



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**AGROECOLOGÍA DEL MAÍZ NATIVO (*Zea mays* L) EN SAN
FELIPE DEL PROGRESO, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

P R E S E N T A :

JARINZI CORONA TERÁN

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Mayo de 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**AGROECOLOGÍA DEL MAÍZ NATIVO (*Zea mays* L) EN SAN
FELIPE DEL PROGRESO, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

P R E S E N T A :

JARINZI CORONA TERÁN

CÓMITE DE TUTORES

DR. ÁNGEL ROBERTO MARTÍNEZ CAMPOS

DR. EUFEMIO GABINO NAVA BERNAL

DR. SERGIO DE JESÚS ROMERO GÓMEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Mayo de 2017

Veto:

“No he muerto. Sólo me fui antes y no quiero que me recuerden con lágrimas como aquel que no tiene esperanza. No he muerto; aunque mi cuerpo no esté, siempre mi presencia se hará sentir. Seré el silencio de nuestro hogar que tanto compartimos, seré la brisa que besaré sus rostros, seré un recuerdo dulce que asista a su memoria, seré una página bonita de su historia. Perdón a todos, tomé únicamente uno de los trenes anteriores y se me olvidó decirles... NO HE MUERTO, SÓLO ME FUI ANTES”.

Anónimo

“No te acerques a mi tumba sollozando.
No estoy allí. No duermo ahí.
Soy como mil vientos soplando.
Soy diamante en la nieve, brillando.
Soy la luz del sol sobre el grano dorado.
Soy la lluvia gentil del otoño esperado,
cuando despiertas en la tranquila mañana.
Soy la bandada de pájaros que trina,
soy también las estrellas que titilan,
mientras cae la noche en tu ventana.
Por eso, no te acerques sollozando...
No estoy allí. Yo no morí”.

Plegaria indígena

“Salió el mar, del mar, pasó
y detrás del mar
vinieron todos los dioses.
Los dioses pasaron como flores,
en figura de flores
vinieron detrás del mar,
y llegaron a la placenta,
al lugar de la placenta
de la que habían nacido.
De la placenta salió la nube
y de la nube salió el ririki
y del ririki nació el venado
que se convirtió en maíz,
que se convirtió en nube
y llovió sobre la milpa...”

Canto Huichol

Oídlo:

El maíz es nuestra carne, nuestro hueso,
nuestro ser, nuestra vida.

Él es el que se pone de pie, él es el que se
mueve, él es el que se alegra, el que ríe, el que vive:

El maíz.

Poema azteca

RESUMEN

La agroecología es una ciencia que tiene un enfoque transdisciplinar, debido a que analiza los sistemas agrícolas desde una perspectiva agronómica, ecológica y socioeconómica, étnica y socio-cultural, además de que incorpora saberes tradicionales sobre métodos de producción para la conservación de dichos sistemas.

Desde esta perspectiva holística y sistémica que ofrece la agroecología, el objetivo de este estudio fue evaluar la diversidad fenotípica del maíz nativo, y como es que el uso y manejo que los campesinos del municipio de San Felipe del Progreso le dan, han influido para conservar esa diversidad.

En México, el maíz es el cultivo agrícola más importante. La diversidad de maíz, está ligada a la cultura e identidad de los mexicanos y constituye un elemento importante de la alimentación nacional. El maíz nativo sufre una fuerte presión debido a su sustitución por variedades mejoradas, las cuales presentan un mayor rendimiento. Sin embargo, el maíz nativo presenta buena adaptabilidad a suelos susceptibles de erosionarse y con baja fertilidad, además puede desarrollarse en condiciones climáticas adversas. Una característica de este recurso es que los productores que lo conservan, se encuentran en pobreza extrema.

En diversos estudios, se ha demostrado el beneficio que genera el maíz nativo a la salud, esto debido a la presencia de sustancias antioxidantes, tales como los fenoles totales y las antocianinas.

Se evaluaron 32 variedades nativas de maíz, colectadas en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México; granos cuyos colores van desde blancos, amarillos, blanco-amarillos, negros hasta morados.

Los resultados muestran que los maíces de color negro son de estructura suave, y presentaron el mayor contenido de endospermo harinoso y menor porcentaje de endospermo corneo; fueron estadísticamente diferentes al resto de las variedades de color. El potencial antioxidante de las variedades amarillas fue el más bajo y estadísticamente diferente a los demás grupos. No se encontró una correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales.

ABSTRACT

Agroecology is a science that has an transdisciplinary approach due to the fact that analyse the agricultural systems from an agronomy, ecological and socioeconomic view, ethnic and sociocultural, moreover it incorporates traditional knowledge about the production methods for the preservation of those systems.

From this holistic and sistematic pespective that offers agroecology, the objeive of this research was to evaluate the phenotypic diversity of the native corn and what is the use and management with the farmers that have influence for the preservation of this diversity.

In Mexico, the corn is the most important agricultural cultivation. The diversity of corn is linked to the culture and mexican identity and it make an important element of the national nutrition. The native corn suffers a strong pressure due to the substitution of improved varieties, that have a better efficiency. Nevertheless native corn presents a good adaptability on the floor that tend to erode and with a low soil fertility, moreover it can grow in adverse climatic conditions. A characteristic of this resource is that the producers are in extreme poverty.

In several researchs are evidence about the benefit of native corn to have a good health due to antioxidant substancs like phenol and anthocyanins.

There´s an asses of 32 varieties of native corn, colected in the community of San Felipe del Progreso, Estado de Mexico; grains with different colors like White, yellow, blanck and purple.

The results show that the black corn is soft and it also presents a move floury content, it was statistically different from the others varieties. The antioxidant

potential of the yellow varieties was the lowest and different from the rest. No correlation was found between the antioxidant potential and the content of total phenols.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para llevar a cabo los estudios de doctorado.

A la SEP en su programa PIFI 2009-2010 por el financiamiento para el desarrollo del proyecto “Análisis de la diversidad genética de maíz” y a la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo complementario para la realización del trabajo de investigación, con su programa de fortalecimiento a cuerpos académicos de calidad.

A la Universidad Autónoma del Estado de México y al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, por haberme albergado en sus instalaciones durante el tiempo que fue necesario para cursar los estudios de doctorado. Así como al personal que tan amablemente me apoyó durante mi estancia.

Agradezco particularmente a mi director de tesis, Dr. Ángel Roberto Martínez Campos, por dedicarme tiempo, esfuerzo y dedicación en esta etapa de mi formación profesional. Así como también agradezco a mi comité de tutores, Dr. Eufemio Gabino Nava Bernal, y al Dr. Sergio de Jesús Romero Gómez, por el tiempo que me dedicaron.

A mi familia, gracias por estar siempre conmigo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	x
AGRADECIMIENTOS.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 El problema generado por la agricultura convencional.....	3
2.1.1 El desarrollo sustentable y la agricultura	5
2.2 Análisis de la agroecología	7
2.3. Dimensiones de la agroecología.....	8
2.3.1 Biofísica.....	8
2.3.2 Socioeconómica	8
2.3.3 Cultural	9
2.3.4 Tecnológica	10
2.4 La agroecología como una estrategia para el desarrollo de modelos de conservación de la biodiversidad agrícola	10
2.4.1 La agroecología en la conservación de la biodiversidad agrícola	13
2.5 Análisis de la diversidad de maíz nativo	15
2.5.1 Importancia del maíz en México	15
2.5.1.1 Producción de maíz en México.....	16
2.5.2 Moléculas biofuncionales	17
2.5.2.1. Radicales libres y antioxidantes	17
2.5.2.2. Compuestos fenólicos	18
2.5.2.2.1 Flavonoides	18
2.5.2.2.2 Antocianinas	20
2.5.2.2.1.1 Aspectos generales	20
2.5.2.2.1.2 Estructura	21

2.5.2.2.1.3 Biosíntesis	23
2.5.2.2.1.4 Propiedades	23
2.5.2.2.1.4.1 Espectro de absorción	23
2.5.2.2.1.4.2 Reacciones químicas	24
2.5.2.2.1.4.3 Efecto del pH	25
2.5.2.2.1.4.4 Efecto de la temperatura	26
2.5.2.2.1.4.5 Estabilidad	26
2.5.2.2.1.5 Tipos de antocianinas	27
2.5.2.2.1.6 Comportamiento fisicoquímico de las antocianinas	28
2.5.2.2.1.7 Capacidad antioxidante de antocianinas	28
2.5.2.2.1.8 Las antocianinas en la salud humana	29
2.5.2.2.1.9 Las antocianinas presentes en el maíz	30
2.5.3 Generalidades del maíz nativo.....	32
III. JUSTIFICACIÓN.....	34
IV. HIPÓTESIS	35
V. OBJETIVOS	36
5.1. OBJETIVO GENERAL	36
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	37
6.1 Identificación de la diversidad fenotípica del maíz nativo.	37
6.1.1. Origen de las muestras	37
6.1.2. Selección y diseño de parcelas experimentales.....	38
6.1.3. Determinación de las características estructurales	38
6.1.4. Determinación de moléculas biofuncionales.....	39
6.1.4.1. Preparación de la muestra	39
6.1.4.2. Determinación de fenoles totales	39
6.1.4.3. Determinación de antocianinas.....	40
6.1.4.4. Determinación de la actividad antioxidante	41
6.1.4.5. Análisis estadístico	41
6.2. Identificación de los aspectos socioeconómicos y geográficos vinculados a las unidades familiares campesinas y al maíz nativo	41

6.2.1. Área de estudio y población	41
6.2.1. Determinación del tamaño de muestra	42
6.2.2. Técnica e instrumento	43
6.2.3. Análisis estadístico.....	43
VII. RESULTADOS	44
7.1. Determinación de las características estructurales, el contenido de antocianinas así como la actividad antioxidante.....	44
7.2. Determinación de los aspectos socioeconómicos y geográficos vinculados a las unidades familiares campesinas y al maíz nativo en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México.	60
VIII. DISCUSIÓN GENERAL	79
IX. CONCLUSIÓN GENERAL.....	89
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
XI. ANEXO.....	105
Cuestionario	105

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Superficie sembrada, superficie cosechada, producción y rendimientos.	16
Cuadro 2	Seis tipos de antocianinas y sus grupos R.	22
Cuadro 3	Pigmentos naturales comúnmente encontrados.	28
Cuadro 4.	Origen y pigmentación de las variedades de maíz utilizadas en el estudio.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Flavonoides, estructura básica y tipos.	19
Figura 2	Estructura química de las antocianinas.	21
Figura 3	Estructura y sustituyentes de las antocianinas.	22
Figura 4	Variedad de maíces pigmentados.	31

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

México es un país megadiverso, es el cuarto a nivel mundial con mayor riqueza biológica, además, es un importante centro de domesticación y de diversidad de numerosos cultivos, algunos de gran importancia global. Dentro de este contexto, México es considerado como uno de los centros de origen del maíz. La determinación del proceso de domesticación, está íntimamente ligada al trabajo humano y a la agricultura, por lo que se ha reconocido que los agricultores de las diferentes culturas americanas, no pueden separarse de la domesticación y diversificación del maíz en épocas posteriores y hasta el presente.

Aproximadamente la mitad del maíz producido se consume directamente como alimento humano; cerca del 40% es usado como alimento animal y el resto está destinado a otros usos. El maíz es el alimento básico en muchos países saharianos, en México y América Central, en el Caribe, en la región de los Andes y en parte del sur de Asia. En Brasil es usado sobre todo como alimento animal. En el norte de África, en Asia occidental, en Asia sudoriental y el Pacífico su uso está uniformemente distribuido entre alimento humano y animal (FAO, 2009).

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz han sido un misterio porque es altamente evolucionado, sin conocerse formas intermedias; es una especie única, por la gran diversidad genética de la planta, de la mazorca y del grano, por su adaptación a un gran rango de ambientes, por su resistencia a enfermedades e insectos, por su tolerancia a distintos estreses ambientales, por sus múltiples usos como alimento humano o animal y por la gran variedad de productos que se obtienen de esta especie.

El maíz es la base de la alimentación de los mexicanos, tanto por representar la mitad del volumen total de alimentos que se consumen cada año, como por proporcionar a la población cerca de la mitad de las calorías requeridas. Para México, este grano no es sólo un bien comercial sino que constituye una expresión de relaciones que han permitido a las comunidades y a los pueblos rurales del país, su subsistencia.

Los maíces nativos¹ en su conjunto poseen adaptación a las múltiples condiciones ambientales y agronómicas que existen en la agricultura tradicional y muchas veces incluso en la comercial. Entre los maíces nativos hay poblaciones con alta capacidad de rendimiento, por sí mismas y en combinación con otros. Tienen también alta respuesta a la selección para rendimiento, resistencia a varias enfermedades y plagas y hasta cierto punto, a sequías y temperaturas extremas; deficiencias de algunos nutrientes, calidad en las hojas que sirven para envolver tamales, contenido de proteína y algunos aminoácidos, aceite y fibra (Serratos, 2009).

México tiene una gran cantidad de variedades de maíz que presentan colores morados, azules, rojos y guindas, debido a la presencia de antocianinas (Miguel *et al*, 2004), a las cuales se les ha atribuido actividad antioxidante (Leyva, 2009). En estudios recientes, se ha determinado que los antioxidantes son esencialmente importantes para el cuerpo humano por la capacidad que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo, ya que previenen o demoran el daño molecular producido por los radicales libres; y son utilizados para tratar desórdenes cardiovasculares, neurológicos y prevenir algunos cánceres (Kuskoski *et al.*, 2004; Blasco, 2010).

¹ Es incorrecto denominar al maíz de México como *criollo* pues como señalan Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye (2009:17), esta palabra sirve para designar a los hijos americanos de padres europeos, en el caso del maíz, ésta “no es una planta foránea al país como el nombre criollo lo indica. En México no hay maíz criollo porque es nativo al territorio”.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El problema generado por la agricultura convencional

La agronomía convencional sigue las premisas dominantes de la ciencia moderna. Supone que la producción agrícola puede ser entendida objetivamente sin considerar a los agricultores y su forma de pensar, ni a los sistemas sociales y al agroecosistema que los rodea. Sin embargo, la tecnología con frecuencia tiene efectos inesperados al ser usada en una explotación agrícola. De tal forma, que el efecto acumulativo de tecnologías agrícolas convencionales al ser usadas por todos los agricultores conjuntamente, tienen a veces impactos ecológicos y económicos devastadores (Norgaard y Sikor, 1999; Altieri, 2007).

Así, la modernización agrícola en América Latina a través de tecnologías modernas convencionales, trajo consigo incrementos en la productividad agrícola y utilidades en divisas. Aquellos productores cuyas tierras y posición socioeconómica eran compatibles con las tecnologías agrícolas convencionales se integraron totalmente a la economía de mercado. En contraparte, los campesinos sin un acceso suficiente a la tierra y a otros recursos productivos, no encajaron dentro de las condiciones de la agricultura convencional y permanecieron fuera de la dinámica del desarrollo rural. Todo esto repercute en la distribución de alimentos y en la inestabilidad en la producción, pues aunque la cantidad de campesinos ha aumentado, su participación en la producción agrícola ha ido decreciendo (Altieri, 1992; Pérez, 2004).

La modernización agrícola, también promueve el uso de variedades modernas, fertilizantes, irrigación y la marginación de un gran número de campesinos que no pueden afrontar la tecnología. Sin embargo, en áreas donde los campesinos adoptaron el paquete tecnológico, estimulado por apoyos gubernamentales; el uso

de las variedades modernas incrementó la aplicación de pesticidas, con frecuencia con severas consecuencias a la salud y al medio ambiente (FAO, 1988). Al enriquecer la uniformidad genética con pocas variedades, en áreas extensas, se incrementó el riesgo para los campesinos, debido a que estas variedades son susceptibles a los pesticidas y al deterioro; y no se desarrollan bien en medio ambientes marginales donde se encuentran los campesinos pobres (Altieri, 1992).

La colonización, extracción y actividades de producción agrícola han creado perturbaciones y transformaciones masivas, especialmente en bosques tropicales. Se han erosionado los recursos genéticos, comprometiendo: los cultivos primarios y especies de animales adaptadas, los que evolucionaron durante siglos como parte de culturas tradicionales; las plantas silvestres y las especies de animales no manipuladas; así como los progenitores silvestres y miembros de familias de plantas domésticas que se usan actualmente (Norgaard y Sikor, 1999).

Otro problema generado por la modernización agrícola, es el reemplazo de las variedades locales que, también representa una pérdida de diversidad cultural, debido a que muchas variedades se utilizan para ceremonias religiosas. Por lo que, las prácticas agrícolas modernas también aumentan las distancias entre los procesos culturales y ecológicos (Altieri, 2007).

En este mismo tenor, es necesario mencionar a los organismos genéticamente modificados (OGM's), los principales productos de la biotecnología agrícola; y es que están dominando la agricultura en los Estados Unidos, Argentina, Canadá y China. Las principales semillas que se utilizan son soya, maíz, seguidas del algodón y la canola. Las principales empresas transnacionales proponen el uso de los OGM's para reducir las pérdidas de cosechas debido a sequías, patógenos e insectos, así como adicionar efectos benéficos al medioambiente al disminuir la aplicación de agroquímicos. Sin embargo, esta nueva modernización de la

agricultura tiene efectos negativos ampliamente documentados, como son contaminación genética de las variedades tradicionales en los centros de origen, resistencia a los herbicidas creando las supermalezas, impacto de la toxina Bt sobre la ecología del suelo, la cual perjudica el crecimiento y la salud de los cultivos; afectación del control biológico de las plagas; así como el riesgo de la transferencia de genes y recombinación para crear nuevos patógenos (Altieri, 2007).

Lo anterior va ligado a la incapacidad de la humanidad para alimentarse basándose en un modelo de agricultura industrial, debido al creciente costo de la energía fósil y el paulatino deterioro del clima y la ecología global. Cada vez que fluctúan los mercados y caen los precios, una proporción considerable de campesinos y agriculturas familiares son expulsados del mercado debido, en parte, a los bajos precios que reciben por sus cultivos y, en parte, al elevado costo de los insumos, tales como los fertilizantes; mientras que los precios para los consumidores aumentan (Rosset, 2009).

En la medida que estos procesos desencadenan una crisis del sistema alimentario global sin precedentes, y el modelo de la agricultura industrial ya no es capaz de producir los alimentos necesarios; se va haciendo necesario iniciar una transición de los sistemas alimentarios a otros que no dependan del petróleo; y que más bien, fortalezcan la producción doméstica por parte de pequeños agricultores; facilitando su acceso a tierra, agua, semillas, crédito, protección de precios, mercados locales y tecnologías agroecológicas (Altieri y Nicholls, 2010).

2.1.1 El desarrollo sustentable y la agricultura

El concepto de sustentabilidad surge en el marco de la Comisión Mundial para el Medioambiente y Desarrollo en 1987, donde el desarrollo sustentable se planteó

como el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades, conservando con ello el medio ambiente (Gastó *et al*, 2009).

La agricultura al ser una de las actividades de mayor relevancia en el acoplamiento del hombre con la naturaleza y, una de las actividades humanas más importantes no está ajena a la sustentabilidad; y es que ésta incorpora y da mayor especificidad a algunas de sus dimensiones: conservación de las funciones y capacidad productiva ecosistemática, conservación de la producción de beneficios económicos, conservación del ciclo hidrológico, conservación del suelo, conservación y desarrollo de la biodiversidad, conservación y desarrollo de la calidad del paisaje, conservación y desarrollo del balance del carbono, diversificación de productos, satisfacción de necesidades humanas, desarrollo en armonía con comunidades locales, distribución justa y equitativa de los beneficios entre los actores y entre las naciones, así como los derechos de los pueblos originarios (Lele, 1991; Lawrence, 1997; Altieri, 1999; Altieri y Rojas, 1999, Montalba, 2005; Erlwein *et al*, 2007; citados por Gastó *et al*, 2009).

Dentro de este movimiento del desarrollo sustentable, surge la agroecología, como un movimiento que representa un cambio de paradigma desde una agricultura convencional a una agricultura sustentable (Gastó *et al*, 2009). De esta forma, la productividad agrícola puede ser congruente con la conservación de los recursos naturales (Abbona *et al*, 2007).

Por lo tanto, la agroecología se inserta en este campo y se define como la ciencia que estudia a la agricultura desde una perspectiva ecológica. Considera a los ecosistemas agrícolas como a las unidades fundamentales de estudio, y en estos sistemas, los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos

biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados como un todo (Altieri, 1995, citado por Altieri, 2009).

2.2 Análisis de la agroecología

Las sociedades humanas producen y reproducen sus condiciones de existencia a partir de su relación con la naturaleza; esta relación puede entenderse tanto en el conjunto de acciones a través de las cuales los seres humanos se apropian, producen, circulan, transforman, consumen y desechan materiales y/o energía proveniente del mundo natural, como en la manera de interpretar, conocer, simbolizar y participar del mundo natural. Una de las formas de intervención en el mundo natural es mediante la modificación y apropiación de los ecosistemas, concepto que alude a las unidades básicas en que se consideran organizadas a la naturaleza (Guzmán y Alonso, 2007).

El nivel de análisis a partir del cual la agroecología desarrolla su enfoque teórico y metodológico, es el de agroecosistema, donde el hombre es parte de la unidad de análisis, ya que es quién se vincula a través de decisiones sobre como intervenir en los ecosistemas. Esta acción ocurre en un contexto determinado, con su historia, cultura y conocimientos acumulados, que hace a cada realidad, una construcción propia y de carácter local (Guzmán *et al*, 2000).

Las vías son múltiples y requieren una metodología que articule una primera fase de observación participante con una posterior de trabajo en campo de naturaleza participativa como una contraparte de la artificialización de las condiciones sociales y económicas de la investigación en estaciones experimentales (Sevilla y González, 1995).

2.3. Dimensiones de la agroecología

La agroecología para el análisis del agroecosistema contempla cuatro dimensiones: biofísica, socioeconómica, cultural y tecnológica.

2.3.1 Biofísica

Esta dimensión proporciona el cúmulo de conocimientos que hacen posible una apropiación correcta de los recursos naturales para obtener alimentos. Su finalidad es entender el funcionamiento de los ecosistemas, es decir, la estructura, los procesos y las funciones que ocurren en él; y los diferentes modos de intervención de los seres humanos, quienes toman la decisión de intervenir un ecosistema para transformarlo con fines productivos en un agroecosistema (Sevilla, 2003).

