* 148:119–23.
- Ortega P. R. y González J.S. 1989. Aportaciones al estudio de la diversidad de Maíz de Las partes altas de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 12 (2): 105-119.
- Pascual-Teresa S; C, Santos-Buelga; JC, Rivas-Gonzalo. 2002. LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J Sci Food Agric* 82:1003–6.
- Peterson J; J Dwyer. 1998. Flavonoids: dietary occurrence and biochemical activity. *Nutr Res* 18:1995–2018.
- Prasanna, B.M. and K.R. Sarkar. 1992. The significance of the silk attachment region in the expression of certain R alleles. *Maize Genetics Cooperativa new Letters*, 162, 2:86.
- Prior R, L. 2003. Fruits and vegetables in the prevention of cellular oxidative damage. *Am J Clin Nutr* 78:570S-8S.
- Robles S., R. 1990. *Producción de granos y forrajes*. Editorial Limusa. México. 664 p.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación), 2000. *Situación actual y perspectivas de la producción de maíz en México 1990- 1999*. SAGARPA, México.
- SAGARPA. 2008. *Siap (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria)*. Anuario Estadístico de la producción agrícola de los estados unidos mexicanos México.

- Salas S. G. 2003. Caracterización de extractos de antocianinas obtenidas del grano de maíz. Tesis Ingeniero agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
- Salinas M. Y. 2000. Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco; Estado de México. México.
- Sánchez G. J.J., M.M. Goodman, y C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and Morphological Diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- Satué-Gracia, M.T; M Heinonen y E.N.Frankel. 1997. Anthocyanins as antioxidants on human low-density lipoprotein and lecithin-liposome systems. *J. Agric.Food.Chem.* 45(9): 3362-3367.
- Strack, D., and V. Wray. 1989. Anthocyanins En: *Methods in plant biochemistry*. Vol. I. Plant phenolics, H.B. Harsborne (Ed) academic Press. Pp: 325-356.
- Straus, J. 1959. Anthocyanin synthesis in corn endosperm tissue culture. I: Identity of the pigments and general factors. *Plant Physiol.* Pp: 536-540.
- Styles ED, O Ceska. 1972. Flavonoid pigments in genetic strains of maize. *Phytochemistry* 11:3019-21.
- Toldam-Andersen, T.B; and P. Hansen. 1997. Growth and development in blackcurrant (*Ribes Nigrum*) III. Seasonal changes in sugars, organic acids, chlorophyll and anthocyanins and their possible metabolic background. *J. Hort. Sc.* 72 (1) 155-169.
- Tsuda T; F Horio; K Uchida; H Aoki; Osawa T. 2003. Dietary cyanidin 3-O- beta-D glucoside- rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *J Nutr* 133:2125-30.
- Vázquez-carrillo, M.G; P. Scout; Y. Salinas-Moreno; L. Flores-Gómez y N. Palacios-Rojas. 2006. Anthocyanins content and antioxidant activity in maize (*Zea mays* L.) races. 4th International congress on pigme Food. Oct 9 -12, 2006. Stuttgart-Hohenheim, Germany.
- Viljoen, M.M, and M, Huysamer; 1995. Biochemical and regulatory aspects of anthocyanin synthesis in apples and pears. *J. Southern-African Soc Hort. Sci.* 5:1, 1-6.
- Wang, H. Cao, G; Prior, R.L. 1997. Oxygen absorbing capacity of anthocyanins. *J. agric. food Chem.* 45, 304-309.
- Wang, SY; H.S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J Agric Food Chem.* 48:140-6.
- Warman A.1988. La historia de un bastardo: maíz y capitalismo. Fondo de Cultura Económica. Instituto de Investigaciones sociales. UNAM. México, D.F.
- Wellhausen E. J; L.M. Roberts y E. Hernández X; en colaboración con P.C Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, Características y distribución. In: *Xolocotzia. Obras de Efraim Hernández Xolocotzi.* Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo, México. PP 609-732.
- Wissgott, U y K Bortlik. 1996. Prospects for new natural food colourants. *Trends in Food Science and Technology* 7: 298-302.

- Wrolstad R, E. 2004. Anthocyanin Pigments, Bioactivity and Color Properties. En: Interaction of Natural Colors with Other Ingredients Symposium 12. Institute of Food Technologists(ed). Journal of Food Science 5: 69.
- Zhao C, M Giusti; M Malik; MP Moyer; BA Magnuson. 2004. Effects of Commercial anthocyanin-rich extracts on colonic cancer and nontumorigenic colonic cell growth. J Agric. Food Chem. 52:6122–8.
- Zorrilla L. 1982. El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana. Museo nacional de culturas populares, SEP y GV Editores, México.