2.3.2 Socioeconómica

En la dimensión socioeconómica la unidad de análisis es la unidad doméstica y sus extensiones. Esta dimensión se vincula con aquella definida por la dimensión ecológica que toma al agroecosistema por lo que son integrantes de un enfoque holístico. En la agroecología la unidad de análisis centra las actividades en el recurso trabajo. Dentro de los aportes que incluye la dimensión socioeconómica están:

- El conjunto de recursos que rigen los grupos domésticos, en forma individual o colectivamente.
- Las actividades que se realizan para satisfacer sus necesidades de forma mediata o inmediata.
- Las reglas, valores y conocimientos que orientan dichas actividades.
- Los agrupamientos, redes y relaciones, que organizan formalmente o por repetición de esas actividades, de individuos o grupos domésticos que

dependen para su reproducción de la realización ininterrumpida de su fondo de trabajo (Coraggio, 2004).

2.3.3 Cultural

La dimensión cultural se constituye al incorporar al hombre dentro del agroecosistema. Se hace presente que:

- Es el hombre el que maneja, manipula y decide las intervenciones y prácticas agrícolas en su predio.
- Es el hombre también el que, en su modo de pensar, de hacer y de concebir sus necesidades, está en relación con su entorno ecológico y social.

Por lo que para abordar la dimensión cultural de una producción agroecológica es importante, en primera instancia, comprender el contexto social y cultural del hombre en su sentido más amplio.

Relacionando las dimensiones de la agroecología se puede resumir que:

- Los conocimientos tradicionales que entienden y explican las prácticas concretas.
- El rol de la agricultura familiar como fuente de trabajo y proveedora de alimentos sanos a la sociedad.
- Los procesos de erosión y aculturación que caracterizan a gran parte de la población.
- La dimensión simbólica y la puesta en juego de valores como parte de las decisiones que se toman para producir y consumir.
- La visualización de las estrategias políticas que necesariamente se ponen en práctica en toda actividad social.

- La generación de una racionalidad ambiental.

La agroecología enfatiza la necesidad de conocer y articular con el sistema sociocultural local, como soporte para el mantenimiento de los recursos naturales.

2.3.4 Tecnológica

La gran variabilidad que presentan los procesos ecológicos y su interrelación con los factores sociales, culturales, políticos y económicos, genera sistemas locales únicos. Sin embargo, las tecnologías adaptadas a condiciones agroecológicas específicas pueden ser aplicadas a escalas ecológicas mayores y socialmente homólogas, una vez identificadas.

Es necesario que las tecnologías desarrolladas guarden una estrecha relación con las condiciones socioeconómicas y culturales específicas y la dotación de recursos con que cuentan las personas en el campo. Por lo que deben ser no sólo, apropiadas en términos de la factibilidad de su utilización, sino también deben ser apropiables por los productores, optimizando los recursos del sistema y promoviendo sus capacidades y potencialidades; y al mismo tiempo impulsando y generando el desarrollo del potencial científico y tecnológico.

2.4 La agroecología como una estrategia para el desarrollo de modelos de conservación de la biodiversidad agrícola

La agroecología emerge en el momento en el que las sociedades altamente industrializadas creían haber resuelto los problemas de producción masiva de alimentos sin comprometer su estabilidad ecosistémica ni la calidad de sus alimentos y varios años después de que las tecnologías de la agricultura

convencional, se hubieran instalado en América Latina, sin haber podido resolver los problemas generados por la misma (León, 2009).

Ante la necesidad de fortalecer las acciones orientadas a la preservación de la biodiversidad, armonizando la alta necesidad de la producción de alimentos y amortiguando el cambio climático, una de las alternativas es la agroecología.

Así, el mantenimiento y aumento de la productividad de los sistemas agrícolas, conjuntamente con la conservación de los recursos naturales son hoy uno de los mayores desafíos que deberá afrontar la humanidad en las próximas décadas. Para ello, se requiere desarrollar una agricultura sostenible, que deberá incluir (Sarandón, 1993):

- Una producción eficiente y rentable (considerando el costo ecológico) con énfasis en mejores técnicas de manejo y conservación de suelos, agua, energía y recursos biológicos.
- Una disminución del riesgo debido a fluctuaciones ambientales (bióticas y abióticas) o de mercado.
- Un uso o degradación de los recursos naturales renovables a un ritmo menor o igual a su tasa de reposición.
- Un uso o explotación de los recursos no renovables a un ritmo menor o igual al de la tasa de desarrollo de tecnologías alternativas.
- Un aumento en la biodiversidad de los sistemas productivos.
- Una menor dependencia del uso de insumos externos (combustibles fósiles, plaguicidas, fertilizantes sintéticos, etc.)
- Un uso más eficiente de la energía.
- Un mayor aprovechamiento de procesos naturales en la producción agrícola (reciclaje de materia orgánica y nutrientes, fijación de nitrógeno y relaciones depredador-presa).

- Una eliminación o disminución del daño al ambiente y/o a la salud de agricultores y consumidores.
- Un ajuste de los sistemas de cultivo a la productividad potencial y a las limitantes físicas, económicas y socioculturales de los agroecosistemas.
- Tecnologías que sean cultural y socialmente aceptables.

El aumento de la biodiversidad en los cultivos tiene múltiples consecuencias positivas sobre los agroecosistemas, tales como una menor fragilidad ecológica, o una menor dependencia de insumos o una mayor estabilidad de los sistemas. Además, puede ser una alternativa para la conservación *in situ* de la biodiversidad (Sarandón, 2002).

La conservación de la biodiversidad y de los mecanismos de reciclaje de nutrientes son claves para el diseño de agroecosistemas sustentables. En los sistemas agrícolas, la biodiversidad cumple funciones que van más allá de la producción de alimentos, fibras, combustible e ingresos. Además de proveer la base genética de los cultivos y animales, la biodiversidad presta una infinidad de servicios ecológicos, tales como el reciclaje de nutrientes, la supresión biológica de plagas y enfermedades, el control del microclima local y la regulación de procesos hidrológicos (Altieri y Nicholls, 2000).

Otro elemento a considerar por la Agroecología, es el conocimiento campesino, el cual, asume, es derivado de una variedad cultural que ha coevolucionado con las condiciones naturales, por lo que es necesario darle presencia en el desarrollo técnico-científico (Altieri, 1995).

En el mismo sentido, se considera el rol que desempeña la mujer en la toma de decisiones y la distribución del trabajo al interior de las unidades de producción; en el manejo de sus sistemas productivos y de la tecnología, así como en la

comercialización, como factores relevantes en el estudio de los agroecosistemas (Arévalo, 2005).

Es necesario integrar los conocimientos tanto académicos como de las poblaciones locales para diseñar estrategias que permitan conservar la biodiversidad y la producción sostenible. En este tenor, se presenta la agroecología como una estrategia viable que sostiene que una matriz agropecuaria diversificada a escala de parcela y paisaje pueden mantener en buena medida a la biodiversidad y a los procesos y servicios ecosistémicos.

2.4.1 La agroecología en la conservación de la biodiversidad agrícola

La agroecología es aquí utilizada para enmarcar la conservación de los recursos naturales (biodiversidad); ante la necesidad de fortalecer las acciones orientadas a la preservación de la biodiversidad. La biodiversificación es la técnica principal para restaurar la autoregulación, lo cual conlleva a la sustentabilidad. Sin embargo, la sustentabilidad no es posible sin preservar la diversidad cultural que nutre a las agriculturas locales. Una producción estable solo se puede llevar a cabo dentro del contexto de una organización social que proteja la integridad de los recursos naturales y que asegure la interacción armónica de los seres humanos, el agroecosistema y el medio ambiente.

La agroecología provee la información sobre el uso y manejo de las variedades nativas de maíz, así como el acceso a los recursos naturales en comunidades campesinas en México. Pues el mantenimiento y aumento de la productividad de los sistemas agrícolas, conjuntamente con la conservación de los recursos naturales son hoy uno de los mayores desafíos que deberá afrontar la humanidad en las próximas décadas (Sarandón, 1993).

Es importante señalar que la Agroecología se concentra en el diseño de soluciones de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades, así como en las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes, por lo tanto, las propuestas deben ser de orden local y particular. Este enfoque considera de importancia determinadas variables específicas, como son: condiciones ecológicas, relaciones económicas, relaciones de poder, organizaciones sociales y aspectos culturales, entre otras, para el diseño de paquetes tecnológicos (Gliessman, 1999, Altieri y Nicholls, 2000). El mantenimiento de la biodiversidad en sistemas tradicionales no es al azar pero depende de un conjunto complejo de técnicas tradicionales indígenas.

Las estrategias de diversificación agroecológica tienden a incrementar la biodiversidad funcional de los agroecosistemas: una colección de organismos que juegan papeles claves en el agroecosistema. Estas estrategias conllevan a una mayor diversidad en el sistema agrícola y, por tanto a una mayor diversidad de biota asociada; aseguran una mejor polinización; y una mayor regulación de plagas, enfermedades y malezas. También, la biodiversidad mejora el reciclaje de nutrientes y energía (Altieri, 1995; Power, 1999).

Un ejemplo de ello, son los agroecosistemas tradicionales, especialmente aquellos en ambientes marginales, los cuales poseen a menudo una estabilidad y una elasticidad importante, como resultado del alto nivel de diversidad estructural y funcional que se deriva del uso de policultivos, sistemas agroforestales y sistemas mixtos cultivos-animales (Altieri, 1999; Altieri y Nicholls, 2000). Sin embargo, el desarrollo de estos sistemas también puede estar basado en el conocimiento que los productores tengan sobre la potencialidad y capacidad combinatoria de los materiales de uso local (Altieri y Nicholls, 2000).

Los sistemas productivos ubicados en zonas agroecológicamente marginales de México, que pertenecen, por lo general, a campesinos con escasos ingresos económicos, se caracterizan por un tipo de producción de bajo uso de insumos, poco tecnificados, y en muchos casos, basados en prácticas de manejo tradicionales. Asimismo, el avance del modelo dominante, el desprecio de los saberes locales y la inequidad en el acceso a los recursos (tierra y agua), hace peligrar la base de los recursos naturales y la permanencia de las familias en su lugar de origen.

Por lo mencionado con anterioridad, se pretende evaluar el sistema agroecológico del maíz nativo, en términos del conocimiento tradicional que aplican las familias campesinas en torno a las variedades, el uso y manejo que de ellas realizan; las cuales permiten la diversidad y la conservación de éstas; la diversidad fenotípica entendiéndose ésta como la variabilidad que presentan en sus características estructurales, en el contenido de fenoles, contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante.

2.5 Análisis de la diversidad de maíz nativo

2.5.1 Importancia del maíz en México

El maíz es el principal cultivo en México, participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas).

El volumen de producción de maíz en 2012 alcanzó 22.1 millones de toneladas y se estima que para 2013 se alcanzaron 22.7 millones (Cuadro 1). Mientras que la

superficie de temporal ocupa el 74% de la superficie, aportando únicamente el 40% del valor generado (SIAP, 2014).

2.5.1.1 Producción de maíz en México

Año	Superficie (miles ha)		Volumen de producción (miles ton)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Valor de producción (mdp)
	Sembrada	Cosechada				
2000	8,444.8	7,131.2	17,556.9	2.5	1,507.8	26,471.9
2001	8,396.9	7,810.8	20,134.3	2.6	1,451.1	29,216.4
2002	8,270.9	7,118.9	19,297.8	2.7	1,500.6	28,957.5
2003	8,126.8	7,520.9	20,701.4	2.8	1,618.0	33,495.1
2004	8,403.6	7,696.4	21,685.8	2.8	1,678.6	36,401.6
2005	7,978.6	6,605.6	19,338.7	2.9	1,577.9	30,515.1
2006	7,807.3	7,294.8	21,893.2	3.0	2,010.6	44,017.4
2007	8,117.4	7,333.3	23,512.8	3.2	2,442.0	57,417.9
2008	7,942.3	7,344.3	24,410.3	3.3	2,817.0	68,764.9
2009	7,726.1	6,223.0	20,142.8	3.2	2,802.1	56,441.2
2010	7,860.7	7,148.0	23,301.9	3.3	2,816.5	65,629.4
2011	7,750.3	6,069.1	17,635.4	2.9	4,077.8	71,913.9
2012	7,372.2	6,923.9	22,069.3	3.2	4,009.6	88,489.6
2013	7,503.7	7,104.2	23,042.0	3.2	3,385.2	78,001.0
2014	7,469.5	7,071.9	22,630.0	3.2	N/D	N/D

Fuente: SIAP - SAGARPA. /p Cifras preliminares/e Cifras estimadas

Cuadro 1 Superficie sembrada, superficie cosechada, producción y rendimientos.

Por las cifras anteriores, es evidente, la importancia que reviste el maíz para México, no sólo por la gran cantidad de superficie cultivada y la alta producción, sino que es un cultivo en donde se genera una gran cantidad de empleos en toda su cadena de comercialización, que se extiende desde su siembra hasta el consumo, debido a que forma parte de la dieta alimenticia de los mexicanos de una forma tradicional.

2.5.2 Moléculas biofuncionales

2.5.2.1. Radicales libres y antioxidantes

Un radical libre es una especie química que tiene en su estructura uno o más electrones desapareados, lo que lo convierte en un compuesto altamente inestable con capacidad de formar otros radicales libres por reacciones en cadena. Una vez generados, los radicales libres aparean rápidamente el electrón desapareado uniéndose a otro radical libre, o cediendo o tomando un electrón de una estructura molecular adyacente no radical, con el fin de estabilizarse (Oliveras, 2005).

Los radicales libres se sintetizan fisiológicamente en el organismo humano como parte del metabolismo energético. Los radicales libres más relevantes son los radicales derivados de oxígeno, estos se denominan de forma colectiva especies reactivas de oxígeno (reactive oxygen species, ROS). Estas especies se generan debido a la reducción incompleta del oxígeno en la cadena de transporte de electrones. Las especies generadas son: el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y los radicales superóxido (O_2) e hidroxilo (OH) (Mathews et al., 2003; Gutteridge, 1995).

La vida media biológica del radical libre es de microsegundos, pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran daño a moléculas, membranas celulares y tejidos. Este proceso debe ser controlado con una adecuada protección antioxidante (Avello y Suwalsky, 2006).

Los antioxidantes son compuestos químicos que el cuerpo humano utiliza para eliminar radicales libres, que son sustancias químicas muy reactivas que introducen oxígeno en las células y producen la oxidación de sus diferentes partes, alteraciones en el ADN y cambios diversos que aceleran el envejecimiento

del cuerpo (Ramírez *et al.* 2012). Entre los que se pueden encontrar a los compuestos fenólicos, los cuales están presentes en el maíz nativo.

2.5.2.2. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son sustancias químicas con estructura que consiste en un núcleo aromático con al menos un sustituyente hidroxílico libre o sustituido. Se diferencian de otros compuestos, que también poseen esta estructura fenólica (monoterpenos), en su origen biosintético. Al clasificar los compuestos fenólicos de acuerdo a su complejidad química, encontramos los siguientes grupos: fenoles simples, ácidos fenólicos, acetofenonas y ácidos fenilacéticos, cumarinas, benzofenonas y estilbenos, xantonas y flavonoides (Sánchez-Paniagua, 2008).

2.5.2.2.1 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C6-C3-C6), compuesto por dos anillos de fenilos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico). Los átomos de carbono en los anillos C y A se numeran del 2 al 8, y los del anillo B desde el 2' al 6'12 (figura 1).

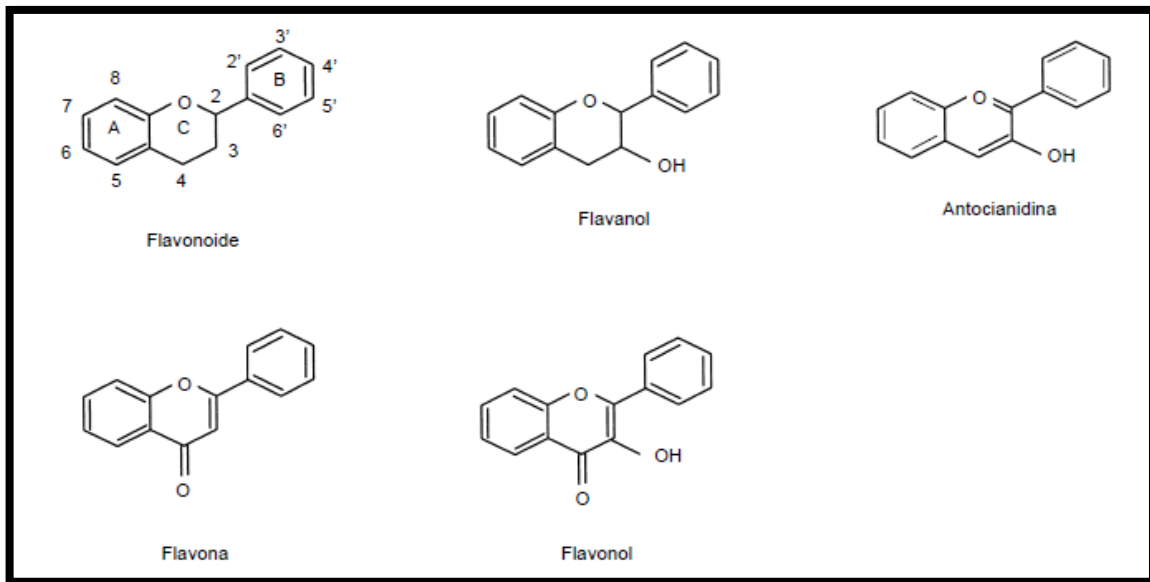


Figura 1. Flavonoides, estructura básica y tipos

Fuente: Martínez-Flores *et al.*, 2002

La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química 13. Esta estructura básica permite una multitud de patrones de sustitución y variaciones en el anillo C. En función de sus características estructurales se pueden clasificar en:

- Flavanos, como la catequina, con un grupo -OH en posición 3 del anillo C.
- Flavonoles, representados por la quercitina, que posee un grupo carbonilo en posición 4 y un grupo -OH en posición 3 del anillo C.
- Flavonas, como la diosmetina, que poseen un grupo carbonilo en posición 4 del anillo C y carecen del grupo hidroxilo en posición C3.
- Antocianidinas, que tienen unido el grupo -OH en posición 3 pero además poseen un doble enlace entre los carbonos 3 y 4 del anillo C.

2.5.2.2.2 Antocianinas

2.5.2.2.1.1 Aspectos generales

Las antocianinas (del griego *anthos*: flor y *kyanos*: azul), son pigmentos hidrosolubles que se encuentran en las vacuolas de las células vegetales que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos. Se localizan principalmente en la piel de frutas como manzanas, peras, uvas, ciruelas, de flores como la jamaica, rosas y verduras como col morada y cebolla morada.

Las funciones de las antocianinas en las plantas son múltiples, desde la de protección de la radiación ultravioleta hasta la de atracción de insectos para propósitos de polinización y dispersión de semillas. La diferencia de color entre las frutas, flores y verduras depende de la naturaleza y concentración de antocianinas. Existen factores adicionales que afectan el color como el pH de la célula, el efecto de copigmentación determinado por la presencia de otros flavonoides, temperatura, luz, etc. (Gross, 1987).

Las antocianinas forman parte de la familia de los polifenoles y se definen como flavonoides fenólicos (Mazza, 1995). Al igual que otras sustancias polifenólicas se encuentran en la naturaleza en forma de glicósidos, siendo conocidas sus agliconas como antocianidinas, a las cuales se les une un azúcar por medio de enlace β -glicosídico. Se trata de flavonoides, es decir, sustancias derivadas del núcleo flavano (Charley, 1982).

El color azul, rojo y morado depende de los grupos que estén atados a la estructura así como la posición del carbono que este siendo atacado. En un medio básico vira el color del pigmento de rojo a azul, en cambio entre más ácido se

encuentre el medio los colores de la antocianina se hacen más rojos (Charley, 1982).

2.5.2.2.1.2 Estructura

Las antocianinas son glucósidos solubles formados por una molécula de antocianidina (aglicona) que se une a una fracción de carbohidrato a través de un enlace β -glucosídico y son una de las clases de flavonoides que existen en abundancia (Gross, 1987). La estructura química consiste en un grupo flavilio formado por un anillo de benzopirano unido a un anillo fenólico (figura 2).

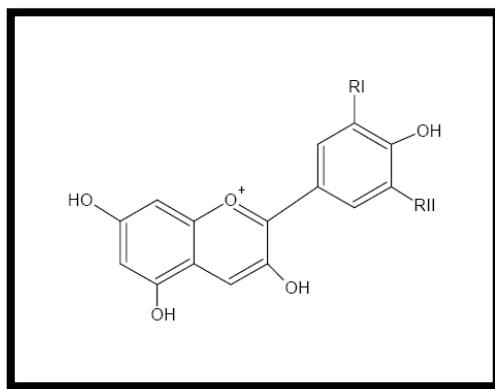


Figura 2 Estructura química de las antocianinas.

La combinación de las antocianidinas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas. Los monosacáridos comúnmente encontrados son D-glucosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-arabinosa y D-xilosa, aunque también pueden contener oligosacáridos como gentobiosa, rutinosa y soforosa. Normalmente los monosacáridos se unen con los grupos hidróxilos de la posición 3 de la antocianidina, mientras que los disacáridos lo hacen con hidróxilos 3 y 5, o bien, con las posiciones 3 y 7 (Badui, 1987). El azúcar presente en la molécula otorga mayor estabilidad y solubilidad (figura 3).

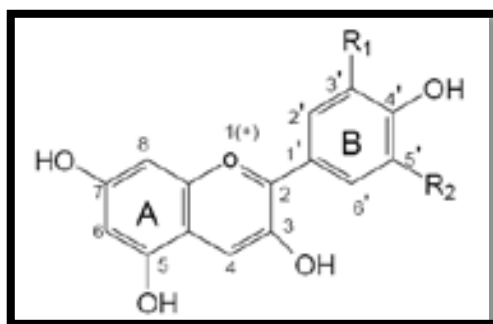


Figura 3 Estructura y sustituyentes de las antocianinas (Rodríguez-Saona y Wrolstad, 2001).

Algunas veces, las antocianinas se encuentran aciladas por ácidos fenólicos como el cafeíco, el p-cumárico, el acético, el ferúlico o sináptico (Coultate, 1984).

Todas las antocianinas son derivadas del catión flavilo básico. Se conocen más de 100, las diferencias entre ellas se debe al número de grupos hidróxilos, el grado de metoxilación de estos grupos, así como la naturaleza y el número de los ácidos aromáticos y alifáticos presentes en la molécula (Wilska-Jeska, 1997). De todas las antocianinas existentes, sólo seis son de interés en los alimentos: la pelargonidina, la cianidina, la delfinidina, la peonidina, la petunidina y la malvidina (cuadro 2).

Cuadro 2 Seis tipos de antocianinas y sus grupos R.

Tipos de antocianinas	Grupos R	
Pelargonidina	R ₁ =H	R ₂ =H
Cianidina	R ₁ =OH	R ₂ =H
Delfinidina	R ₁ =OH	R ₂ =OH
Peonidina	R ₁ =OCH ₃	R ₂ =H
Petunidina	R ₁ =OCH ₃	R ₂ =OH
Malvidina	R ₁ =OCH ₃	R ₂ =OCH ₃

Es común que una misma antocianidina interaccione con más de una clase de carbohidrato para formar diferentes antocianinas; la pelargonidina es la que produce el color rojo escarlata de algunas flores y de las fresas, la delphinidina se encuentra en las berenjenas y la cianidina en la col roja, higos, cerezas, ciruelas y otros frutos (Badui, 1981).

2.5.2.2.1.3 Biosíntesis

Las antocianinas se sintetizan a partir de la condensación de dos moléculas precursoras: malonil CoA y p-cumárico-CoA, las que más tarde formarán anillos A y B respectivamente. Cabe resaltar que esta ruta sintética también es compartida por otros compuestos fenólicos. La principal reacción de biosíntesis de los flavonoides es la condensación de los acilos provenientes de cumaril-CoA y tres moléculas de malonil-CoA catalizada por la enzima chalcona isomerasa que lleva a cabo la isomerización de chalcona a flavona, misma que es convertida en flavones o antocianinas. Los pasos finales en la síntesis de antocianinas son las acilaciones y las glicosilaciones, primero en el C-3, para estabilizar el catión flavilio (Gross, 1987).

2.5.2.2.1.4 Propiedades

2.5.2.2.1.4.1 Espectro de absorción

Las antocianinas presentan una alta coloración en medio ácido debido a que contienen un cromóforo de ocho dobles enlaces conjugados. El espectro de absorción de los flavonoides se caracteriza por tener dos bandas separadas, una a longitudes de ondas largas determinada por la conjugación del anillo B, y la segunda en la región ultravioleta determinada por la conjugación del anillo A. A

mayor sustitución del anillo B, la absorbencia máxima de las antocianinas se desplaza hacia el extremo del rojo del espectro (Gross, 1987).

2.5.2.2.1.4.2 Reacciones químicas

El núcleo flavilo de los pigmentos antociánicos es deficiente en electrones y por tanto muy reactivo. El color de las antocianinas depende de los sustituyentes químicos que contenga y la posición de los mismos en el grupo flavilo, es decir, si se aumentan los hidróxilos de los anillos fenólico se intensifica el color azul, mientras que la introducción de metoxilos provoca la formación de rojos (Fennema, 1985).

Las antocianinas forman complejos, quelatos o sales con cationes metálicos como el sodio, potasio, calcio, magnesio, estaño, hierro o aluminio cambiando el color, con estos dos últimos produce coloraciones azules sobre todo con aquellas que tienen dos grupos en posición orto. La corrosión de las latas de estaño puede alterar el color de los alimentos de rojo a púrpura o azul sobre todo cuando estas latas se almacenan durante largos períodos de tiempo (Charley, 1982).

Otra reacción importante es con el dióxido de azufre, el cual se utiliza en la conservación antimicrobiana de vinos y zumos de frutas. A elevadas concentraciones (1-1.5%) origina una decoloración total e irreversible de las antocianinas, pero a menores concentraciones (500-2000 ppm) reaccionan con el catión flavilo formando un complejo de adición incoloro (Coulter, 1984).

Ocasionalmente, el ácido ascórbico naturalmente presente puede dar lugar a problemas, en presencia de iones de cobre y de oxígeno, ya que reacciona oxidándose a ácido dehidroascórbico acompañado por la formación de agua

oxigenada, la cual oxida las antocianinas, originando la formación de malvonas incoloras (Coultate, 1984).

Las antocianinas interaccionan fácilmente con otros flavonoides incoloros que abundan en los tejidos vegetales. Estas asociaciones que presumiblemente se basan en enlaces de hidrógeno entre grupos hidroxílicos, e interacciones hidrofóbicas entre anillos incrementan la intensidad en el color, tendiendo a estabilizar las formas azules quinoidales (Gross, 1987).

Las antocianinas también cambian de color cuando forman complejos con otros compuestos fenólicos (proantocianidinas, catequinas, taninos y flavonoides) o con algunos polisacáridos, ya que favorece un desplazamiento de la absorción a longitudes de onda mayores. En ocasiones, como en el caso de los vinos tintos con un alto contenido de tanino, se producen grandes agregados poliméricos de tamaño y características coloidales que pueden llegar a sedimentar al cabo de un largo almacenamiento; cuando esto ocurre, se reduce la intensidad del color y se observa un precipitado algo oscuro (Gross, 1987).

2.5.2.2.1.4.3 Efecto del pH

Las antocianinas actúan como indicadores ácido-base puesto que el color resultante está en función de la estructura que se encuentre en mayor proporción a determinados pH. A pH's muy bajos se forma el catión flavilo (rojo), a medida que incrementa el pH se forma la base quinoidal (anhidra) del color azul, en un medio alcalino, aparece el carbinol incoloro. En condiciones básicas fuertes (pH 7) se produce daño irreversible en el pigmento con la aparición de una chalcona de color amarillo pálido (Gross, 1987).

2.5.2.2.1.4.4 Efecto de la temperatura

El efecto de la temperatura en la estabilidad de antocianinas en sistemas modelos y en productos alimenticios ha llevado al consenso de que los pigmentos antocianínicos son notoriamente destruidos por el calor durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, existiendo un incremento logarítmico con un incremento aritmético de la temperatura (Markakis, 1982). Cuando las soluciones de antocianinas se secan por aspersion, a temperaturas mayores a 100°C, ocurre una degradación del color, mientras que a las temperaturas por debajo de 90°C resulta una degradación mínima.

2.5.2.2.1.4.5 Estabilidad

La estabilidad de las antocianinas está determinada por el grado de oxidación, la temperatura, la fuerza iónica, la acidez y la interacción con otros radicales y moléculas complejas. Los factores que degradan el color de las antocianinas son el pH, el calor, el oxígeno, la luz, la hidrólisis, sulfitos, fenómenos de polimerización y la degradación enzimática.

Existen antocianinas con ciertas características que presentan una mayor estabilidad debido al desarrollo de ciertos mecanismos:

- Asociación intramolecular: acilación.
- Asociación intermolecular: copigmentación.
- Interacciones con otros compuestos.
- Polimerización (Beristain, 2001).
- Copigmentación

La copigmentación es el fenómeno por medio del cual hace que el color de las antocianinas sea más intenso, brillante y estable debido a la interacción entre sustancias orgánicas y las antocianinas, además las protegen de la degradación de la luz, calor o pH (Markakis, 1982). Algunas sustancias capaces de actuar como copigmentos son: flavonoides, polifenoles, alcaloides, aminoácidos, y antocianinas en autoasociación (Mazza, 1995).

2.5.2.2.1.5 Tipos de antocianinas

Las antocianinas son compuestos polares que imparten color rojo, morado y azul a las frutas y varios vegetales por el desplazamiento de longitud de onda que genera su catión flavilio (Wrolstad, 1994). Existen dos tipos de antocianinas, las polares y las no polares; las polares son más fáciles de determinar que las no polares, por medio de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), los grupos R=OCH₃ son característicos de las antocianinas no polares y la glicosilación de su molécula le confiere solubilidad acuosa. En general, hay más de 20 tipos de antocianinas y ayudan a determinar la taxonomía de los vegetales pero sólo seis son de interés alimenticio. Es importante mencionar que cerca del 2% del carbono utilizado por los vegetales es destinado a la síntesis de pigmentos con la finalidad de proteger los tejidos contra la radiación ultravioleta y los radicales libres (Durst et al, 2001). En el cuadro 3 se resumen las características físicas de los pigmentos vegetales más representativos.

Cuadro 3 Pigmentos naturales comúnmente encontrados.

Características de los pigmentos naturales					
Grupo	Nº	Color	Fuente	Solubilidad	Estabilidad
Antocianinas	120	Azul, morado	Uvas	Polar	Ph/termolabilidad
Flavonoides	600	Amarillo	Plantas	Polar	Poco en calor
Taninos	20	Amarillo	Vinos	Polar	Estable calor
Betalainas	70	Rojo	Cactus	Polar	Sensible calor
Quinonas	200	Amarillo-negro	Microorganismos	Polar	Estable calor
Santonas	20	Amarillo	Plantas	Polar	Estable calor
Carotenoides	300	Amarillo	Plantas, animales	No polar	Estable calor
Clorofilas	25	Verde-café	Plantas verdes	Ambos	Sensible calor
Heme	6	Rojo-café	Animal	Polar	Sensible calor

2.5.2.2.1.6 Comportamiento fisicoquímico de las antocianinas

Las antocianinas a ciertos pH's presentan diferente actividad debido a que esto repercute en su estabilidad molecular. El color llamativo de las antocianinas se debe principalmente a la carga positiva del catión flavilio. A pH 1 dará un color tal como se encuentran de forma típica en verduras y frutas. El catión flavilio a pH 1 es la forma más estable mientras que las chalconas a pH's > 4.5 son las más susceptibles a degradación.

2.5.2.2.1.7 Capacidad antioxidante de antocianinas

La capacidad antioxidante de antocianinas puede ser determinada por un cambio en la absorbencia entre un sistema con antocianinas y otro sin ellas. Para antocianinas polares su actividad será mayor, tal es el caso de la delfinidina, cianidina y pelargonidina; que para las no polares como la malvidina. De hecho, la delfinidina resultó ser la más potente antioxidante en un estudio (Seeram y Miraleedharan, 2001).

2.5.2.2.1.8 Las antocianinas en la salud humana

Recientemente, se han estudiado las propiedades farmacológicas y terapéuticas de las antocianinas. Las antocianinas durante el paso desde el tracto digestivo al torrente sanguíneo de los mamíferos permanecen intactas, por lo que su consumo puede tener un impacto directo a la salud humana. Por lo tanto, además de su papel funcional como colorante alimenticio, las antocianinas son agentes potenciales en la obtención de productos con valor agregado para el consumo humano. La producción global de antocianinas está orientada a las empresas productoras de bebidas, saborizantes de yogurt y golosinas.

El interés por los pigmentos antociánicos se ha incrementado en los últimos años, debido no solamente al color que confieren a los productos que las contienen sino a su probable papel en la reducción de las enfermedades coronarias, cáncer y diabetes, a sus efectos antiinflamatorios, antitumorales y al mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo.

Los efectos terapéuticos de las antocianinas están relacionados con su actividad antioxidante. Estudios con fracciones de antocianinas provenientes del vino han demostrado que estas son efectivas en atrapar especies reactivas del oxígeno, además de inhibir la oxidación de lipoproteínas y la agregación de plaquetas.

Las antocianinas protegen de muchas maneras. Primero, neutralizan las enzimas que destruyen el tejido cognitivo. Segundo, su capacidad antioxidativa previene los oxidantes del tejido cognitivo. Finalmente, reparan proteínas dañadas en las paredes de los vasos sanguíneos (Cuevas et al, 2008).

Un diverso grupo de compuestos fenólicos provenientes de los denominados frutos rojos tales como flavonoles, elagitaninos y antocianidinas, inhiben las

enzimas digestivas α -glucosidasa, α -amilasa, proteasa y lipasa, las cuales son dianas terapéuticas para controlar la diabetes mellitus tipo 2 y la obesidad. Las antocianinas restringen la actividad de la α -glucosidasa, lo que determina una disminución de los niveles de glucosa en la sangre. Además, junto con los elagitaninos, actúan sinérgicamente para inhibir la actividad de la enzima α -amilasa. Las pro-antocianidinas contribuyen principalmente en la inhibición de la lipasa gastrointestinal y limitan la digestión de las grasas después de las comidas.

La ingestión de frutos rojos también mejora el sistema inmune. Se ha demostrado que tienen un efecto para mejorar las deficiencias relacionadas con la edad en el señalamiento neuronal y parámetros de comportamiento, así como también mejoran la memoria.

2.5.2.2.1.9 Las antocianinas presentes en el maíz

Debido al interés de la sustitución de los colorantes sintéticos por su posible toxicidad, se han buscado nuevas fuentes de colorantes naturales, como las antocianinas presentes en los maíces pigmentados (Cuevas *et al*, 2008). La presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas del maíz lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales (Cuevas *et al*, 2008).

En el maíz se ha reportado la presencia de antocianinas tanto aciladas como no aciladas, abundando las de tipo acilado que son más estables a cambios de temperatura y pH (Salinas *et al*, 2005).

México cuenta con una gran cantidad de variedades de maíz que presentan granos de colores morados, azules, rojos y guindas (figura 4).



Figura 4 Variedad de maíces pigmentados.

Fuente: Jarinzi Corona Terán

En los maíces guindas, el pigmento se localiza tanto en el pericarpio, como en la capa de aleurona y el contenido de antocianinas en el grano puede llegar a ser de hasta 1,151 mg/kg de muestra. En los granos de color guinda, la concentración de antocianinas en el pericarpio alcanza valores de hasta 1.5%, por lo que representan una fuente importante de pigmentos naturales con colores rojos (Salinas et al, 2005).

Las antocianinas presentes en el maíz azul se derivan de la cianidina, en tanto que las del grano guinda proviene de la pelargonidina (Straus y Harbone y Gabazzi, citados por Salinas et al, 1999, citado por Ramírez et al, 2003). El maíz con antocianinas es utilizado como colorantes para jarabes, galletas y otros alimentos en Japón (Aoki *et al*, s/f; citado por Rosales, 2003).

2.5.3 Generalidades del maíz nativo

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante en México, debido a que constituye el alimento básico de su población; las costumbres y la cultura van ligadas a este cultivo (Aragón *et al*, 2006).

El maíz es más que un cultivo, es un elemento central en los hábitos culinarios de las poblaciones rurales y urbanas, y parte de la historia y la vida diaria de los mexicanos: su economía, su religión y su cosmovisión (Ribeiro, 2004).

Los maíces nativos de México, se desarrollan en sistemas tradicionales, siendo los agricultores de subsistencia, quienes han logrado diversificar las variedades de maíz, de acuerdo con las características de su preferencia, tales como: color de grano, tolerancia a la sequía, resistencia a insectos, capacidad para ser almacenadas y el sabor que dan a las tortillas (Bellon *et al.*, 2005, Espinosa *et al.*, 2010), las cuales se han adaptado a las más diversas y adversas condiciones agroclimáticas.

Los campesinos marginales, habitan regiones agrícolas con topografía accidentada, temporal errático, suelos erosionados, de baja fertilidad; siembran semillas nativas de maíz y sus cultivos asociados bajo el sistema de milpa, empleando técnicas ancestrales basadas en el conocimiento milenario de la naturaleza con poco impacto sobre el medio (Gómez y Gómez, 2006). Además de que las semillas que utilizan están mejor adaptadas a las sequías, suelos pobres y a los enemigos naturales (Bernardo, 2011).

En la actualidad existe un interés por conocer todos los aspectos que se relacionen con el uso, mejoramiento y conservación de la agrobiodiversidad dentro de los centros de domesticación de las plantas (Jarvis *et al.*, 2000). La importancia de

esta agrobiodiversidad radica en que es parte del alimento y patrimonio de la humanidad y es fuente principal de genes para generar nuevas y mejores variedades. Además, es necesario conservar las especies cultivadas en áreas de domesticación, lugares que han sido su hábitat original y en donde han evolucionado por miles de años (Brush, 2000).

Gran parte de esta agrobiodiversidad ha sido cultivada y conservada por pequeños agricultores que viven dentro de las áreas de domesticación, quienes dependen de sí mismos para obtener semilla de su propia cosecha (Badstue *et al.*, 2003). Para estos agricultores las variedades sembradas, además de formar el capital agrícola, adquieren importancia porque son parte de su fuente principal de alimentación.

La diversidad de maíces que utilizan los campesinos indígenas de México, es amplia, la cual incluye una diversidad de colores: blanco, rojo, amarillo, azul, negro y jaspeado (Ribeiro, 2004); y es usada en cada región como grano tierno (elote y esquites), pinole, atoles, pozol, para la preparación de tamales y tortillas, azúcares, totemoxtle y para la alimentación del ganado, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2012).

En el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) existe una gran diversidad en tamaño y forma de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer y Hannah, 2001). El tipo de uso del maíz está determinado principalmente por la estructura y composición del grano, las diferencias dependen de la variedad así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y postcosecha.

III. JUSTIFICACIÓN

México es centro de origen y diversidad del maíz. En México, el maíz nativo se encuentra en peligro debido a la sustitución de este cultivo tradicional, por variedades mejoradas, generadoras de un mayor rendimiento, tolerantes a ciertos factores climatológicos entre otras cualidades que se le otorgan. Sin embargo, el maíz nativo ha demostrado tener buena adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, suelos con pendientes pronunciadas y susceptibles a erosión y baja fertilidad (Chávez *et al*, 1998).

Además de que la diversidad del maíz, está relacionada con una serie de factores en las zonas rurales como son migración, precios, niveles de productividad, comercialización, la pobreza extrema de los productores, así como el bajo nivel educativo.

El sistema de producción de maíz nativo se realiza en la milpa, en donde este cereal, se encuentra asociado a otras especies como: la calabaza y el frijol; con lo cual se incrementa la diversidad biológica. Asimismo, se aplican prácticas ancestrales como lo son: el intercambio de semillas, la selección de las mismas y la siembra de éstas considerando su ciclo de polinización. El uso que los campesinos le dan a estas variedades, tales como la elaboración de tortillas, tamales, platillos especiales como el pozole; es un factor que favorece su conservación.

Por lo anterior, es necesario evaluar las características agroecológicas de las variedades nativas del maíz de San Felipe del Progreso, México; que puedan utilizarse como estrategias para su conservación.

IV. HIPÓTESIS

México es centro de origen y diversidad del maíz. De acuerdo a diversos estudios, los campesinos son los que han conservado y mantenido esa diversidad, a través de las prácticas ancestrales, como lo es el intercambio de semillas, la selección de la misma, siembra de diferentes variedades en la misma parcela, y en diferentes fechas, de acuerdo al ciclo de polinización. Sin embargo, en la actualidad, se siembran pocas variedades en la milpa, se ha disminuido el intercambio de semillas aunque persiste la selección de la misma, sin considerar el ciclo de polinización, lo cual propiciaría que la diversidad del maíz esté disminuyendo.

V. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características agroecológicas de las variedades nativas del maíz de San Felipe del Progreso que puedan utilizarse como estrategias para su conservación.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características estructurales del maíz nativo.
- Determinar el contenido de fenoles totales, el contenido de antocianinas así como la actividad antioxidante.
- Determinar los aspectos socioeconómicos y geográficos vinculados a las unidades familiares campesinas y al maíz nativo en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Identificación de la diversidad fenotípica del maíz nativo.

6.1.1. Origen de las muestras

En 2008 se realizó la colecta de material genético de 32 variedades de maíz nativo, cultivadas en distintas localidades del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (Mx). Las variedades, coloración y origen de las colectas utilizadas en este estudio se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Origen y pigmentación de las variedades de maíz utilizadas en el estudio.

Nº	Código	Comunidad de origen	Pigmentación
1	LCC-23	La Concepción el Chico	Blanco
2	GC-21	Guadalupe Cote	Blanco
3	FN-42	Fresno Nichi	Blanco
4	LCA-16	La Carrera	Blanco
5	RS-24	La Soledad	Blanco
6	SNM-40	San Nicolás Mavati	Blanco
7	SJC -33	San Juan Cote	Blanco
8	LP-28	Las Palomas	Blanco
9	TE-9	Tres Estrellas	Blanco
10	FN1-35	Fresno Nichi	Blanco
11	SNM-38	San Nicolás Mavati	Blanco
12	FN-41	Fresno Nichi	Blanco
13	LM-7	La Manzana	Blanco
14	SNG-14	San Nicolás Guadalupe	Blanco
15	SNM-32	San Nicolás Mavati	Blanco
16	FN-43	Fresno Nichi	Blanco
17	RB-17	Rioyos Buenavista	Blanco-amarillo
18	LV-10	La Virgen	Blanco-amarillo
19	FN3-37	Fresno Nichi	Amarillo

20	RS-25	La Soledad	Amarillo
21	SNM-26	San Nicolás Mavati	Negro
22	SNG-B	San Nicolás Guadalupe	Negro
23	T-3	Tlachichilpa	Negro
24	FN2-36	Fresno Nichi	Negro
25	CC-15	Calvario del Carmen	Negro
26	B-30	Boreje	Morado
27	SML-22	San Miguel La Labor	Morado
28	SNM-34	San Nicolás Mavati	Morado
29	SIM-18	San Jerónimo Mavati	Morado
30	D-29	Dotegiare	Morado
31	LC-12	La Ciénega	Morado
32	SJM-39	San Jerónimo Mavati	Morado

6.1.2. Selección y diseño de parcelas experimentales

La siembra se realizó el 8 de mayo de 2009 en una superficie de 1 ha en bloques al azar de tres surcos por variedad (densidad de 8 plantas por metro lineal) y tres repeticiones. Se mantuvieron como cultivos de temporal con un riego de auxilio. El tipo de suelo donde se establecieron los ensayos fue arcilloso. La distancia entre surco fue de 80 cm y se les aplicó una fertilización química en la pre-siembra de 136 kg de nitrógeno (300 kg urea). La cosecha se realizó de manera manual al llegar al estado de madurez fisiológica del cultivo (180 días después de la fecha de siembra).

6.1.3. Determinación de las características estructurales

Las mazorcas colectadas fueron desgranadas manualmente. Por cada variedad se obtuvo una muestra de 750 granos extraídos de 30 mazorcas (25 granos por mazorca), las cuales no presentaron ataque por hongos o plagas y no fueron vanas. El análisis de las características estructurales se llevó a cabo con la aplicación de la técnica de textura por disección, siguiendo la metodología

propuesta por el Laboratorio Central de Desarrollo Industrial y Tecnológico, S. A. de C. V. (Leyva *et al.*, 2002), la cual permite determinar los porcentajes de pedicelo, pericarpio, embrión, endospermo harinoso y endospermo córneo en granos de maíz.

6.1.4. Determinación de moléculas biofuncionales

6.1.4.1. Preparación de la muestra

El grano de 36 mazorcas de cada variedad se deshidrató en una estufa de convección a 51 °C por 24 horas. Las muestras se molieron en molino de trituración (The Straus Company), se tamizaron con malla de 0,5 mm y posteriormente se almacenaron en frascos color ámbar hasta el momento de su análisis.

6.1.4.2. Determinación de fenoles totales

La extracción de fenoles totales se realizó mezclando 10 ml de solución acuosa de metanol (30:70 v/v; agua: metanol) con 200 mg de muestra, se aplicaron dos ciclos de extracción de 10 min por 5 min de reposo en un sonicador (Branston). Las muestras se centrifugaron a 3000 rpm por 10 minutos para separar el sobrenadante (Makkar, 2000).

Los fenoles totales en los extractos se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu modificado (Makkar, 2000). 0,05 ml de los extractos fueron diluidos con 450 ml de agua destilada, posteriormente se agregaron 0,25 ml de una solución (1:1) de Folin-Ciocalteu y finalmente se agregaron 1,25 ml de una solución de Na₂CO₃ al 20%. Posteriormente se incubaron a 38 °C durante 40 minutos, y se determinó la absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV). El

análisis se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados como mg de ácido tánico por cada 100 gr de harina de maíz.

6.1.4.3. Determinación de antocianinas

La extracción de antocianinas se realizó mezclando 1 gr de la muestra con 20 ml de una solución etanólica al 20% y pH 2. Posteriormente, se aplicó un ciclo de extracción de 10 min en un sonicador (Branston), y se incubaron en baño a 75 °C durante 60 minutos, finalmente se procedió a centrifugar por 10 min a 3 000 rpm (Gorriti *et al*, 2009).

Se tomaron dos muestras de 0,2 ml del extracto, a una se le agregaron 1,8 ml del buffer de KCL a pH 1 y a la otra 1,8 ml de buffer de acetato de sodio (pH 4,5). Posteriormente se leyeron las absorbancias a 510 nm y 700 nm. Las antocianinas fueron estimadas en las muestras de maíz mediante el método de pH diferencial y su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas (mg/L)} = \frac{\Delta A \times MW \times FD \times 1000}{\epsilon \times 1}$$

Donde:

ΔA (cambio en la absorbancia) = $(A_{510} - A_{700})$ a pH1.0 - $(A_{510} - A_{700})$ a pH4.5;

MW= masa molecular = 449,2 g/mol para cianidina-3-gluósido;

FD = factor de dilución;

1 = longitud de paso de celda en cm;

= 26900 (coeficiente de extinción molar) para cianidina-3-gluósido;

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos (mg).

6.1.4.4. Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se extrajeron 0,5 gr de la muestra con 40 ml de una solución etanólica al 20% y pH 2. El efecto antioxidante de las muestras sobre el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se evaluó siguiendo la técnica de Gorriti *et al.*, (2009), los resultados son reportados en % de DPPH remanente después de 90 minutos. Los análisis fueron realizados por triplicado.

6.1.4.5. Análisis estadístico

Todos los resultados fueron analizados en el paquete estadístico SAS v.9 (SAS Institute, 2002), bajo un modelo completamente al azar. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y regresión lineal múltiple. Así mismo, se realizaron dendogramas por el método de Ward en los componentes estructurales.

6.2. Identificación de los aspectos socioeconómicos y geográficos vinculados a las unidades familiares campesinas y al maíz nativo

6.2.1. Área de estudio y población

El área de estudio se localiza en el municipio de San Felipe del Progreso, al noroeste del estado de México. Entre los 19° 43" de latitud norte y 99° 57" de longitud oeste. Su topografía se caracteriza por contar con un sistema montañoso de mediana altura. Este municipio es el segundo en extensión territorial en el estado de México, sólo después de Tejupilco, posee 856.05 km². El clima predominante es el templado sub-húmedo con lluvias en verano. La temperatura anual varía entre los 12 y los 18°C, sin embargo, se registran temperaturas

mínimas de 2 y máximas de 28°C. Las lluvias son abundantes en julio, agosto y septiembre (INEGI, 2015).

La zona de estudio tiene 86 localidades dispersas de forma heterogénea en todo el territorio municipal y conforme a la tipología del Instituto de Administración Pública del Estado de México A.C, es un municipio rural que presenta una baja densidad de población y de alta marginación (284 habitantes por km²), (INEGI, 2015).

San Felipe del Progreso tiene una población de 121,396 habitantes (63 223 mujeres y 58 173 hombres), de la cual se calcula una población indígenas mazahuas de 92% (INEGI, 2015). La mayoría de los habitantes se dedican a la agricultura de subsistencia, la fuerza de trabajo es aportada por la unidad familiar (INEGI, 2015).

La mayor parte de la actividad económica se encuentra dedicada al sector primario, sin embargo, también se aporta el factor humano a las actividades del sector secundario, las que se llevan a cabo en los municipios vecinos, Atlacomulco y Jocotitlán. Algunas de las principales actividades del municipio se refieren al cultivo de maíz de grano, avena forrajera, haba en grano, maíz forrajero, tomate y jitomate. En el año 2013, se estimó una producción de maíz en grano de 75,674 ton/ha (SIAP-SAGARPA, 2013).

6.2.1. Determinación del tamaño de muestra

Se estimó el tamaño de la muestra mediante un muestreo dirigido, identificando los informantes clave que fueron reconocidos como productores de semilla. Se aplicaron entrevistas a 156 productores de maíz nativo.

6.2.2. Técnica e instrumento

La técnica empleada fue la entrevista. La entrevista consideró variables socioeconómicas, tales como: nombre, sexo, edad, tiempo de vivir ahí, escolaridad, actividad económica, número de integrantes familiares; condiciones del terreno: superficie, temporal o riego; manejo del cultivo: actividades realizadas y fechas; así mismo se investigaron las estrategias de conservación: tipo de maíz utilizado, color, antigüedad de la colección y los usos finales dados al maíz.

6.2.3. Análisis estadístico

Se aplicó estadística descriptiva: promedios, frecuencias y moda. Los resultados obtenidos de las entrevistas se procesaron en el paquete estadístico IBM SPSS 23.0.0 (IBM SPSS, 2014).

VII. RESULTADOS

7.1. Determinación de las características estructurales, el contenido de antocianinas así como la actividad antioxidante.

Los maíces nativos, colectados en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México, presentaron colores que van desde blancos, amarillos, blanco-amarillos, negros y morados. Al analizar las características estructurales, los resultados muestran que los maíces de color negro son de estructura suave, presentaron el mayor contenido de endospermo harinoso (80,34 %) y menor porcentaje de endospermo corneo (4,8 %); fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) al resto de las variedades de color. El potencial antioxidante de las variedades amarillas fue el más bajo (32,3 % de remanente de DPPH) y fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) a los demás grupos. No hubo correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales.

Los resultados completos están referidos en el artículo “Caracterización física y composición química del maíz nativo (*Zea mays* L.) del Estado de México, México”, el cual fue aceptado para su publicación en la revista “Información Técnica Económica Agraria”.

Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de México

J. Corona-Terán¹, C.A. López-Orona^{2,*}, S.J. Romero-Gómez³
y A.R. Martínez-Campos^{1,**}

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Km. 14.5, Autopista Toluca-Atzacmulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México, CP 50295, México

² Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado, Km. 17.5, Culiacán de Rosales, Sinaloa, CP 80398, México

³ Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Av. Hidalgo S/N, Col. Niños Héroes, Querétaro, CP 76010, México

Resumen

El estudio de la diversidad genética y fenotípica de los maíces nativos (*Zea mays* L.) propicia la conservación y aprovechamiento de los mismos. Se evaluaron 32 variedades nativas de maíz, recolectadas en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México); los granos de dichas variedades varían en color desde blanco, amarillo, blanco-amarillo, negro y morado. Se analizaron las características estructurales, el contenido de fenoles totales, el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante para estimar la variabilidad fenotípica de estas variedades de maíz y contar con elementos que permitan darle valor añadido. Los resultados muestran que los maíces de color negro son de estructura suave, presentaron el mayor contenido de endospermo harinoso (80,34%) y menor porcentaje de endospermo corneo (4,8%); fueron diferentes ($P < 0,05$) al resto de las variedades de color. El potencial antioxidante de las variedades amarillas fue el más bajo (32,3% de remanente de DPPH) y fue diferente ($P < 0,05$) a los demás grupos. No se encontró una correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales.

Palabras clave: *Zea mays*, potencial antioxidante, diversidad fenotípica.

Abstract

Physical characterization, phenol content and antioxidant capacity of native maize (*Zea mays* L.) of the State of Mexico

Genetic diversity and phenotypic knowledge of native maize (*Zea mays* L.) contribute to its use and conservation. Varieties of native maize ($n = 32$), collected in the municipality of San Felipe del Progreso, Mexico State (Mexico), were studied in the current study. Maize grains of several different colours including white, yellow, white-yellowish, black and purple were analysed for grain structure, total content of phenols and anti-oxidant activity with the aim of assigning an added value to this native maize as well as considering the knowledge of its structure and anti-oxidant activity as a strategy for its conservation. Re-

* Autor para correspondencia: clopezorona@uas.edu.mx

** amartimacan@yahoo.com.mx

http://

sults showed that black coloured maize registered a fragile structure, the highest content of floury endosperm (80.34%), the lowest percentage of horny endosperm (4.8%), and were different to the rest of coloured varieties. The yellow maize varieties had the lowest anti-oxidant potential (32.3% of residual DPPH). No correlation between anti-oxidant potential and total content of phenols was found.

Key words: *Zea mays*, antioxidant activity, phenotypic diversity.

Introducción

México es considerado el principal centro de origen del maíz (*Zea mays* L.), donde la diversidad que existe sobre esta gramínea es muy amplia y así lo demuestran las más de 59 razas de maíz descritas (Sánchez et al., 2000; Matsuoaka, 2005). El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, debido a que constituye el alimento básico de su población; las costumbres y la cultura van ligadas a este cultivo, sin embargo, los maíces nativos de México, se encuentran amenazados por diferentes factores: migración, bajos precios, altos costes de producción, sequías, nuevas variedades y sustitución por otros cultivos más rentables (Aragón Cuevas et al., 2006; Larson, 2008; Suárez et al., 2013).

En el cultivo de maíz existe una gran diversidad en cuanto a tamaño y forma de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer y Hannah, 2001; Pérez de la Cerda et al., 2007). México tiene una gran cantidad de variedades de maíz, cuyos granos presentan diversos colores: morados, azules, rojos, guindas, blancos, negros y amarillos. A estos maíces se les ha otorgado un valor agregado debido a su alto contenido de compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides, entre los que destacan las antocianinas, a las cuales se les atribuye actividad antioxidante (Miguel et al., 2004; Leyva, 2009). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, de los que se han identificado más de 8 000 que difieren en estructuras químicas y en actividad (Ruiz Torres et al., 2008). En el maíz, estos compuestos se

han encontrado principalmente en el pericarpio, la aleurona, el endospermo y el embrión (Ruiz Torres et al., 2008; Cabrera Soto et al., 2009). El maíz contiene mayor cantidad de fenoles y capacidad antioxidante que otros cereales como el trigo, el arroz y la avena. Un compuesto fenólico es una molécula que incluye en su estructura un anillo benzénico con uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos son derivados de las sales 2-fenil-benzopirilo que existen en plantas generalmente como glucósidos, con excepción de unos pocos compuestos amino, los compuestos fenólicos del maíz se incluyen dentro del grupo de moléculas bioactivas no nutritivas (Liu, 2004).

Las antocianinas pertenecen a los flavonoides, un subgrupo importante de los compuestos fenólicos, y son pigmentos ampliamente distribuidos en las plantas. Estos compuestos son los responsables de los colores azul, púrpura y rojo en plantas comestibles, principalmente cereales y frutas. En estudios recientes, se ha determinado que los antioxidantes son esencialmente importantes para el cuerpo humano por la capacidad que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo, ya que previenen o demoran el daño molecular producido por los radicales libres; y son utilizados para tratar desórdenes cardiovasculares, neurológicos y prevenir algunos cánceres (Kuskoski et al., 2004; Blasco León, 2010). Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos que se hallan en las células epidermales o subepidermales de la planta, principalmente en flores y frutos. Para la industria, las antocianinas tienen un potencial considerable en la rama

alimentaria como aditivo, por su carácter inocuo. Debido a la presencia de las antocianinas, se abre una posibilidad de emplear matices pigmentados para uso en la industria de alimentos, cosmética y de salud (Cuevas Montilla et al., 2008). El tipo de uso del maíz está determinado principalmente por la estructura y composición química del grano, las diferencias dependen de la variedad así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y postcosecha.

A partir de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar las características estructurales, el contenido de fenoles totales y el potencial antioxidante de 32 variedades de maíz nativo del Estado de México. Dichas características, contribuirán a identificar la diversidad fenotípica del maíz nativo, siendo un paso importante para establecer una estrategia de conservación.

Material y métodos

Muestras

En 2008 se realizó la colecta de material genético de 32 variedades de maíz nativo, cultivadas en distintas localidades del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México), la selección de las muestras se realizó mediante muestreo dirigido, a partir de la selección de Informantes clave, Lazos Chavero en 2008 tiene registrados 26 variedades de maíz nativas en San Pedro el Alto y 31 variedades en San Pablo Tlachichilpan Ejidos pertenecientes a San Felipe del Progreso. Las muestras y la coloración de las variedades utilizadas en este estudio se muestran en la Tabla 1. Se realizaron dos siembras, la primera siembra se realizó el 8 de mayo de 2009 y la segunda el 9 de mayo de 2010, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental constó de tres surcos de 100 m por variedad

(densidad de 8 plantas por metro lineal). Se mantuvieron como cultivos de temporal con un riego de auxilio. La textura del suelo donde se establecieron los ensayos fue arcillosa. La distancia entre surcos fue de 80 cm y se les aplicó una fertilización química en pre-siembra de 136 kg de nitrógeno (300 kg de urea) por ha. La cosecha se realizó de manera manual al llegar al estado de madurez fisiológica del cultivo (180 días después de la fecha de siembra). Se obtuvieron 750 granos de muestra por repetición, los cuales fueron extraídos de 30 mazorcas, procurando que no presentaran ataque por hongos o plagas y que no fueran vanas.

Preparación de la muestra

Cada muestra se deshidrató en una estufa de convección a 51°C durante 24 horas. Las muestras se molieron en molino de trituración (The Straus Company), se tamizaron con malla de 0,5 mm y posteriormente se almacenaron en frascos color ámbar hasta el momento de su análisis.

Características estructurales

El análisis de las características estructurales se llevó a cabo con la aplicación de la técnica de textura por disección, siguiendo la metodología propuesta por el Laboratorio Central de Desarrollo Industrial y Tecnológico, S.A. de C.V. (Leyva Ovalle et al., 2002), la cual permite determinar los porcentajes de pedicelo, pericarpio, embrión, endospermo harinoso y endospermo córneo en granos de maíz.

Determinación de fenoles totales

La extracción de fenoles totales se realizó mezclando 10 ml de solución acuosa de metanol (30:70 v/v; agua: metanol) con 200 mg de muestra, se aplicaron dos ciclos de extracción de 10 minutos en un sonicador (Branston). Las

Tabla 1. Origen y pigmentación del grano de las variedades de maíz utilizadas en el estudio
 Table 1. Origin and grain pigmentation of maize varieties used in the study

Nº	Código	Comunidad de origen	Pigmentación
1	LCC-23	La Concepción el Chico	Blanco
2	GC-21	Guadalupe Cote	Blanco
3	FN-42	Fresno Nichi	Blanco
4	LCA-16	La Carrera	Blanco
5	RS-24	La Soledad	Blanco
6	SNM-40	San Nicolás Mavati	Blanco
7	SJC-33	San Juan Cote	Blanco
8	LP-28	Las Palomas	Blanco
9	TE-9	Tres Estrellas	Blanco
10	FN1-35	Fresno Nichi	Blanco
11	SNM-38	San Nicolás Mavati	Blanco
12	FN-41	Fresno Nichi	Blanco
13	LM-7	La Manzana	Blanco
14	SNG-14	San Nicolás Guadalupe	Blanco
15	SNM-32	San Nicolás Mavati	Blanco
16	FN-43	Fresno Nichi	Blanco
17	RB-17	Riños Buenavista	Blanco-amarillo
18	LV-10	La Virgen	Blanco-amarillo
19	FN3-37	Fresno Nichi	Amarillo
20	RS-25	La Soledad	Amarillo
21	SNM-26	San Nicolás Mavati	Negro
22	SNG-B	San Nicolás Guadalupe	Negro
23	T-3	Tlachichilpa	Negro
24	FN2-36	Fresno Nichi	Negro
25	CC-15	Calvario del Carmen	Negro
26	B-30	Boreje	Morado
27	SML-22	San Miguel La Labor	Morado
28	SNM-34	San Nicolás Mavati	Morado
29	SIM-18	San Jerónimo Mavati	Morado
30	D-29	Dotegiare	Morado
31	LC-12	La Genega	Morado
32	SJM-39	San Jerónimo Mavati	Morado

muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos para separar el sobrenadante (Makkar, 2000).

Los fenoles totales en los extractos se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu modificado (Makkar, 2000) para lo cual 0,05 ml de los extractos fueron diluidos con 450 ml de agua destilada, posteriormente se agregaron 0,25 ml de una solución (1:1) de Folin-Ciocalteu y finalmente se agregaron 1,25 ml de una solución de Na_2CO_3 al 20%. Posteriormente se incubaron en baño a 38°C durante 40 minutos, y se determinó la absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV). El análisis se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados como mg de ácido tánico por cada 100 g de harina de maíz.

Determinación de antocianinas

La extracción de antocianinas se realizó mezclando 1 g de la muestra con 20 ml de una solución etanólica al 20% y pH = 2. Posteriormente, se aplicó un ciclo de extracción de 10 minutos en un sonicador, y se incubaron en baño a 75°C durante 60 minutos, finalmente se procedió a centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm (Gorriti Gutiérrez et al., 2009).

Se tomaron dos muestras de 0,2 ml del extracto, a una se le agregaron 1,8 ml del tampón de KCl a pH = 1 y a la otra 1,8 ml de tampón de acetato de sodio (pH = 4,5). Posteriormente se leyeron las absorbancias a 510 nm y 700 nm. Las antocianinas fueron estimadas mediante el método de pH diferencial y su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Donde:

$$\Delta A \text{ (cambio en la absorbancia)} = (A_{510} - A_{700}) \text{ a pH } 1,0 - (A_{510} - A_{700}) \text{ a pH } 4,5;$$

MW = masa molecular = 449,2 g/mol para cianidina-3-glucósido;

FD = factor de dilución;

l = longitud de paso de celda en cm;

ϵ = 26900 (coeficiente de extinción molar) para cianidina-3-glucósido;

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos (mg).

Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se extrajeron 0,5 g de la muestra con 40 ml de una solución etanólica al 20% y pH 2. El efecto antioxidante de las muestras sobre el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se evaluó siguiendo la técnica de Gorriti Gutiérrez et al. (2009), los resultados se presentan en % de DPPH remanente después de 90 minutos. Los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue bloques completamente al azar, cada variedad representa un tratamiento. El análisis de comparación de medias de Tukey ($P < 0,05$) del contenido de fenoles, antocianinas y composición estructural fue realizado con el paquete estadístico Statistica13 (StatSoft, 2014), donde la variable independiente fue el color y las variables dependientes fueron los componentes estructurales, fenoles, antocianinas y DPPH. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación múltiple entre los componentes estructurales, y otro entre fenoles, antocianinas y DPPH. Así mismo, los datos de los componentes estructurales fueron normalizados por raíz cuadrada para la realización de dendogramas por el método de Ward.

Resultados y discusión

No se encontró interacción significativa entre genotipo y ambiente (R^2 : 0.002) en ambos ciclos de cultivo, por lo cual la media que se presenta es de ambos ciclos de cultivo.

Características estructurales

Los porcentajes de pedicelo en todas las variedades analizadas estuvieron comprendidos en un rango de 3,72 a 5,88%, siendo la variedad amarilla RS-25 la que presentó el mayor porcentaje de pedicelo. Estos valores son superiores al 2,0% que establece la industria de harina nixtamalizada, como el mínimo necesario para facilitar el moldeado de la masa y mejorar su textura (Vázquez Carrillo et al., 2003). No se observó correlación entre el pedicelo y el color del grano (Tabla 2), y en el dendrograma (Figura 1) se observa que se formaron 2 grupos mayores (distancia euclidiana de 13.5) y 4 subgrupos, dentro de los cuales están distribuidos todos los colores de granos.

Los valores de contenido de pericarpio de las variedades analizadas (Tabla 3) coinciden con los valores obtenidos de las variedades blandas reportadas por Vázquez Carrillo et al. (2003). Así mismo, Vázquez Carrillo et al. (2010) establecen que en esta estructura se encuentran las gomas que contribuyen a la cohesión de las partículas que constituyen la masa. El % del pericarpio no está correlacionado con el color del grano (Tabla 2). En el dendrograma se formaron 2 grupos mayores (distancia euclidiana de 11) y 4 subgrupos (Figura 2).

El porcentaje de embrión varió de 9,59 (FN-41, variedad blanca) a 6,4 (SJC-33, variedad blanca), el cual se relaciona con un mayor contenido de aceite en el grano lo que contribuye a una mejor textura de las tortillas y una mejor nutrición para los consumidores, debido a la cantidad de ácidos grasos insaturados y niveles elevados de antioxidantes naturales (Bressani, 2008). El % del embrión

no está relacionado con el color del grano (Tabla 2) y se observó en el dendrograma que en ambos grupos formados se encuentran diferentes colores; sin embargo, se observa una mayor fluctuación entre los granos de color blanco (Figura 3).

En cuanto al endospermo harinoso, el rango de los valores observados fue de 26,62 a 81,91% (Tabla 3). Se encontró una correlación entre el color del grano y la textura del grano, entre más oscuro es el grano es más suave, y entre más cristalino es más duro (Tabla 2). En el dendrograma se formaron dos grupos muy marcados con relación al endospermo harinoso, observándose, en general, que los granos de color negro tienen mucho más endospermo harinoso que los granos de otro color (Figura 4) (distancia euclidiana de 230), caso contrario con el endospermo córneo, donde los granos de color negro son los que menos endospermo córneo tienen (Figura 5).

De acuerdo con estos valores de endospermo córneo y harinoso, el maíz negro se ubica como variedad blanda debido al contenido de endospermo harinoso, por lo que puede ser utilizado en la industria del nixtamal, pero debido a que la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SAGARPA, 2002), establece que los granos con coloraciones negras están asociados a daños por calor, mientras que la presencia de coloraciones azules, moradas, anaranjadas o amarillas corresponden a granos contaminados con hongos, las variedades de color dentro de estas especificaciones encuentran un limitado campo de uso.

Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales, expresados como equivalentes de ácido tánico (TAE)/100 g de harina, estuvieron comprendidos entre 2813,7 y 5638,8 mg de TAE/100 g de harina. El valor más bajo correspondió a FN-42 (blanca) y el más alto a SNG-14 (blanca) (Tabla 4). No

Tabla 2. Correlación múltiple entre los componentes estructurales de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
 Table 2. Multiple correlation between the structural components of the grains of native corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media ^a	Color	Pedículo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
Color	2,46 ± 1,64	1,00					
Pedículo	4,17 ± 0,66	0,25	1,00				
Pericarpio	5,45 ± 0,64	-0,18	0,13	1,00			
Embrión	8,03 ± 0,85	-0,04	0,14	0,20	1,00	-	
Endospermo harinoso	44,83 ± 14,15	0,50	0,17	-0,30	-0,07	1,00	
Endospermo corneo	37,48 ± 14,08	-0,50	-0,23	0,24	-0,00	-0,99	1,00

Nivel de significación de 0.05.

^a Porcentaje de los componentes estructurales. El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

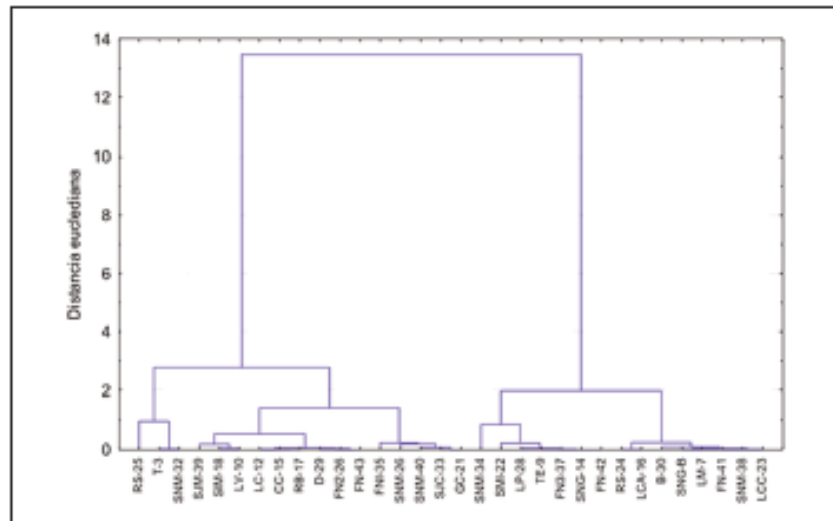


Figura 1. Dendrograma en base a los porcentajes de pedicelo de los maíces nativos del Estado de México.
 Figure 1. Dendrogram of native maize pedicel of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 3. Porcentaje de los componentes estructurales del grano de los maíces nativos del Estado de México, México
 Table 3. Structural components of native maize grain of the State of Mexico, Mexico

Código	Pedículo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
LCC-23	3,72	4,7	6,64	26,62	58,33
GC-21	4,35	6,78	8,2	41,65	38,62
FN-42	3,47	6,05	7,43	39,3	43,75
LCA-16	3,8	5,52	8,19	37,62	44,88
RS-24	3,81	5,72	6,48	50,24	33,75
SNM-40	4,4	4,91	7,48	50,61	32,61
SJC -33	4,35	4,74	6,4	43,74	40,73
LP-28	3,44	4,78	8,22	37,92	45,65
TE-9	3,46	5,89	8,38	41,31	40,95
FN1-35	4,23	6,02	8,41	32,75	48,59
SNM-38	3,73	6,78	8,44	35,84	45,22
FN-41	3,73	4,79	9,59	37,78	44,11
LM-7	3,71	5,57	8,83	38,24	43,65
SNG-14	3,47	6,04	9,4	33,73	47,37
SNM-32	5,16	5,41	9,3	68,7	11,42
FN-43	4,63	5,74	8,61	33,68	47,34
RB-17	4,62	5,56	6,41	35,71	47,7
LV-10	4,74	4,7	7,65	47,5	35,41
FN3-37	3,47	4,57	8,8	35,71	47,22
RS-25	5,88	5,57	8,91	32,76	46,87
SNM-26	4,5	5,3	7,21	81,91	1,08
SNG-B	3,71	4,32	7,81	80,28	3,88
T-3	5,14	5,47	8,05	53,73	27,61
FN2-36	4,63	4,65	8,46	67,86	14,4
CC-15	4,61	5,62	8,61	69,64	11,53
B-30	3,66	4,74	7,51	43,9	40,15
SML-22	3,33	5,56	7,19	50,46	33,46
SNM-34	2,92	5,24	7,56	39,33	44,95
SIM-18	4,77	5,79	8,62	35,25	45,57
D-29	4,65	5,62	8,59	37,33	43,81
LC-12	4,6	5,69	7,46	34,45	47,79
SJM-39	4,89	6,78	8,42	39,28	41,25

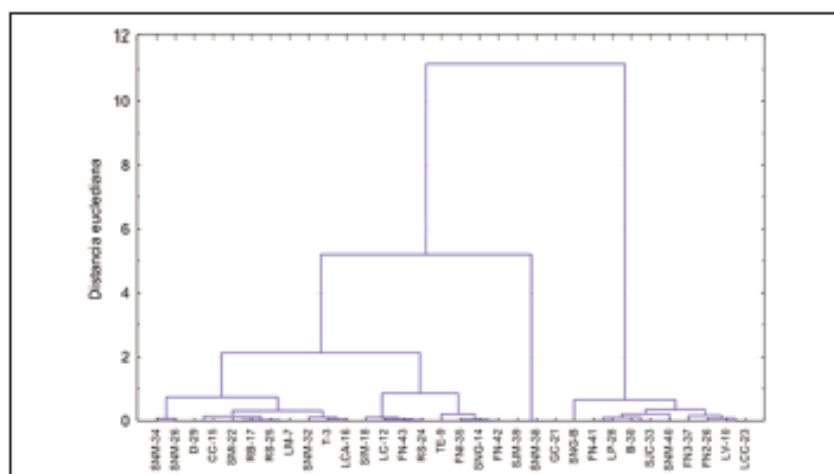


Figura 2. Dendrograma en base a los porcentajes de pericarpio de los maíces nativos del Estado de México.
 Figure 2. Dendrogram of native maize pericarp of the State of Mexico, Mexico.

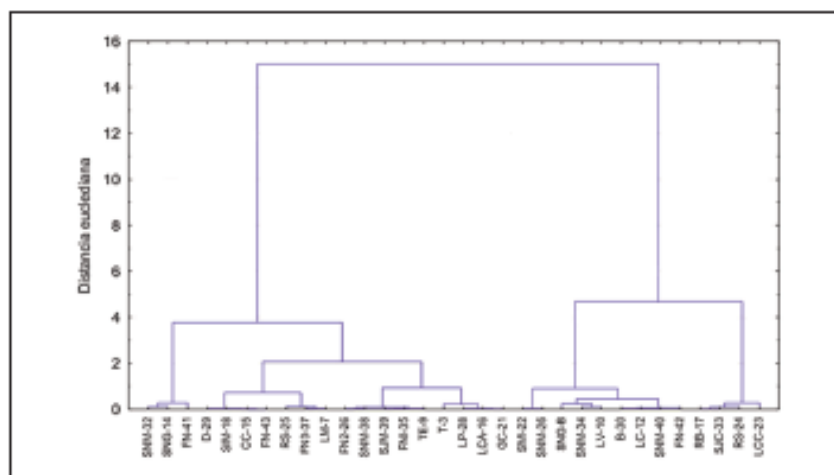


Figura 3. Dendrograma en base a los porcentajes de embrión de los maíces nativos del Estado de México.
 Figure 3. Dendrogram of native maize embryo of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 4. Contenido de fenoles totales, antocianinas y % de DPPH remanente del grano de las variedades de maíz nativo del Estado de México, México
 Table 4. Total grain phenols, anthocyanins and DPPH% remnant of native maize varieties from the State of Mexico, Mexico

Código	Fenoles, equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina)	Antocianinas, mg de cianidina-3-glucósido	DPPH, % de DPPH remanente
LCC-23	4998,1 ^a	6,79 ^{gh}	32,35 ^{ab}
GC-21	4242,5 ^{abcdeh}	4,56 ^{ijk}	29,73 ^{abcde}
FN-42	2813,7 ^{kl}	234 ⁿ	26,13 ^{bcdef}
LCA-16	4979,8 ^m	7,57 ^{fg}	13,29 ^g
RS-24	5091,2 ^{abcdeh}	2,45 ^{mno}	32,30 ^{abc}
SNM-40	4978,8 ^{abcde}	7,01 ^{gh}	27,46 ^{abcde}
SJC-33	5591,1 ^{abcdeh}	4,34 ^{klm}	32,39 ^{ab}
LP-28	3630,4 ^{ab}	3,68 ^{klmno}	22,96 ^f
TE-9	4510,6 ^l	2,67 ^{lmn}	26,04 ^{bcde}
FN1-35	4322,8 ^{efghijk}	2,67 ^{lmn}	32,04 ^{abc}
SNM-38	5057,2 ^{hijk}	4,79 ^{ijk}	33,08 ^a
FN-41	5093,2 ^{abcdeh}	3,12 ^{klmno}	23,15 ^f
LM-7	5183,8 ^{abcde}	4,01 ^{klmno}	22,68 ^f
SNG-14	5638,8 ^a	5,23 ^{hij}	21,49 ^f
SNM-32	4206,2 ^{kl}	5,23 ^{hij}	32,27 ^{abc}
FN-43	5171,8 ^{abcde}	2,67 ^{lmn}	25,20 ^{def}
RB-17	4249,8 ^{kl}	7,01 ^{gh}	29,65 ^{abcde}
LV-10	4354,2 ^{ghijk}	6,46 ^{ghj}	25,46 ^{def}
FN3-37	4576 ^{cdefghijk}	3,56 ^{klmno}	32,56 ^a
RS-25	4971,2 ^{bcdeh}	6,35 ^{ghj}	32,04 ^{abc}
SNM-26	4460,8 ^{efghijk}	21,71 ^b	30,90 ^{abcd}
SNG-B	3859,3 ^{kl}	16,36 ^c	25,91 ^{cdef}
T-3	4637,3 ^{cdefghijk}	13,36 ^d	22,08 ^f
FN2-36	4307,1 ^{ijk}	20,37 ^b	33,08 ^a
CC-15	4581 ^{cdefghijk}	9,35 ^{ef}	21,36 ^f
B-30	4351 ^{ghijk}	13,36 ^d	32,90 ^a
SML-22	4536,8 ^{bcdeh}	9,35 ^{ef}	29,96 ^{abcde}
SNM-34	5236,5 ^{abc}	21,26 ^b	32,28 ^{abc}
SIM-18	5589,3 ^{ab}	22,26 ^b	27,53 ^{abcde}
D-29	5234,2 ^{abc}	13,92 ^d	31,16 ^{abcd}
LC-12	5362,6 ^{ab}	21,71 ^b	25,47 ^{def}
SJM-39	5490,9 ^{ab}	25,04 ^a	24,27 ^{ef}

Las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna son estadísticamente iguales ($p < 0.05$).

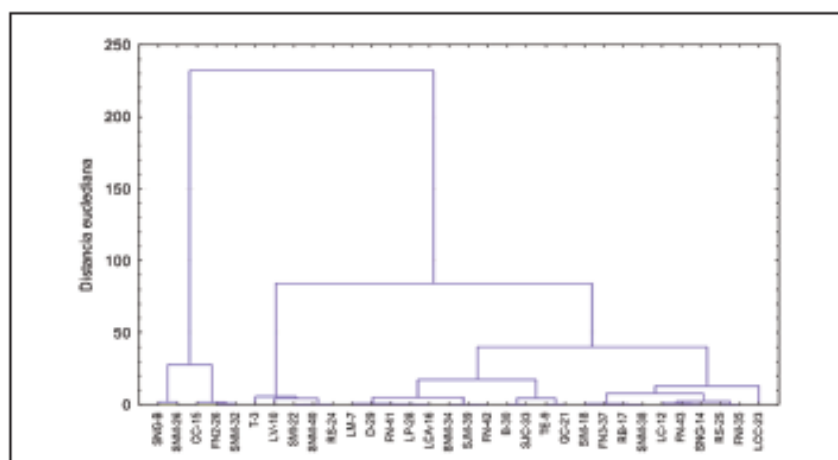


Figura 4. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo harinoso de los maíces nativos del Estado de México.
 Figure 4. Dendrogram of native maize flouy endosperm of the State of Mexico, Mexico.

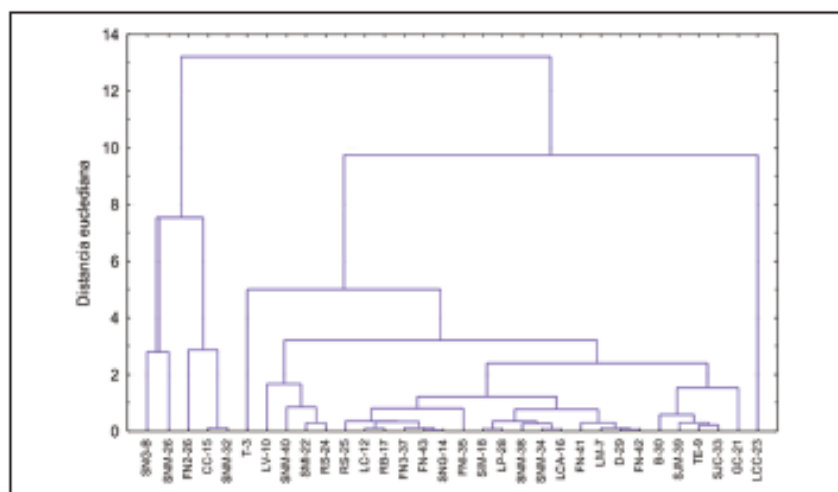


Figura 5. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo corno de los maíces nativos del Estado de México, México.
 Figure 5. Dendrogram of native maize flint endosperm of the State of Mexico, Mexico.

se encontró una relación significativa entre el color del grano y el contenido de fenoles totales (Tabla 5).

Los valores de contenido de fenoles del presente estudio son superiores a los encontrados por Escribano Ballón et al. (2004) para maíz morado (1776 mg/100 g de harina base seca) y los valores de contenido de fenoles de las variedades moradas fueron 30% menores a los 7694 mg/100 g de harina presentados por

Gorriti Gutiérrez et al. (2009), en extractos metanólicos de corontas de maíz morado. Asimismo, los valores son superiores a lo reportado por López Martínez et al. (2009) para 18 variedades de maíz mexicano, con un rango de entre 170 a 3,400 mg de harina/100 g de muestra. De acuerdo con Kim et al. (2003), los fenoles son útiles en los mecanismos de defensa bajo situación de estrés y contra el ataque de organismos patógenos (Bakan et al., 2003).

Tabla 5. Correlación múltiple entre color, fenoles, antocianinas y actividad antioxidante de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
Table 5. Multiple correlation between phenols, anthocyanins and antioxidant activity of native grains corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media ^a	Color	Fenoles ^b	Antocianinas ^c	DPPH ^d
Color	2,46 ± 1,64	1,00			
Fenoles ^b	4728,37 ± 623,32	0,00	1,00		
Antocianinas ^c	9,39 ± 7,15	0,81	0,23	1,00	
DPPH ^d	27,78 ± 4,78	0,09	-0,04	0,05	1,00

Nivel de significación de 0.05.

^a El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

^b El contenido de fenoles se presenta en equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina).

^c Las antocianinas se presentan en mg de cianidina-3-glucósido.

^d El DPPH (actividad antioxidante) se presenta en % de DPPH remanente.

Determinación de antocianinas

El contenido de antocianinas muestra valores comprendidos en un rango entre 2,45 a 25,04 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, correspondientes a las variedades RS-24 (blanca) y SJM-39 (morada), respectivamente (Tabla 4). Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de lo encontrado por López Martínez et al. (2009), en 18 variedades de maíz mexicano con un rango de entre 1,54 a 850,9 mg de cianidina-3-glucó-

sido/100 g de muestra, donde estas diferencias probablemente sean por la diversidad genética de las variedades utilizadas en este estudio. Del Valle Leguizamón et al. (2005), concluyen que la concentración y perfil de antocianinas varían entre especies, cultivares, estados de madurez, condiciones estacionales, y niveles de rendimiento. Además, la luminosidad y la temperatura son las principales variables ambientales que regulan la síntesis de estos compuestos; la primera la estimula y las altas temperaturas parecen inhibirla.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los fenoles totales presentes en los extractos de las diferentes variedades de maíz nativo, frente al radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), muestra valores de DPPH remanente entre 13,29 y 33,08%, para las variedades LCA-16 (blanca) y FN2-36 (morada) respectivamente (Tabla 4), valores consistentes con los encontrados por Gorriti Gutiérrez et al. (2009) para los extractos etanólicos de corontas de *Zea mays*.

El análisis estadístico muestra que no existe una relación directa entre el DPPH remanente (%) y el color del grano, contrario a lo que reportan varios autores (Tabla 5). Así mismo, tampoco se encontró una relación significativa entre la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante de las semillas en contraste a lo encontrado por Gorriti Gutiérrez et al. (2009), Netzel et al. (2007) y Cal et al. (2004), quienes encontraron una correlación entre fenoles totales y el contenido de antioxidantes, en contraste nuestros resultados indican que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante en estos granos.

Conclusiones

Los maíces negros son de textura suave, y con alto contenido de almidón, además presentan la mayor actividad antioxidante, por lo tanto tienen alto potencial de alimento biofuncional.

El contenido de fenoles totales de las muestras de maíz analizadas es alto, esto puede estar relacionado con la resistencia a sequías, heladas y plagas que se ha observado en estas variedades.

No se encontró correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales, lo que sugiere que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a Jarinzi Corona Terán, para la realización de sus estudios de Doctorado. A la SEP en su programa PIFI 2009-2010 por el financiamiento para el desarrollo del proyecto "Análisis de la diversidad genética de maíz" y a la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo complementario para la realización del trabajo de investigación, con su programa de fortalecimiento a cuerpos académicos de calidad.

Bibliografía

- Aragón Cuevas F, Taba S, Hernández Casillas J M, Figueroa Cárdenas J D, Serrano Altamirano V (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto N° CS002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 119 p.
- Bakan B, Bily A, Melcion D, Cahagnier B, Regnault-Roger C, Philogene B, Richard-Molard D (2003). Possible role of plant phenolics in the production of tricho-thecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2826-2831.
- Blasco León (2010). Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.): implicaciones fisiológicas y nutricionales. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiología Vegetal. España. 221 p.
- Boyer CD, Hannah LC (2001). Kernel mutants of corn. In: Hallauer, A. R. (ed.). *Specialty Corns*. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. EE.UU. p. 1-31.
- Cabrera Soto ML, Salinas Moreno Y, Velázquez Cardelas GA, Espinosa Trujillo, E (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia* 43: 827-839.

- Cai Y, Luo Q, Sun M, Corke H (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences* 74: 2157-2184.
- Cuevas Montilla E, Antezana A, Winterhalter P (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. *Red Alfa Lagrotech. Memorias. Colombia*. 79-95.
- Del Valle Leguizamón G, González León A, Bález Sañudo R (2005). Antocianinas en uva (*Vitis vinifera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 359-368.
- Escribano Bailón MT, Santos Buelga C y Rivas Gonzalo JC. 2004. Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A* 1054: 129-141.
- Gorriti Gutiérrez A, Arroyo Acevedo J, Negrón Ballarte I, Jurado Teixeira B, Purizaca Lajaruna H, Santiago Aqise I, Taype Espinoza E, Quispe Jacobo F (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.). *Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6): 509-518.
- Kim DO, Chun OK, Kim YJ, Moon HY, Lee CY (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(22): 6509-6515.
- Kuskoski E M, Asuero AG, García Parrilla MC, Troncoso AM, Fett R, (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antocianínicos. *Ciencia e Tecnología de Alimentos* 24: 691-693.
- Larson J (2008). Importancia de la conservación del maíz. En: Taller sobre agrobiodiversidad en México: el caso del maíz incentivos para la conservación, memorias. INE-SEMARNAT. 50 p.
- Lazos Chavero E (2008). La Fragilidad de la biodiversidad. Semillas y suelos entre una conservación y un desarrollo empobrecido. En: Desde los colores del maíz. Una agenda para el campo mexicano (Coord. Luis Seefoo Luján), vol II, El Colegio de Michoacán, México, p. 457-488.
- Leyva DE (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales, y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México. 69 p.
- Leyva Ovalle OR, Carballo Carballo A, Mejía Contreras JA, Vázquez Carrillo MG (2002). Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 355-365.
- Liu RH 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. *The American Journal of Clinical Nutrition* 134: 3479S-3485S.
- López Martínez LX, Oliart Ros RM, Valerio Alfaro G, Lee C H, Parkin KL, García HS (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *Food Science and Technology* 42: 1187-1192.
- Makkar HPS (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage. A Laboratory Manual for the FAO/IAEA. FAO/IAEA. Viena, Austria, 40 p.
- Matsuoka Y (2005). Origin matters: Lessons from the search for the wild ancestor of maize. *Breeding Science* 55(4): 383-390.
- Miguel MA, Arellano Vázquez JL, García de los Santos G, Miranda Collin S, Mejía Contreras JA, González Cosío FV (2004). Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 9-15.
- Netzel M, Netzel G, Tian Q, Schwartz S, Konczak I (2007). Native Australian fruits – a novel source of antioxidants for food. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8: 339-346.
- Pérez de la Cerda FJ, Carballo Carballo A, Santacruz Varela A, Hernández A, Celestino J, Moreno M (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica En México* 33(1): 53-61.
- Ruiz Torres NA, Rincón Sánchez F, Hernández López VM, Figueroa Cárdenas JD, Loarca Piña MG (2008). Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3): 29-34.
- SAGARPA (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Es-

- pecificaciones y Métodos de prueba. Ed. SAGARPA, Mexico, D.F. 18 p.
- Sánchez GJ, Goodman MM, Stuber CW (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economy Botany* 54: 43-59.
- Suárez RF, Morales LA, Gálvez A (2013). Importance of mexican maize landraces in the national diet. An essential review. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3.A): 275-283.
- StatSoft, Inc. 2014. STATISTICA (data analysis software system), Version 13.
- Vázquez Carrillo MG, Guzmán Báez L, Andrés García J. L, Márquez Sánchez E, Castillo Merino J (2003). Calidad de grano y tortillas de malces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(4): 231-238.
- Vázquez Carrillo MG, Pérez Camarillo JJ, Hernández Casillas JM, Marrufo Díaz MI, Martínez Rutz E (2010). Calidad de grano y de tortillas de calces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 49-56.
- (Aceptado para publicación el 8 de noviembre de 2016)

7.2. Determinación de los aspectos socioeconómicos y geográficos vinculados a las unidades familiares campesinas y al maíz nativo en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México.

Se determinaron los factores de manejo y usos que permiten la diversidad y la conservación del maíz nativo en el municipio de San Felipe del Progreso, México. El tiempo promedio que llevan sembrando las variedades es de 20 años. Las variedades locales que se siembran son: cacahuacintle, blanco, negro y sus combinaciones, tales como, blanco-negro-amarillo, blanco-negro-rosado, blanco-negro, blanco-negro-cacahuacintle, blanco-negro-rosado-amarillo y blanco-negro-rosado-pinto. Se siembran en asociación con: el frijol, la calabaza y el haba. El establecimiento de estas semillas se realiza de acuerdo a las preferencias de los agricultores basándose en sus necesidades de consumo. En este sentido, los campesinos aprecian una serie de atributos de los maíces nativos, tales como, sabor, color, textura, tamaño, precocidad en la producción y/o capacidad para soportar condiciones climáticas y de suelo adversas. Sólo el 0.63% de la cosecha se destina a la venta.

Los resultados completos se encuentran referidos en el artículo intitulado “Diversidad y conservación del maíz nativo en San Felipe del Progreso, México”; el cual fue enviado a la revista “Nova Scientia”.

Revista Electrónica Nova Scientia

Diversidad y conservación del maíz nativo en San
Felipe del Progreso, México

Diversity and conservation of native corn in San
Felipe del Progreso, México

**Jarinzi Corona-Terán¹, Eufemio Gabino Nava-Bernal²,
Sergio de Jesús Romero-Gómez³, Ángel Roberto
Martínez-Campos^{2*}.**

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo

² Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias
Agropecuarias y Rurales. Km. 14.5 Autopista Toluca-Atzacomulco. San
Cayetano de Morelos. Toluca, Estado de México. CP 50295. Fax; (011-52)
722 1806124; phone number; (011-52) 722 2965552

³ Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. Av. Hidalgo
S/N, Col. Niños Héroes. Querétaro, Qro. CP 76010

México

Angel Roberto Martínez Campos: amartinezo@uaemex.mx, amartimacar@yahoo.com.mx

© Universidad De La Salle Bajío (México)

1

Resumen

En México, el maíz es el cultivo agrícola más importante. Se cultiva en la mayoría de los estados en una amplia gama de condiciones climáticas, desde el nivel del mar hasta altitudes mayores a los 2,500 m. La diversidad de maíz, está ligada a la cultura e identidad de los mexicanos y constituye un elemento importante de la alimentación nacional. El objetivo de este estudio fue de determinar los factores de manejo y usos que determinan la diversidad y la conservación del maíz nativo en el municipio de San Felipe del Progreso, México. Se utilizó el método de muestreo dirigido a 156 agricultores. La recopilación de datos se llevó a cabo a través de un cuestionario a informantes clave. La información obtenida se analizó en el programa estadístico SPSS 23.0.0. El tiempo promedio que llevan sembrando las variedades es de 20 años. Las variedades locales que se siembran son: cacahuacintle, blanco, negro y sus combinaciones, tales como, blanco-negro-amarillo, blanco-negro-rosado, blanco-negro, blanco-negro-cacahuacintle, blanco-negro-rosado-amarillo y blanco-negro-rosado-pinto. Se siembran en asociación con: el frijol, la calabaza y el haba. Sólo el 0.63% de la cosecha se destina a la venta.

Abstract

In Mexico, corn is the most important agricultural crop. It is grown in most states on a wide range of climatic conditions, from sea level to altitudes greater than 2,500 m. Maize diversity, is linked to the culture and identidad of Mexican and constitutes an important element of national power. The aim of this study is to determine management factors and uses that determine the diversity and the conservation of native maize in the municipality of San Felipe del Progreso, Mexico. Purposive sampling method is used to 156 farmers. Data collection was conducted through a questionnaire to key informants. The information obtained was analyzed in the statistical program SPSS 23.0.0. The average time leading varieties sowing is 20 years. Local varieties grown are: cacahuacintle, white, black and different combinations, such as-black-pink white-black white-black-cacahuacintle white-black-yellow white,, black-white-pink are also performed and white-black-yellow-pink-painted. They are grown in association with other species, such as beans, squash and bean. Only 0.63% of the crop is intended for sale.

Introducción: En la actualidad existe un interés por conocer todos los aspectos que se relacionen con el uso, mejoramiento y conservación de la agrobiodiversidad dentro de los centros de domesticación de las plantas (Jarvis et al., 2000). La importancia de esta agrobiodiversidad radica en que es parte del alimento y patrimonio de la humanidad y es fuente principal de genes para generar nuevas y mejores variedades. Además, es necesario conservar las especies cultivadas en áreas de domesticación, lugares que han sido su hábitat original y en donde han evolucionado por miles de años (Brush, 2000).

Gran parte de esta agrobiodiversidad ha sido cultivada y conservada por pequeños agricultores que viven dentro de las áreas de domesticación, quienes dependen de sí mismos para obtener semilla de su propia cosecha (Badstue et al., 2003). Para estos agricultores las variedades sembradas, además de formar el capital agrícola, adquieren importancia porque son parte de su fuente principal de alimentación.

En México, el maíz es el cultivo agrícola más importante debido a que constituye el alimento básico de la población; las costumbres y la cultura van ligadas a su cultivo (Aragón et al, 2005). El maíz es más que un cultivo, es un elemento central en los hábitos culinarios de las poblaciones rurales y urbanas, y parte de la historia y la vida diaria de los mexicanos: su economía, su religión y su cosmovisión (Ribeiro, 2004).

Los maíces nativos de México, se desarrollan en sistemas tradicionales, donde su producción se combina con el cultivo de otros productos en la milpa y se encuentran amenazados por diferentes factores: migración, bajos precios, políticas gubernamentales, altos costos de la producción, sequías, nuevas variedades, sustitución de los cultivos por otros más rentables (Aragón et al., 2005; Larson, 2008). Son los agricultores de subsistencia, quienes han logrado diversificar las variedades de maíz, de acuerdo con las características de su preferencia, tales como: color de grano, tolerancia a la sequía, resistencia a insectos, capacidad para ser almacenadas y el

sabor que dan a las tortillas (Bellon *et al.*, 2005, Espinosa *et al.*, 2010), las cuales se han adaptado a las más diversas y adversas condiciones agroclimáticas.

La diversidad de maíces que utilizan los campesinos indígenas de México, es amplia, la cual incluye una diversidad de colores: blanco, rojo, amarillo, azul, negro y jaspeado (Ribeiro, 2004); y es usada en cada región como grano tierno (elote y esquites), pinole, atoles, pozol, para la preparación de tamales y tortillas, azúcares, totemoxtle y para la alimentación del ganado, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2012).

Los campesinos marginales, habitan regiones agrícolas con topografía accidentada, temporal errático, suelos erosionados, de baja fertilidad; siembran semillas nativas de maíz y sus cultivos asociados bajo el sistema de milpa, empleando técnicas ancestrales basadas en el conocimiento milenario de la naturaleza con poco impacto sobre el medio (Gómez y Gómez, 2006). Además de que las semillas que utilizan están mejor adaptadas a las sequías, suelos pobres y a los enemigos naturales (Bernardo, 2011).

Por todo lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo describir, el manejo del cultivo así como los usos que los campesinos le dan a las variedades nativas de maíz, los cuales permitan conocer dicha diversidad así como las prácticas que coadyuvan en su conservación, mismas que son realizadas por las comunidades de San Felipe del Progreso, México.

Materiales y métodos

Área de estudio y población: El área de estudio se localiza en el municipio de San Felipe del Progreso, al noroeste del estado de México. Entre los 19° 43' de latitud norte y 99° 57' de longitud oeste. Su topografía se caracteriza por contar con un sistema montañoso de mediana altura. Este municipio es el segundo en extensión territorial en el estado de México, sólo después de Tejupilco, posee 856.05 km². El clima predominante es el templado sub-húmedo con lluvias en verano. La temperatura anual varía entre los 12 y los 18°C, sin embargo, se registran temperaturas mínimas de 2 y

máximas de 28°C. Las lluvias son abundantes en julio, agosto y septiembre (INEGI, 2015).

La zona de estudio tiene 86 localidades dispersas de forma heterogénea en todo el territorio municipal y conforme a la tipología del Instituto de Administración Pública del Estado de México A.C, es un municipio rural que presenta una baja densidad de población y de alta marginación (284 habitantes por km²), (INEGI, 2015).

San Felipe del Progreso tiene una población de 121,396 habitantes (63 223 mujeres y 58 173 hombres), de la cual se calcula una población indígenas mazahuas de 92% (INEGI, 2015). La mayoría de los habitantes se dedican a la agricultura de subsistencia, la fuerza de trabajo es aportada por la unidad familiar (INEGI, 2015).

La mayor parte de la actividad económica se encuentra dedicada al sector primario, sin embargo, también se aporta el factor humano a las actividades del sector secundario, las que se llevan a cabo en los municipios vecinos, Atlacomulco y Jicotitlán. Algunas de las principales actividades del municipio se refieren al cultivo de maíz de grano, avena forrajera, haba en grano, maíz forrajero, tomate y jitomate. En el año 2013, se estimó una producción de maíz en grano de 75,674 ton/ha (SIAP-SAGARPA, 2013).

En la metodología empleada en la investigación, se estimó el tamaño de la muestra mediante un muestreo dirigido, identificando los informantes clave que fueron reconocidos como productores de semilla. Se aplicaron entrevistas a 156 productores de maíz nativo. La entrevista consideró variables socioeconómicas, tales como: nombre, sexo, edad, tiempo de vivir ahí, escolaridad, actividad económica, número de integrantes familiares; condiciones del terreno: superficie, temporal o riego; manejo del cultivo: actividades realizadas y fechas; así mismo se investigaron las estrategias de conservación: tipo de maíz utilizado, color, antigüedad de la colección y los usos finales dados al maíz. Los resultados obtenidos de las entrevistas se procesaron en el paquete estadístico IBM SPSS 23.0.0.

Resultados y discusión

Aspectos socioeconómicos: De los 156 productores entrevistados, 126 fueron hombres y 30 mujeres, de acuerdo a los resultados, se determinó que en promedio los productores han radicado en la zona por 49 años. La edad de los entrevistados fluctuó entre 22 y 65 años, la moda fue de 60 años, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Damian et al. (2007); quienes en un estudio realizado con agricultores de maíz en Tlaxcala, concluyen que la mayoría de los agricultores son adultos mayores, y no hay presencia de los jóvenes en el cultivo, por lo que, la renovación generacional se presenta de forma lenta.

Su escolaridad es de nivel primaria (76%), aunque se encontraron productores que habían estudiado el nivel medio superior (2.5%), y productores analfabetas (15%). Lo que indica que el nivel de escolaridad, en general es bajo, el cual influye en forma negativa en la productividad agrícola e impacta en la conservación del recurso, debido a que desconocen la existencia de programas gubernamentales que incentivan al sector, y por lo tanto, la forma de acceder a dichos programas. Las familias están constituidas por 3 integrantes (10.3%), 4 integrantes (14.7%), 5 integrantes (41%), y más de 6 integrantes el resto (16%), 7 integrantes (13.5%) y 8 integrantes (4.5%). Por más de 6 integrantes (suma del resto)

Los productores entrevistados tienen un fuerte arraigo en sus actividades agrícolas dado que la principal actividad económica corresponde a la agricultura (46.2%), y por lo tanto, la única fuente de ingresos. Sin embargo, llegan a realizar diversas actividades para complementar sus ingresos, tales como: la albañilería (5.8%), el comercio (2.6%), también realizan labores como jornaleros (24.4%) y mecánicos (2.6%). En este sentido, Sacco y Velleda (2007) mencionan que en la agricultura familiar, la pluriactividad es un fenómeno que forma parte de las estrategias de supervivencia adoptadas por los pequeños agricultores para garantizar el bienestar de sus familias, y se han desarrollado mediante la combinación de diversas actividades económicas, agrícolas y no agrícolas, lo que coincide con lo encontrado en este estudio.

En el caso de las mujeres, éstas se dedican al cuidado de su hogar (18.6%). Altieri et al. (2012) en un estudio realizado determinaron que las mujeres rurales han llevado tradicionalmente la mayor parte de las actividades de conservación de la biodiversidad agrícola. Por lo que sugieren que son una fuente importante de conocimiento sobre la conservación de las semillas, el cultivo y la gastronomía basada en los cultivos locales Sin embargo, en este caso los hombres son los que han conservado la biodiversidad (81.4%).

Condiciones del terreno: Los entrevistados consideran que el terreno en donde siembran las variedades de maíz nativo presenta buenas condiciones de fertilidad (100%), la mayor parte de los terrenos se encuentra en condiciones de planicie (98.7%) y sólo el 2.3% se encuentra en ladera, y el 100% corresponde a terrenos de temporal.

El tipo de suelo corresponde a tierra polvillo (98.7%) mientras que el 2.3% es pedregoso. El 39.8% de los entrevistados tienen parcelas cuya superficie corresponde a 0.25 hectáreas, el 33.3% poseen terrenos con una superficie de 0.5 hectáreas, el 1.3% tienen parcelas de 0.75 hectáreas, el 16% corresponde a terrenos de 1 hectárea, el 1.3% poseen parcelas de 1.25 hectáreas y el 8.3% a 1.5 hectáreas. Lo anterior es un indicador para mencionar que la producción de maíz se inclina hacia la agricultura de subsistencia, lo que coincide con (Ramos et al., 2012), debido a que se desarrolla en terrenos de pequeña superficie.

Manejo del cultivo: Se observó que la preparación del suelo básicamente consiste en la realización del barbecho, y éste se lleva a cabo en los meses de febrero (50%) y marzo (50%). Se realiza con la ayuda de animales. El barbecho es una práctica importante en la agricultura, debido a que de esta manera se incorporan los residuos orgánicos de las cosechas anteriores, mejorando la fertilidad del suelo. El 98% de los entrevistados no llevan a cabo las actividades de rastra ni de escarda; al realizar esta práctica, se incorporan los residuos de la cosecha anterior, en forma de mantillo protector del suelo y se disminuye el riesgo de erosión, lo que coincide con López et al. (2000) quienes mencionan que el sistema de labranza de conservación reduce la

erosión del suelo hasta 95% y permite captar una mayor cantidad de agua de lluvia, para una mejor infiltración que será necesaria en el cultivo posterior. El 1% de los entrevistados realizan la escarda en el mes de mayo y el resto en el mes de junio.

El total de los productores, realiza la siembra en el mes de abril, sin distinción entre las variedades, lo que sugiere que los productores desconocen el riesgo de autofecundación de esta práctica, sin embargo, como lo indican Ferro et al. (2013) esta condición puede conducir a una depresión consanguínea y puede ser una de las principales amenazas a la supervivencia de las poblaciones, además de que condiciona la viabilidad y el éxito en la conservación (García, 2008). En el mes de mayo realizan la fertilización, por única ocasión. En el mes de julio se lleva a cabo la actividad de deshierbar y en el mes de noviembre se realiza la cosecha.

Por otro lado, las diversas actividades del cultivo se realizan con mano de obra familiar (100%), lo que concuerda con Ramos et al. (2012) quienes determinaron que el productor que es propietario de una pequeña extensión de tierra, se vale de la fuerza de trabajo familiar para obtener la producción que consumirá la familia, además de que constituye un elemento clave que les permite trabajar la tierra ante la falta de dinero para el pago de jornales.

Usos de las variedades locales: Las variedades locales que se siembran son: cacahuacintle (1.3%), blanco (38.5%), negro (9.6%) y también se realizan diferentes combinaciones, tales como, blanco-negro-amarillo (14.7%), blanco-negro-rosado (5.8%), blanco-negro (12.2%), blanco-negro-cacahuacintle (9%), blanco-negro-rosado-amarillo (4.5%) y blanco-negro-rosado-pinto (4.5%), (Cuadro 1). El establecimiento de estas semillas se realiza de acuerdo a las preferencias de los agricultores basándose en sus necesidades de consumo. En este sentido, los campesinos aprecian una serie de atributos de los maíces nativos, tales como, sabor, color, textura, tamaño, precocidad en la producción y/o capacidad para soportar condiciones climáticas y de suelo adversas.

Los campesinos al tiempo de aprovechar su parcela también conservan la agrobiodiversidad de su entorno (Ortiz-Timoteo et al., 2014). Además de que las

variedades locales son preferidas por los pequeños agricultores para la producción y el consumo (Badstue et al., 2007). Por otro lado, a pesar de la disponibilidad de semillas mejoradas, los agricultores de escasos recursos, no tienen la posibilidad de adquirirlas, lo que hace que se sigan manteniendo las semillas adaptadas localmente (Breton et al., 2012, Acosta et al., 2007).

Al mismo tiempo, los agricultores se benefician de esta diversidad, debido a que hacen uso de la semilla de maíz que se adapta mejor, lo cual puede tener un impacto en la conservación como fuente de diversidad genética (Smale et al., 2001). Por lo que la conservación *in situ* de los recursos genéticos ha sido reconocida como una estrategia que coadyuva a la conservación de los mismos (Bellon et al., 2003).

Cuadro 1. Se muestran las combinaciones de maíz que se llevan por parte de los agricultores.

Combinaciones de maíz	Porcentaje
Cacahuacintle	1.3
Blanco, negro, amarillo	14.7
Blanco, negro, rosado	5.8
Negro	9.6
Blanco, negro	12.2
Blanco	38.5
Blanco, negro, cacahuacintle	9.0
Blanco, negro, rosado, amarillo	4.5
Blanco, negro, rosado, pinto	4.5

Fuente: trabajo de campo.

De acuerdo con los entrevistados, las variedades tienen un rendimiento de 2 ton/ha, de las cuales el 0.6% de los productores vende el 50% de su producción con un costo de

\$7.00/kg. Dado que sólo el 0.63% de la cosecha se destina a la venta, entonces se obtiene un ingreso anual de \$3,780.00; (Cuadro 2). Lo que implica que no se obtiene un beneficio económico por la siembra de este recurso. El destino de las variedades de maíz es predominantemente para autoconsumo y se destina para la alimentación tanto de humanos como de animales, y se utiliza mano de obra familiar, lo que coincide con Osorio *et al.* (2015) quienes en un estudio realizado en relación a la producción de maíz, demostraron que los campesinos utilizaban variedades nativas y destinaban la producción para el consumo familiar, la alimentación de animales, y en menor proporción, la venta.

Cuadro 2. Utilidades económicas por concepto de la venta del maíz.

Conceptos	Valores
1. Valor de la producción	
a) Rendimiento:	2000 Kg/Ha
b) Precio de venta:	\$7 por Kg
2. Producción destinada a la venta	540 kg
3. Ingreso obtenido de la venta	\$3,780.00

Fuente: Resultados obtenidos con base en la información aplicada a los entrevistados.

Las variedades nativas son de origen familiar, les fueron heredadas de padres a hijos. El tiempo promedio que llevan sembrando las variedades, es de 20 años, con un mínimo de 5 años y un máximo de 45 años. Esta práctica proporciona una mayor seguridad al agricultor, porque conoce su manejo. Lo que concuerda con Badstue *et al.* (2007) debido a que se muestra el principio básico del sistema local de semillas, que es la dependencia de los agricultores en la selección y conservación de las semillas de la cosecha anterior. Asimismo, las características que determinan el uso de semillas criollas puede deberse a que estas especies poseen mejores capacidades de adaptación tanto a sequías, suelos pobres y condiciones climáticas extremas, incluso son más resistentes a plagas (CONABIO, 2008; Keleman *et al.*, 2009).

Las cualidades que son apreciadas por los agricultores y que son el motivo por el cual se siguen sembrando las variedades de maíz nativas, son las siguientes; el maíz blanco se prefiere por su rendimiento en la elaboración de las tortillas, el maíz negro es empleado en la elaboración de tortillas y es apreciado por su sabor, además se utiliza también para tamales, sin embargo, es un grano que es susceptible a las plagas de almacén. El maíz amarillo, el cual pertenece a los maíces con mayor porcentaje de almidón córneo, es preferido para la alimentación de los animales, y no para la elaboración de tortillas debido a que produce una masa más dura. El maíz cacahuacintle se siembra para la elaboración de un platillo especial como es el caso del pozole. Los maíces pinto y rosado se utilizan también para la elaboración de tortillas. Las semillas que son cosechadas y que no cumplen con los requerimientos para la alimentación humana, no se desechan, sino más bien se destinan como alimento de animales, lo que concuerda con Mapes y Mera (2009) quienes determinan que el agricultor selecciona las variedades que va a sembrar de acuerdo a los requerimientos de producción (factores ambientales) y de la economía del hogar (usos y venta de excedentes, si los hay), así como también mencionan que los criterios de selección incluyen las preferencias de consumo.

Las variedades de maíz se siembran en asociación con otras especies, como el frijol, la calabaza y el haba (Cuadro 3). La domesticación del maíz, frijol y calabaza, permitió a los primeros agricultores, establecer una forma de cultivo simbiótica conocida comúnmente como milpa. Ek Dzib et al., 2012; mencionan que el maíz es el eje de la milpa, mientras que el frijol y la calabaza son parte fundamental de esta forma de policultivo que aún persiste en algunas comunidades indígenas y campesinas de México; como se muestra en este estudio. Además de que en dichas prácticas se involucran una diversidad de conocimientos tradicionales, generados durante siglos, y que en este caso, se encuentran representados por la milpa (Ortiz-Timoteo et al., 2014).

Cuadro 3. Asociación del maíz nativo con otros cultivos.

Otros cultivos	Porcentaje
Sin cultivo	0.6

Frijol, haba	53.2
Frijol, haba, calabaza	46.2

Fuente: trabajo de campo.

Como lo demuestran Altieri *et al.* (2012) esta estrategia de asociar los cultivos tiene la ventaja de aumentar la producción al aprovechar al máximo los recursos naturales; así como también, esta diversidad está dotada de nutrientes enriquecedores para las plantas, polinizadores y fijadores de nitrógeno, los cuales realizan diversas funciones ecológicas beneficiosas, además de que es empleada como una estrategia de alimentación para la familia, debido a que complementa la dieta al interior de la misma.

En policultivos desarrollados por los pequeños productores, la productividad en términos de productos cosechables por unidad de área es mayor que en un monocultivo con un mismo nivel de gestión (Donward, 1999). Además reducen las pérdidas debidas a las malezas, insectos y enfermedades y hacen un uso eficiente de los recursos disponibles de agua, luz y nutrientes (Altieri *et al.*, 2012).

Conclusiones: La diversidad de maíz cultivada por agricultores del municipio de San Felipe del Progreso, México, proviene de la siembra del ciclo anterior y es mantenida por largos períodos de tiempo. Esta diversidad indica que los campesinos siembran variedades de maíz nativo debido a los diferentes usos que le dan, que son tanto para la alimentación humana como la animal. Su cultivo es un reflejo de una práctica tradicional, como lo es la milpa, lo que representa una fuente importante de alimento. El destino de la producción es para el autoconsumo, por lo que no representa un ingreso económico, sin embargo, la preferencia para seguir sembrando las semillas nativas es debido a que constituyen una fuente de alimentación para los agricultores y sus familias; lo cual contribuye de manera significativa a la conservación de las variedades nativas de maíz.

Palabras clave: campesinos, maíz, diversidad, manejo, usos.

Keywords: farmers, maize, diversity, management, uses.

Agradecimientos:

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a Jarinzi Corona Terán, para la realización de sus estudios de Doctorado durante el Periodo 2010-2012.

A la SEP en su programa PIFI 2009-2010 por el financiamiento para el desarrollo del proyecto "Análisis de la diversidad genética de maíz" y a la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo complementario para la realización del trabajo de investigación, con su programa de fortalecimiento a cuerpos académicos de calidad.

Referencias

- Acosta, R.; Ríos H.; Kessel, A.; Martínez, M. y Ponce, M. (2007). Selección participativa de germoplasma cubano de maíz (*Zea mays*, L.) en el sistema local de Batabanó, La Habana. *Cultivos Tropicales*. 28 (2): 63-70.
- Altieri, M.A.; Funes, M. F. R. y Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*. 32: 1-13.
- Appendini, K.; García, B. R. y Tejera, B. (2003). Seguridad alimentaria y "calidad" de los alimentos: ¿una estrategia campesina? *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe*. 65-83.
- Aragón, C. F.; Taba S.; Hernández, C. J. M.; Figueroa, C. J.D. y Serrano, A. V. (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto N° CS002. México.
- Badstue, L. B.; Bellon, M. R.; Juárez, X.; Manuel, I. y Solano, A. M. (2003). Social relations and

- seed transactions among smallscale maize farmers in the Central Valleys of Oaxaca. Economics Working Paper 02/02. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México. D. F.
- Badstue, L. B.; Bellon, M. R.; Berthaud, J.; Ramírez, A.; Flores, D. y Juárez, X. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the central valleys of Oaxaca, Mexico. *World Development*. 35: 1579-1593.
- Báez, L. (2012). Hidalgo y sus regiones: una aproximación. En los pueblos indígenas de Hidalgo. Atlas Etnográfico. Gobierno del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). México. D. F.
- Bellon, M. R.; Berthaud, J.; Smale, M.; Aguirre, J. A.; Taba, S.; Aragon, F.; Diaz, J. y Castro, H. (2003). Participatory landrace selection for on-farm conservation: an example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50: 401-416.
- Bernardo, H. M. J. (2011). El cuidado de las semillas nativas y su importancia en procesos de agroecología: pequeños productores de Jalisco. En: *Haciendo milpa, la protección de las semillas y la agricultura campesina*. Álvarez-Buylla Rocas, Areli Carreón García, Adelita San Vicente Tello; compiladores. UNAM. México.
- Breton, O. M.; Morris, K. S. y Méndez, V. E. (2012). Cultivation of maize landraces by small-scale shade coffee farmers in western El Salvador. *Agricultural Systems*. 111: 63-74.
- Brush, S. B. (2000). *Genes in the field. On-farm Conservation of Crop Diversity*. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida, USA.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2008). Documento 1: Información biológica-agronómica básica sobre los maíces nativos y sus parientes silvestres. Documento de trabajo para el taller: Agro diversidad en México: el caso de Maíz. INE, CONABIO, SAGARPA.

- Damian, H. M. A.; Ramírez, V. B.; Parra, I. F.; Paredes, S. J. A.; Gil, M. A.; Cruz, L. A. y López,
O. J. F. (2007). Apropriación de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica en México* (33): 163-173.
- Doward, A. (1999). Farm size and productivity in Malawian smallholder agricultures. *Journal of Development Studies*. 35: 141-161.
- Ek Dzib, J. V.; Hernández, B. I. y Noriero, E. L. (2012). La milpa en Yucatán, desde una perspectiva del buen vivir. *Veredas. Especial*: 193-210.
- Espinosa, T. E.; Mendoza, C. M. C.; Castillo, G. F.; Ortiz, C. J. y Delgado, A. A. (2010). Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33 (1): 11-19.
- Ferro, V. E.; Chirino, G. E.; Márquez, S. M.; Ríos, L. H.; Mirabal, B. E.; Guevara H. F. y Alfaro, H. F. (2013). Experiencias obtenidas en el desarrollo participativo de híbridos lineales simples de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de bajos insumos agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 34 (2): 61-69.
- Gacia, D. A. (2008). A simple method to account for natural selection when predicting inbreeding depression. *Genetics*. 180: 1559-1566.
- Gómez, E. J. A. y Gómez, G. G. (2006). Saberes tradicionales agrícolas indígenas y campesinos: rescate, sistematización e incorporación a las IEAS. *Ra Ximhai*. 2 (1): 97-126.
- Hernández, X. E. (1985). Maize and man in the greater southwest. *Economic Botany*. 39(4): 416-430.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). Catálogo de entidades federativas, municipios y localidades.
- IBM SPSS Statistics. (2014). User's Guide, Software versión 23.0.0. USA.

- Jarvis, D. (2000). Farmer decisions making and genetic diversity: Linking multidisciplinary
Research to implementation on-farm. *In*: S. B. Brush. Ed. Genes in the field. On-farm Conservation of Crop Diversity. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida, USA.
- Keleman, A.; Hellin, J. y Bellon, M. R. (2009). Maize diversity, rural development policy, and
farmers' practices: lessons from Chiapas, Mexico. *The Geographical Journal*.
175: 52-70.
- Larson, J. (2008). Importancia de la conservación del maíz. *In*: Taller sobre agrobiodiversidad en
México: el caso del maíz, incentivos para la conservación. Memorias. INE-SEMARNAT.
- López, M. J. D.; Gutiérrez, P. G. y Berúmen, P. S. (2000). Labranza de conservación usando
coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Terra*. 18(2): 161-171.
- Mapes, L. M. y Mera, J. A. (2009). Manejo de la diversidad. *In*: El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. Análisis Económico. Eds. KATO, T.A., C. MAPES, L.M. MERA, J.A. SERRATOS, R.A. BYE. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Atzacapozalco México D.F.
- Nadal, A. (2002). Corn in NAFTA: Eight years after. A Research Report prepared for the North
American Commission for Environmental Cooperation. May 2002.
- Ortiz, T. J.; Sánchez, S. O. M. y Ramos, P. J. M. (2014). Actividades productivas y manejo de la
milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*. 38: 173-191.
- Osorio, G. N.; López, S. H.; Ramírez V. B.; Gil, M. A. y Gutiérrez, R. N. (2015). Producción de
maíz y pluriactividad de los campesinos en el Valle de Puebla, México. *Revista Electrónica Nova Scientia*. 7(2): 577-600.

- Ribeiro, S. (2004). The day the sun dies, contamination and resistance in Mexico. Seedling, July.
- Rodríguez, P. G.; Zavala, G. F.; Ojeda, Z. C.; Gutiérrez, D. A.; Treviño R. J. E. y Rincón, S. F. (2012). Diversidad de maíces criollos de Nuevo León, México mediante AFLP y caracteres morfológicos. *Agronomía Mesoamericana* 23(2): 29-39.
- Sacco, D. A. F. y Velleda, C. N. (2007). Pluriactividad y agricultura familiar en Brasil: el caso de Río Grande do Sul. *Revista de la Cepal* 93. 157:173.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2013. Disponible en Internet en <http://www.siap.gob.mx/> (20 de abril de 2016)
- Smale, M.; Bellon, M. R. y Aguirre, G. J. A. (2001). Maize diversity, variety attributes and farmers' choices in Southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change*. 50 (1): 201-225.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. y Hernández, X. E. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto técnico no. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

La agroecología considera para el análisis del agroecosistema cuatro dimensiones: biofísica, socioeconómica, cultural y tecnológica. En este estudio se analizó el agroecosistema del maíz nativo en sus dimensiones biofísica, socioeconómica y cultural.

La variabilidad fenotípica medida a través de las características estructurales, demostró que los porcentajes de pedicelo en todas las variedades analizadas estuvieron comprendidos en un rango de 3,72 a 5,88 %, siendo la variedad amarilla (RS-25) la que presentó el mayor porcentaje de pedicelo. Estos valores son superiores al 2,0 % que establece la industria de harina nixtamalizada, necesario para facilitar el moldeado de la masa y mejorar su textura (Vázquez *et al.*, 2003). En los grupos y subgrupos formados en el dendograma no se observa correlación entre el pedicelo y el color del grano, sin embargo sí se observa variación importante.

Los valores de contenido de pericarpio de las variedades analizadas en este trabajo coinciden con los valores obtenidos de las variedades blandas reportadas por Vázquez *et al.*, (2003). Así mismo, Vázquez *et al.*, (2010) establecen que en esta estructura se encuentran las gomas que contribuyen a la cohesión de las partículas que constituyen la masa. El peso del pericarpio no está relacionado con el color del grano, sin embargo si hay diferencia importante en los valores extremos.

El porcentaje de embrión varió de 9,59: (FN-41, variedad blanca) a 6,4: (SJC-33, variedad blanca), el cual se relaciona con un mayor contenido de aceite en el grano lo que contribuye a una mejor textura de las tortillas y una mejor nutrición para los consumidores, debido a la cantidad de ácidos grasos insaturados y

niveles elevados de antioxidantes naturales (Bressani, 2008). El tamaño del embrión no está relacionado con el color del grano pues en ambos grupos formados se encuentran diferentes colores, sin embargo sí se observa una mayor fluctuación entre los granos de color blanco.

En cuanto al endospermo harinoso, el rango de los valores observados fue de 26,62 a 81,91 %. En el dendograma se formaron dos grupos muy marcados con relación al endospermo harinoso, observándose, en general, que los granos de color negro tienen mucho más endospermo harinoso que los granos de otro color, caso contrario con el endospermo corneo, donde los granos de color negro son los que menos endospermo corneo tienen. Se encontró una correlación entre el color del grano y la textura suave del grano, entre más oscuro es el grano es más suave, y entre más cristalino es más duro.

De acuerdo con estos valores de endospermo córneo y harinoso, el maíz negro se ubica como variedad blanda debido al contenido de endospermo harinoso, por lo que es factible para ser utilizado en la industria del nixtamal, pero debido a que la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SAGARPA, 2002), establece las características de calidad comercial que debe reunir el maíz para consumo humano, se limita su uso.

El contenido de fenoles totales, expresados como equivalentes de ácido tánico (TAE)/100 gr de harina, estuvieron comprendidos entre 2813,7 y 5638,8 mg de TAE/100 gr de harina. El valor más bajo correspondió a FN-42 (blanca) y el más alto a SNG-14 (blanca).

No se encontró una relación significativa entre el color del grano y el contenido de fenoles.

Los valores de contenido de fenoles del presente estudio se encuentran por arriba de los encontrados por Escribano *et al.*, (2004) para maíz morado (1776 mg/100 g de harina base seca) y los valores de contenido de fenoles de las variedades moradas fueron 30% menores a los 7694 mg/100 g de harina reportados por Gorriti *et al.*, (2009), en extractos metanólicos de corontas de maíz morado. Asimismo, los valores son superiores a lo encontrado por López *et al.*, (2009) en 18 variedades de maíz mexicano, con un rango de entre 170 a 3 400 mg de harina/100 gr de muestra.

El contenido de antocianinas según la metodología del pH diferencial, muestra valores comprendidos en un rango entre 2,45 a 25,04 mg de cianidina-3-glucósido/100 gr de muestra, correspondientes a las variedades RS-24 (blanca) y SJM-39 (morada) respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo a lo alcanzado por López *et al.*, (2009), en 18 variedades de maíz mexicano con un rango de entre 1,54 a 850,9 mg de cianidina-3-glucósido/100 gr de muestra, donde estas diferencias probablemente sea por la diversidad genética de las variedades utilizadas en este estudio.

Del Valle *et al.*, (2005), concluyen que la concentración y perfil de antocianinas varían entre especies, cultivares, estados de madurez, condiciones estacionales, y niveles de rendimiento. Además, la luminosidad y la temperatura son las principales variables ambientales que regulan la síntesis de estos compuestos; la primera la estimula y las altas temperaturas parecen inhibirla. Probablemente estas características estén relacionadas con el bajo contenido de antocianinas encontradas en las variedades en estudio.

Las variedades blancas, blancas-amarillentas y amarillas son las que muestran el menor contenido de antocianinas, lo cual se esperaba debido a que las coloraciones indican la presencia de carotenoides (Kurilich y Juvik, 1999).

La actividad antioxidante de los fenoles totales presentes en los extractos de las diferentes variedades de maíz nativo, frente al radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), muestra valores de DPPH remanente entre 13,29 y 33,08 %, para las variedades LCA-16 (blanca) y FN2-36 (morada) respectivamente, valores consistentes con los encontrados por Gorriti *et al.*, (2009) para los extractos etanólicos de corontas de *Zea mays* a 75 °C y 120 minutos.

El análisis estadístico muestra que no existe relación entre el DPPH remanente (%) y el color del grano, contrario a lo que reportan varios autores. En contraste a lo reportado por Gorriti *et al.*, (2009), Netzel *et al.*, (2007) y Cai *et al.*, (2004), quienes encontraron correlaciones significativas ($r^2 > 0,94$) entre la actividad antioxidante y fenoles totales, en el presente estudio no se encontró correlación alguna entre estas variables, lo que sugiere que los compuestos fenólicos no son los únicos que contribuyen a la capacidad antioxidante de las plantas.

La técnica de textura por disección permite separar los componentes estructurales de los granos de maíz, con base en este análisis se concluye que los maíces negros son de textura suave, y con alto contenido de almidón por lo que es recomendable su utilización en la industria harinera, para ello es necesario modificar el criterio de calidad.

De acuerdo al estudio realizado, se encontró que en promedio los productores han radicado en la zona por 49 años. La edad de los entrevistados fluctuó entre 22 y 65 años, la moda fue de 60 años, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Damian *et al.* (2007); quienes en un estudio realizado con agricultores de maíz en Tlaxcala, concluyen que la mayoría de los agricultores son adultos mayores, y no hay presencia de los jóvenes en el cultivo, por lo que, la renovación generacional se presenta de forma lenta.

El 76% de los entrevistados sólo estudiaron el nivel primaria, lo que indica que el nivel de escolaridad, en general es bajo, el cual influye en forma negativa en la productividad agrícola e impacta en la conservación del recurso, debido a que desconocen la existencia de programas gubernamentales que incentivan al sector, y por lo tanto, la forma de acceder a dichos programas.

Los productores entrevistados tienen un fuerte arraigo en sus actividades agrícolas dado que la principal actividad económica corresponde a la agricultura (46.2%), y por lo tanto, la única fuente de ingresos. Sin embargo, llegan a realizar diversas actividades para complementar sus ingresos, tales como: la albañilería (5.8%), el comercio (2.6%), también realizan labores como jornaleros (24.4%) y mecánicos (2.6%). En este sentido, Sacco y Velleda (2007) mencionan que en la agricultura familiar, la pluriactividad es un fenómeno que forma parte de las estrategias de supervivencia adoptadas por los pequeños agricultores para garantizar el bienestar de sus familias, y se han desarrollado mediante la combinación de diversas actividades económicas, agrícolas y no agrícolas, lo que coincide con lo encontrado en este estudio.

En el caso de las mujeres, éstas se dedican al cuidado de su hogar (18.6%). Altieri *et al.* (2012) en un estudio realizado determinaron que las mujeres rurales han llevado tradicionalmente la mayor parte de las actividades de conservación de la biodiversidad agrícola. Por lo que sugieren que son una fuente importante de conocimiento sobre la conservación de las semillas, el cultivo y la gastronomía basada en los cultivos locales. Sin embargo, en este caso los hombres son los que han conservado la biodiversidad (81.4%).

Los entrevistados consideran que el terreno en donde siembran las variedades de maíz nativo presenta buenas condiciones de fertilidad (100%), mientras que la mayor parte de los terrenos se encuentra en condiciones de planicie (98.7%) y

sólo el 2.3% se encuentra en ladera, y el 100% corresponde a terrenos de temporal.

El tipo de suelo corresponde a tierra polvillita (98.7%) mientras que el 2.3% es pedregoso. El 39.8% de los entrevistados tienen parcelas cuya superficie corresponde a 0.25 hectáreas, el 33.3% poseen terrenos con una superficie de 0.5 hectáreas, el 1.3% tienen parcelas de 0.75 hectáreas, el 16% corresponde a terrenos de 1 hectárea, el 1.3% poseen parcelas de 1.25 hectáreas y el 8.3% a 1.5 hectáreas. Lo anterior es un indicador para mencionar que la producción de maíz se inclina hacia la agricultura de subsistencia, lo que coincide con (Ramos *et al.*, 2012), debido a que se desarrolla en terrenos de pequeña superficie.

En este estudio, se observó que la preparación del suelo básicamente consiste en la realización del barbecho, y éste se lleva a cabo en los meses de febrero (50%) y marzo (50%). Se realiza con la ayuda de animales. El barbecho es una práctica importante en la agricultura, debido a que de esta manera se incorporan los residuos orgánicos de las cosechas anteriores, mejorando la fertilidad del suelo. El 98% de los entrevistados no llevan a cabo las actividades de rastra ni de escarda; al realizar esta práctica, se incorporan los residuos de la cosecha anterior, en forma de mantillo protector del suelo y se disminuye el riesgo de erosión, lo que coincide con López *et al.* (2000) quienes mencionan que el sistema de labranza de conservación reduce la erosión del suelo hasta 95% y permite captar una mayor cantidad de agua de lluvia, para una mejor infiltración que será necesaria en el cultivo posterior. El 1% de los entrevistados realizan la escarda en el mes de mayo y el resto en el mes de junio.

El total de los productores, realiza la siembra en el mes de abril, sin distinción entre las variedades, lo que sugiere que los productores desconocen el riesgo de autofecundación de esta práctica, sin embargo, como lo indican Ferro *et al.* (2013)

esta condición puede conducir a una depresión consanguínea y puede ser una de las principales amenazas a la supervivencia de las poblaciones, además de que condiciona la viabilidad y el éxito en la conservación (García, 2008). En el mes de mayo realizan la fertilización, por única ocasión. En el mes de julio se lleva a cabo la actividad de deshierbar y en el mes de noviembre se realiza la cosecha.

Por otro lado, las diversas actividades del cultivo se realizan con mano de obra familiar (100%), lo que concuerda con Ramos *et al.* (2012) quienes determinaron que el productor que es propietario de una pequeña extensión de tierra, se vale de la fuerza de trabajo familiar para obtener la producción que consumirá la familia, además de que constituye un elemento clave que les permite trabajar la tierra ante la falta de dinero para el pago de jornales.

Las variedades locales que se siembran son: cacahuacintle (1.3%), blanco (38.5%), negro (9.6%) y también se realizan diferentes combinaciones, tales como, blanco-negro-amarillo (14.7%), blanco-negro-rosado (5.8%), blanco-negro (12.2%), blanco-negro-cacahuacintle (9%), blanco-negro-rosado-amarillo (4.5%) y blanco-negro-rosado-pinto (4.5%). El establecimiento de estas semillas se realiza de acuerdo a las preferencias de los agricultores basándose en sus necesidades de consumo. En este sentido, los campesinos aprecian una serie de atributos de los maíces nativos, tales como, sabor, color, textura, tamaño, precocidad en la producción y/o capacidad para soportar condiciones climáticas y de suelo adversas.

Los campesinos al tiempo de aprovechar su parcela también conservan la agrobiodiversidad de su entorno (Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014). Además de que las variedades locales son preferidas por los pequeños agricultores para la producción y el consumo (Badstue *et al.*, 2007). Por otro lado, a pesar de la disponibilidad de semillas mejoradas, los agricultores de escasos recursos, no tienen la posibilidad

de adquirirlas, lo que hace que se sigan manteniendo las semillas adaptadas localmente (Breton *et al.*, 2012, Acosta *et al.*, 2007).

Al mismo tiempo, los agricultores se benefician de esta diversidad, debido a que hacen uso de la semilla de maíz que se adapta mejor, lo cual puede tener un impacto en la conservación como fuente de diversidad genética (Smale *et al.*, 2001). Por lo que la conservación *in situ* de los recursos genéticos ha sido reconocida como una estrategia que coadyuva a la conservación de los mismos (Bellon *et al.*, 2003).

De acuerdo con los entrevistados, las variedades tienen un rendimiento de 2 ton/ha, de las cuales el 0.6% de los productores vende el 50% de su producción con un costo de \$7.00/kg. Dado que sólo el 0.63% de la cosecha se destina a la venta, entonces se obtiene un ingreso anual de \$3,780.00. Lo que implica que no se obtiene un beneficio económico por la siembra de este recurso. El destino de las variedades de maíz es predominantemente para autoconsumo y se destina para la alimentación tanto de humanos como de animales, y se utiliza mano de obra familiar, lo que coincide con Osorio *et al.* (2015) quienes en un estudio realizado en relación a la producción de maíz, demostraron que los campesinos utilizaban variedades nativas y destinaban la producción para el consumo familiar, la alimentación de animales, y en menor proporción, la venta.

Las variedades nativas son de origen familiar, les fueron heredadas de padres a hijos. El tiempo promedio que llevan sembrando las variedades, es de 20 años, con un mínimo de 5 años y un máximo de 45 años. Esta práctica proporciona una mayor seguridad al agricultor, porque conoce su manejo. Lo que concuerda con Badstue *et al.* (2007) debido a que se muestra el principio básico del sistema local de semillas, que es la dependencia de los agricultores en la selección y conservación de las semillas de la cosecha anterior. Asimismo, las características

que determinan el uso de semillas criollas puede deberse a que estas especies poseen mejores capacidades de adaptación tanto a sequías, suelos pobres y condiciones climáticas extremas, incluso son más resistentes a plagas (CONABIO, 2008; Keleman et al., 2009).

Las cualidades que son apreciadas por los agricultores y que son el motivo por el cual se siguen sembrando las variedades de maíz nativas, son las siguientes; el maíz blanco se prefiere por su rendimiento en la elaboración de las tortillas, el maíz negro es empleado en la elaboración de tortillas y es apreciado por su sabor, además se utiliza también para tamales, sin embargo, es un grano que es susceptible a las plagas de almacén. El maíz amarillo, el cual pertenece a los maíces con mayor porcentaje de almidón córneo, es preferido para la alimentación de los animales, y no para la elaboración de tortillas debido a que produce una masa más dura. El maíz cacahuacintle se siembra para la elaboración de un platillo especial como es el caso del pozole. Los maíces pinto y rosado se utilizan también para la elaboración de tortillas. Las semillas que son cosechadas y que no cumplen con los requerimientos para la alimentación humana, no se desechan, sino más bien se destinan como alimento de animales, lo que concuerda con Mapes y Mera (2009) quienes determinan que el agricultor selecciona las variedades que va a sembrar de acuerdo a los requerimientos de producción (factores ambientales) y de la economía del hogar (usos y venta de excedentes, si los hay), así como también mencionan que los criterios de selección incluyen las preferencias de consumo.

Las variedades de maíz se siembran en asociación con otras especies, como el frijol, la calabaza y el haba. La domesticación del maíz, frijol y calabaza, permitió a los primeros agricultores, establecer una forma de cultivo simbiótica conocida comúnmente como milpa. Ek Dzib *et al.*, 2012; mencionan que el maíz es el eje de la milpa, mientras que el frijol y la calabaza son parte fundamental de esta forma

de policultivo que aún persiste en algunas comunidades indígenas y campesinas de México; como se muestra en este estudio. Además de que en dichas prácticas se involucran una diversidad de conocimientos tradicionales, generados durante siglos, y que en este caso, se encuentran representados por la milpa (Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014).

Como lo demuestran Altieri *et al.* (2012) esta estrategia de asociar los cultivos tiene la ventaja de aumentar la producción al aprovechar al máximo los recursos naturales; así como también, esta diversidad está dotada de nutrientes enriquecedores para las plantas, polinizadores y fijadores de nitrógeno, los cuales realizan diversas funciones ecológicas beneficiosas, además de que es empleada como una estrategia de alimentación para la familia, debido a que complementa la dieta al interior de la misma.

En policultivos desarrollados por los pequeños productores, la productividad en términos de productos cosechables por unidad de área es mayor que en un monocultivo con un mismo nivel de gestión (Dorward, 1999). Además reducen las pérdidas debidas a las malezas, insectos y enfermedades y hacen un uso eficiente de los recursos disponibles de agua, luz y nutrientes (Altieri *et al.*, 2012).

IX. CONCLUSIÓN GENERAL

La actividad antioxidante de los fenoles totales presentes en los extractos de las diferentes variedades de maíz nativo, frente al radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), muestra valores de DPPH remanente entre 13,29 y 33,08 %, para las variedades LCA-16 (blanca) y FN2-36 (morada) respectivamente. No existe relación entre el DPPH remanente y el color del grano.

La técnica de textura por disección permite separar los componentes estructurales de los granos de maíz. Con base en este análisis se concluye que los maíces negros son de textura suave, y con alto contenido de almidón por lo que pueden ser sujetos de ser utilizados en la industria harinera. Sin embargo, es necesario modificar el criterio de calidad.

La diversidad de maíz cultivada por agricultores del municipio de San Felipe del Progreso, México, proviene de la siembra del ciclo anterior y es mantenida por largos períodos de tiempo. Esta diversidad indica que los campesinos siembran variedades de maíz nativo debido a los diferentes usos que le dan, que son tanto para la alimentación humana como la animal. Su cultivo es un reflejo de una práctica tradicional, como lo es la milpa, lo que representa una fuente importante de alimento. El destino de la producción es para el autoconsumo, por lo que no representa un ingreso económico, sin embargo, la preferencia para seguir sembrando las semillas nativas es debido a que constituyen una fuente de alimentación para los agricultores y sus familias; lo cual contribuye de manera significativa a la conservación de las variedades nativas de maíz.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbona, E. A.; Sarandón, S. J.; Marasa, M. E.; Astier M. (2007). Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 119: 335-345.

Acosta, R.; Ríos H.; Kessel, A.; Martínez, M. y Ponce, M. (2007). Selección participativa de germoplasma cubano de maíz (*Zea mays*, L.) en el sistema local de Batabanó, La Habana. *Cultivos Tropicales*. 28 (2): 63-70.

Altieri, M. A. (1992). Agroecological foundations of alternative agriculture in California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 39: 23-53.

Altieri, M. A. (1992). Sustainable agricultural development in Latin America: exploring the possibilities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 39: 1-21.

Altieri, M. A. (1995). Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica*. Chile. 54: 371-381.

Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press. Boulder, CO.

Altieri, M. A. (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Ed. Nordan-Comunidad. Uruguay. 338 p.

Altieri, M. A. (2007). La agroecología como alternativa sostenible frente al modelo de agricultura industrial. *Agroecología y economía ecológica*: 75-93.

Altieri, M. A. (2007). Transgenic crops, agrobiodiversity, and agroecosystem function. 37- 55. In: Genetically engineered crops. Haworth Press.

Altieri, M.A.; Funes, M. F. R. y Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*. 32: 1-13.

Altieri, M. A.; Nicholls, C. (2000). Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 250 p.

Altieri, M. A.; Nicholls, C. (2010). Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica*. 10: 62-74.

Appendini, K.; García, B. R. y Tejera, B. (2003). Seguridad alimentaria y “calidad” de los alimentos: ¿una estrategia campesina? *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe*. 65-83.

Aragón-Cuevas, F., Taba S, Hernández-Casillas, J. M., Figueroa-Cárdenas, J. D. y Serrano-Altamirano. V. (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto N° CS002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 119 pp.

Arévalo, C. J. (2005). Evaluación del impacto de prácticas agroecológicas en el proceso de desarrollo de la mujer rural: una experiencia en Cajamarca. Tesis Magister en Gestión en Desarrollo Rural y Agricultura Sustentable. Universidad Católica de Temuco. Chile. 102 p.

Avello, M., Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea* 494. 161-171

Badui, S. (1987). *Química de los alimentos*. Pearson Educación. México.

Badstue, L. B., Bellon, M. R., Juárez, X., Manuel, I., Solano, A. M. (2003). Social relations and seed transactions among smallscale maize farmers in the Central Valleys of Oaxaca. *Economics Working Paper 02/02*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México. D. F.

Badstue, L. B., Bellon, M. R., Berthaud, J., Ramírez, A., Flores, D., Juárez, X. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the central valleys of Oaxaca, Mexico. *World Development*. 35: 1579-1593.

Báez, L. (2012). Hidalgo y sus regiones: una aproximación. En los pueblos indígenas de Hidalgo. *Atlas Etnográfico*. Gobierno del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). México. D. F.

Bellon, M. R., Berthaud, J., Smale, M., Aguirre, J. A., Taba, S., Aragon, F., Diaz, J., Castro, H. (2003). Participatory landrace selection for on-farm conservation: an example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50: 401-416.

Beristáin, L. (2001). Estudio de la reacción de copolimerización de antocianinas provenientes de la col morada con catequina y acetaldehído en sistemas modelo. Tesis de licenciatura. Departamento de Ingeniería Química, de Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas. Puebla. México.

Bernardo, H. M. J. (2011). El cuidado de las semillas nativas y su importancia en procesos de agroecología: pequeños productores de Jalisco. En: Haciendo milpa, la protección de las semillas y la agricultura campesina. Álvarez-Buylla Roces, Areli Carreón García, Adelita San Vicente Tello; compiladores. UNAM. México.

Boyer, C. D., Hannah L. C. (2001). Kernel mutants of corn. *In*: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. USA. p. 1–31.

Blasco León. (2010). Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.): implicaciones fisiológicas y nutricionales. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiología Vegetal. España. 221 pp.

Breton, O. M., Morris, K. S., Méndez, V. E. (2012). Cultivation of maize landraces by small-scale shade coffee farmers in western El Salvador. *Agricultural Systems*. 111: 63-74.

Bressani, R. (2008). Cambios nutrimentales en el maíz inducidos por el proceso de nixtamalización. *In*: Nixtamalización del maíz a la tortilla. Aspectos nutrimentales y toxicológicos. Universidad Autónoma de Querétaro. México. pp. 19-80.

Brush, S. B. (2000). Genes in the field. On-farm Conservation of Crop Diversity. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida, USA.

Cabrera-Soto, M. L., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cardelas, G. A., Espinosa-Trujillo, E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia* 43:827-839.

Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., **Corke** H. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sci* 74: 2157-2184

Coultate, T. (1984). *Alimentos: química de sus componentes*. Acribia, Zaragoza, España. 111-115 pp.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2008). Documento 1: Información biológica-agronómica básica sobre los maíces nativos y sus parientes silvestres. Documento de trabajo para el taller: Agro diversidad en México: el caso de Maíz. INE, CONABIO, SAGARPA.

Charley, H. (1989). *Tecnología de alimentos*. LIMUSA. México. 652-655 pp.

Chávez-Mejía, C., Nava-Bernal, G. y Arriaga-Jordán, C. (1998). Estudios sobre la agrodiversidad en la agricultura campesina mazahua en el Estado de México. Seminario Mesoamericano sobre la agrodiversidad en la agricultura campesina. 61-66.

Cuevas, M. E, Antezana, A, Winterhalter, P. (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. Red Alfa Lagrotech. Memorias. Colombia. 79-95.

Damian, H. M. A., Ramírez, V. B., Parra, I. F., Paredes, S. J. A., Gil, M. A., Cruz, L. A., López, O. J. F. (2007). Apropiación de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica en México* (33): 163-173.

Del Valle-Leguzamón, G, González-León, A., Báez-Sañudo, R. (2005). Antocianinas en uva (*Vitis vinífera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 359-368.

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información. (2014). Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero.

Durst, R., Katz, G., Teitelbaum, A., Zislin, J., Dannon, P. N. (2001). Kleptomania: Diagnosis and treatment options. *CNS Drugs*. 15 (185-195).

Ek Dzib, J. V., Hernández, B. I., Noriero, E. L. (2012). La milpa en Yucatán, desde una perspectiva del buen vivir. *Veredas. Especial*: 193-210.

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

Espinosa, T. E., Mendoza, C. M. C., Castillo, G. F., Ortiz, C. J., Delgado, A. A. (2010). Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33 (1): 11-19.

Fennema, O. (1985). *Introducción a la ciencia de los alimentos*. Reverté. España. 468-476 pp.

Ferro, V. E., Chirino, G. E., Márquez, S. M., Ríos, L. H., Mirabal, B. E., Guevara H. F., Alfaro, H. F. (2013). Experiencias obtenidas en el desarrollo participativo de híbridos lineales simples de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de bajos insumos agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 34 (2): 61-69.

García, D. A. (2008). A simple method to account for natural selection when predicting inbreeding depression. *Genetics*. 180: 1559-1566.

Gastó, J., Vera, L., Vieli, L., Montalba, R. (2009). Conceptos unificadores para la sustentabilidad de la agricultura: elementos teóricos para el desarrollo de la agroecología. En: *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. MA Altieri (Editor). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. Colombia. Cap. 1: 11-43.

Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: ecological processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Presss, Ann Arbor, MI.

Gómez, E. J. A., Gómez, G. G. (2006). Saberes tradicionales agrícolas indígenas y campesinos: rescate, sistematización e incorporación a las IEAS. *Ra Ximhai*. 2 (1): 97-126.

Gorriti-Gutiérrez, A., Arroyo-Acevedo, J., Negron-Ballarte, L., Jurado-Teixeira, B., Purizaca-Llajaruna, H., Santiago-Aqise, I., Taype-Espinoza, E., Quispe-Jacobo, F. (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L). Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6) 509-518.

Gross, J. (1987) *Pigments in fruits*. Academic Press, London.

Gutteridge, J. M. C. (1995). Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clin. Chem.*, 41 (1819–1828).

Guzmán, C. G. I., Alonso, M. A. M. (2007). La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. 16 (1): 24-36.

Guzmán, C. G., González de M., M., Sevilla, G. E. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. España.

Hernández, X. E. (1985). Maize and man in the greater southwest. *Economic Botany*. 39(4): 416-430.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). Catálogo de entidades federativas, municipios y localidades.

IBM SPSS Statistics. (2014). User's Guide, Software versión 23.0.0. USA.

Jarvis, D. (2000). Farmer decisions making and genetic diversity: Linking multidisciplinary Research to implementation on-farm. *In*: S. B. Brush. Ed. Genes in the field. On-farm Conservation of Crop Diversity. Lewis Publiserhs. Boca Ratón, Florida, USA.

Kato, Takeo Á. et al. (2009), Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. México: UNAM – CONABIO.

Keleman, A., Hellin, J., Bellon, M. R. (2009). Maize diversity, rural development policy, and farmers' practices: lessons from Chiapas, Mexico. *The Geographical Journal*. 175: 52-70.

Kurilich, A. C., Juvik, J. A. (1999). Quantification of carotenoides and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 47:1948-1955.

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., García-Parrilla, M. C., Troncoso, A. M., Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Ciên. Tecnol. Aliment. Campinas*. 24(4) 691-693.

Larson, J. (2008). Importancia de la conservación del maíz. En: Taller sobre agrobiodiversidad en México: el caso del maíz incentivos para la conservación, memorias. INE-SEMARNAT. 50 pp.

León, S. T. (2009). Agroecología: desafíos de una ciencia en construcción. En: Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. MA Altieri (Editor). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. Colombia. Cap. 2: 45-67.

Leyva, D. E. (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales, y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México. 69 pp.

Leyva-Ovalle, O. R., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., Vázquez-Carrillo, M. G. (2002). Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. 25: 355-365.

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

López, M. J. D., Gutiérrez, P. G., Berúmen, P. S. (2000). Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. Terra. 18(2): 161-171.

Makkar, H. P. S. (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage. A Laboratory Manual for the FAO/IAEA. FAO/IAEA. Vienna, Austria, 40 pp.

Mapes, L. M., Mera, J. A. (2009). Manejo de la diversidad. *In*: El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. Análisis Económico. Eds. KATO, T.A., C. MAPES, L.M. MERA, J.A. SERRATOS, R.A. BYE. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Atzacapozalco México D.F.

Markakis, P. (1982). Anthocyanins as food colors. Academic Press. N. Y. USA. En: Efecto de la temperatura y un copigmento en la estabilidad de antocianina de la col morada en una bebida.

Martínez-Flores, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. XVII (6) 271-278.

Mathews, C. K., Holde, K. E. V., Ahern, K.G. (2003) *Bioquímica*. Ed. McGraw Hill/Interamericana: Madrid,

Mazza, G. (1995). Anthocyanins in grape and grape products. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, v. 35, p. 341-371.

Miguel, M. A., Arellano-Vázquez, J. L., García de los Santos, G., Miranda-Colín, S., Mejía-Contreras, J. A., González-Cossío, F. V. (2004). Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:(1) 9-15.

Moenne-Loquez, Calderón, D.K. (2008). Potencial antioxidante de papas y harina de papas nativas. Universidad de la Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Departamento de Ingeniería Química. Tesis Licenciatura. Chile. 143 pp.

Nadal, A. (2002). Corn in NAFTA: Eight years after. A Research Report prepared for the North American Commission for Environmental Cooperation. May 2002.

Netzel, M., Netzel, G., Tian, Q., Schwartz, S., Konczak, I. (2007). Native Australian fruits – a novel source of antioxidants for food. *Innov Food Sci Emerg Technol* 8: 339-346.

Norgaard, R., Sikor, T. O. (1999). Metodología y práctica de la agroecología. 31-38. En: *Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable*. M. A. Altieri (Compilador) Editorial Norda-Comunidad.

Oliveras-López, M. J. (2005). Calidad del aceite de oliva virgen extra. Antioxidantes y función biológica. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (1988). Potentials for agricultural and rural development in Latin America and the Caribbean. Main report and 5 annexes. Roma, Italia.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición. N° 25. Roma, Italia. 160 p.

Ortiz, T. J., Sánchez, S. O. M., Ramos, P. J. M. (2014). Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*. 38: 173:191.

Osorio, G. N., López, S. H., Ramírez V. B., Gil, M. A., Gutiérrez, R. N. (2015). Producción de maíz y pluriactividad de los campesinos en el Valle de Puebla, México. *Revista Electrónica Nova Scientia*. 7(2): 577-600.

Pérez, C. N. (2004). Manejo ecológico de plagas. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural. Cuba. 296 p.

Power, A. G. (1999). Linking ecological sustainability and world food needs. *Environment, development and sustainability*. 1: 185-196.

Ramírez-Hernández, J. H., García-Flores, C. F., Vizcaíno-Reséndiz, J. A., Cárdenas J. M., Gutiérrez-Cantú, F. J., Murga H. M., Villagrán Rueda, S. (2012). ¿Qué son y para qué sirven los antioxidantes? *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana*. XXV (2).

Ribeiro, S. (2004). The day the sun dies, contamination and resistance in Mexico. *Seedling*, July.

Rodríguez, P. G., Zavala, G. F., Ojeda, Z. C., Gutiérrez, D. A., Treviño R. J. E., Rincón, S. F. (2012). Diversidad de maíces criollos de Nuevo León, México mediante AFLP y caracteres morfológicos. *Agronomía Mesoamericana* 23(2): 29-39.

Rodríguez-Saona, L., Wrolstad, R. (2001). Extraction, isolation and purification of anthocyanins. *Protocols in Food Analytical Chemistry*. 1-8 pp.

Rosales-López, M. C. (2003). Optimización del proceso de bioseparación de compuestos fenólicos a partir de dos variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz azul (*Zea mays* L.) y Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Tesis licenciatura. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Laboratorio de Biotecnología. México. 79 pp.

Rosset, P. M. (2009). La Guerra por la tierra y el territorio. Pp. 159-175 in Centro Indígena de Capacitación Integral Universidad de la Tierra (CIDECI-UNITIERRA), editor. Primer Coloquio Internacional In Memoriam Andrés Aubry: planeta tierra: movimientos antisistémicos. CIDECI-UNITIERRA Ediciones, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

Ruíz-Torres, N. A., Rincón-Sánchez, F., Hernández-López, V. M., Figueroa-Cárdenas, J. D., Loarca-Piña, M. G. (2008). Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31: 3. 29-34.

Sacco, D. A. F., Velleda, C. N. (2007). Pluriactividad y agricultura familiar en Brasil: el caso de Río Grande do Sul. *Revista de la Cepal* 93. 157:173.

SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF-034/1-SCFI-Parte-1. (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y Métodos de prueba. Dirección General de Normas. México, D.F. 18 p.

Sánchez-Paniagua López, M. (2008). Biosensores amperométricos de tirosinaas para la determinación de compuestos fenólicas en medios acuosos y no acuosos. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Sarandón, S. J. (1993). Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable. En: Bases para una política ambiental de la R. Argentina. F. Goin y Goñi C. (Editores). 19: 279-286.

Sarandón, S. J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Americanas.

SAS (Statistical Analysis System Institute). (2002). SAS/STAT User's Guide, Software version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 27513. USA.

Serratos-Hernández, J. A. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Greenpeace México. 33 p.

Sevilla, G. E., González de la M. M. (1995). El concepto de transición en el pensamiento marxista: reflexiones desde la agroecología. Agroecología, campesinado e historia de la Universidad de Córdoba. España. 29 p.

Sevilla, G. E. (2003). El desarrollo rural de la «otra modernidad»: elementos para recampesinizar la agricultura desde la agroecología. En Encina, J.; Ávila, M.A.; Fernández, M. y Rosa, M. (coord.) *Praxis participativas desde el medio rural*. Madrid: IEPALA-CIMA.

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2013. Disponible en Internet en <http://www.siap.gob.mx/> (20 de abril de 2016)

Smale, M., Bellon, M. R., Aguirre, G. J. A. (2001). Maize diversity, variety attributes and farmers' choices in Southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change*. 50 (1): 201-225.

Vázquez-Carrillo, M. G., Guzmán-Báez, L., Andrés-García, J. L., Márquez-Sánchez, F., Castillo-Merino, J. (2003). Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26 (4) 231-238.

Vázquez-Carrillo, M. G., Pérez-Camarillo, J. J., Hernández-Casillas, J. M., Marrufo-Díaz, M. L., Martínez-Ruiz, E. (2010). Calidad de grano y de tortillas de caíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4) 49-56.

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto técnico no. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F.

Wilska-Jeszka, J. (1997). Food Colorants. En *Chemical and functional properties of food components*. Eds. Z. Sikorski. P. 191-210. Technomic Publishing Company, Inc. USA.

Wrolstad, R. (1994). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Current protocols Food Analytical Chemistry*.

XI. ANEXO

Cuestionario

Aspectos socioeconómicos

Nombre					
Sexo					
Localidad					
Edad					
Tiempo de vivir ahí					
Escolaridad					
Actividad económica					
Número de personas que integran la familia					
Integrantes	Edad	Escolaridad	Actividad económica	Migración	Lugar

Condiciones del terreno

Terreno	Superficie	Temporal o riego	Fertilidad	Pendiente	Tipo de suelo	Maíz que siembra

Manejo del cultivo

Actividades	Fecha para las actividades				
	Blanco	Negro	Amarillo	Pinto	Rosado
Barbecho					
Rastra					
Volteo					
Siembra					
Fertilización					
Escarda					
Deshierbe					
Cosecha					

Actividades	Mano de obra									
	Blanco		Negro		Amarillo		Pinto		Rosado	
	Fam.	Jorn.	Fam.	Jorn.	Fam.	Jorn.	Fam.	Jorn.	Fam.	Jorn.
Barbecho										
Rastra										
Volteo										
Siembra										
Fertilización										
Escarda										
Deshierbe										
Cosecha										

Estrategias de conservación

Maíz	Origen de la colección	Antigüedad de la colección	Usos
Blanco			
Negro			
Amarillo			
Pinto			
Rosado			

Maíz	Método de cultivo	Rendimiento	Destino de la producción	Mercado	
				Compra	Venta
Blanco					
Negro					
Amarillo					
Pinto					
Rosado					

Observaciones:
