



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**VARIEDADES COMPUESTAS: UNA OPCIÓN DE APROVECHAMIENTO
DE LA DIVERSIDAD DE LOS MAÍCES NATIVOS**

GONZALO DEL CARMEN BRAVO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2021

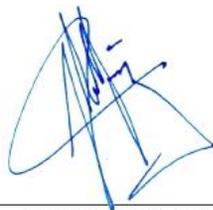
La presente tesis, titulada: **Variedades compuestas: una opción de aprovechamiento de la diversidad de los maíces nativos**, realizada por el alumno: **Gonzalo del Carmen Bravo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ABEL GIL MUÑOZ

ASESOR:



DR. PEDRO ANTONIO LÓPEZ

ASESOR:



DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

ASESOR:



DR. DELFINO REYES LÓPEZ

VARIETADES COMPUESTAS: UNA OPCIÓN DE APROVECHAMIENTO DE LA DIVERSIDAD DE LOS MAÍCES NATIVOS

Gonzalo del Carmen Bravo, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

El maíz y su enorme diversidad genética son elementos clave en los agroecosistemas mexicanos, por lo que deben ser conservados y aprovechados de manera pertinente. Para ello se propone la creación de variedades compuestas (VC), como una alternativa con bases agroecológicas. Dado que el conocimiento generado al momento sobre el comportamiento y rendimiento agronómico de este tipo de variedades es insuficiente, y que no existe una argumentación sobre su utilidad en el marco de la agroecología, se desarrolló esta investigación con los siguientes objetivos: a) evaluar el comportamiento y rendimiento agronómico de las VC y compararlos con los de sus progenitores y testigos comerciales, b) sustentar teóricamente que las VC pueden ser una alternativa para conservar y aprovechar el recurso fitogenético maíz. Para el primer objetivo, en el 2019 se establecieron experimentos en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, considerando los principales grupos de coloración de grano: blanco, amarillo y azul. Se incluyeron las VC, sus progenitores y variedades testigo. Se emplearon diseños de bloques completos al azar con tres repeticiones y se registraron caracteres vegetativos, agronómicos, de mazorca y grano, los cuales se sometieron a un análisis de varianza combinado y prueba de medias. Para el segundo objetivo se elaboró un ensayo utilizando el método recursivo. Los resultados indicaron que las VC mantuvieron los atributos agronómicos sobresalientes presentes en sus progenitores, superaron el promedio de rendimiento de grano de éstos en porcentajes que oscilaron entre 1.8% y 10%, y presentaron mejor comportamiento a través de ambientes. Las VC igualaron o superaron el rendimiento de los testigos; no obstante, es conveniente mejorar en ellas diversos caracteres de planta. Producto del análisis teórico se establece que la formación de VC puede considerarse un esquema de utilización de los recursos genéticos locales con bases agroecológicas. Se concluye que la generación de VC constituye un esquema adecuado para aprovechar y conservar la diversidad genética local de maíz y que tales materiales se pueden recomendar como variedades mejoradas de polinización libre.

Palabras clave: Compuestos varietales, enfoque agroecológico, fitomejoramiento, poblaciones nativas.

COMPOSITE VARIETIES: AN OPTION TO MAKE USE OF MAIZE LANDRACE DIVERSITY

Gonzalo del Carmen Bravo, M. Sc.

Postgraduate College, 2021

Maize and its huge genetic diversity are key elements for the Mexican agroecosystems, therefore, both must be conserved and used in a pertinent manner. To do this, we propose the development of composite varieties (CV), as an alternative with agroecological basis. Given the fact that the knowledge currently available on the agronomic performance and yield of this type of varieties is insufficient, and that no argumentation is available on its usefulness in the context of agroecology, we conducted this research. Its objectives were: a) To evaluate the agronomic performance and grain yield of the CV and compare them with those of their parents and commercial controls; b) To theoretically demonstrate that the CV can be an alternative to conserve and use the plant genetic resource known as maize. To accomplish the first objective, we planted experiments during 2019 in the Libres-Huamantla-Mazapiltepec micro-region, considering the main grain color groups: white, yellow and blue. We included the CV, their parents and control varieties. The experimental design was a randomized complete block design, with three replications. We measured plant, agronomic, ear and grain traits, which we subjected to a combined analysis of variance and a means test. For the second objective, we prepared an assay, using the recursive method. The results showed that the CV kept the outstanding agronomic traits present in their parents, exceeded the average grain yield of the latter, with percentages ranging from 1.8% to 10%, and had a better performance across environments. The CV equaled or exceeded the grain yield of controls; however, it is convenient to improve several plant traits in the former. Product of the theoretical analysis, we state that the development of CV can be considered a scheme of use of local genetic resources with an agroecological basis. We conclude that the development of CV represents an adequate scheme to use and conserve the local genetic diversity of maize, and that such materials can be recommended as improved open pollination varieties.

Key words: Composite varieties, agroecological approach, plant breeding, landraces.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado, sin el cual no podría haber culminado mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados *Campus Puebla*, por haberme permitido realizar mi formación, otorgarme un espacio y darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

A la sublínea de investigación **Conservación y aprovechamiento de recursos fitogenéticos**, de la LGAC II. Aprovechamiento y manejo de sistemas agroalimentarios y recursos naturales para el desarrollo rural sostenible, del postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, y al Dr. Abel Gil Muñoz, por darme la oportunidad de ser parte de su proyecto de investigación.

A mi Profesor Consejero, **Dr. Abel Gil Muñoz**, por el apoyo, enseñanzas, paciencia, el tiempo destinado hacia mi persona y la dedicación que mostró en mi formación a lo largo de mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Al **Dr. Pedro Antonio López** por sus enseñanzas, y apoyo en mi formación, así como los consejos otorgados para encaminar de manera precisa y pertinente la presente investigación.

Al **Dr. Ignacio Ocampo Fletes** por la paciencia y el esfuerzo dedicado en mi formación académica, así como el fortalecimiento de mi aprendizaje desde un enfoque sostenible, social e integrador.

Al **Dr. Delfino Reyes López** por contribuir en mi enseñanza, por sus consejos y apoyo a lo largo de mis estudios de Maestría en Ciencias, y también por forjarme como ingeniero.

A los **Ingenieros José Hernández Cortés y Hugo García Perea**, así como al resto del personal que trabaja en la Unidad Académica Huejotzingo, por su apoyo a lo largo de todo el estudio, por compartir su aprendizaje y la calidez humana que mostraron hacia mi persona.

DEDICATORIA.

A mi padre Gonzalo del Carmen Joaquín, por brindarme su apoyo incondicional, enseñarme a valorar la vida, inculcarme valores, estar ahí cada vez que lo necesitaba y forjarme como persona.

A mi madre Raymunda Bravo Gonzalez, por su cariño, apoyo, confianza, comprensión y darme la motivación que necesitaba cuando me sentía derrumbado, por ser una gran madre.

A mis abuelos Sr. Prócoro del Carmen Sandoval, quien con sus enseñanzas y valores me ayudo a entender lo bonito de la agricultura, por ser un pilar fundamental sin el cual no sería lo que soy en la actualidad. A la Sra. Liboria Joaquín Marcelo, quien nunca se rindió, y siempre buscó la manera de apoyarme, por impulsarme a luchar por mis sueños.

A mis hermanos Abril y David del Carmen Bravo, quienes son el motor que siempre me impulsó a seguir adelante, y ser la razón por la cual continúo esforzándome actualmente.

A mis compañeros de maestría, quienes compartieron conmigo su experiencia y conocimiento, complementando mi aprendizaje en mi vida como profesionista.

CONTENIDO

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	6
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. General.....	7
1.2.2. Específicos.....	7
1.3. Hipótesis.....	8
1.3.1. General.....	8
1.3.2. Específicas.....	8
1.4. Literatura consultada.....	8
II. METODOLOGÍA GENERAL.....	14
2.1. Materiales y métodos del trabajo experimental.....	14
2.1.1. Área del estudio.....	14
2.1.2. Material genético.....	15
2.1.3. Diseño y unidad experimental.....	16
2.1.4. Manejo agronómico de los experimentos.....	16
2.1.5. Variables evaluadas.....	17
2.1.6. Análisis estadístico.....	19
2.2. Método seguido para la elaboración del ensayo.....	19
2.3. Literatura consultada.....	21
CAPITULO I. VARIEDADES COMPUESTAS, UNA OPCIÓN DE APROVECHAMIENTO DE LA DIVERSIDAD DE LAS POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ.....	24
1.1. Resumen.....	24
1.2. Abstract.....	24
1.3. Introducción.....	25
1.4. Materiales y Métodos.....	26
1.4.1. Área del estudio.....	26
1.4.2. Material genético.....	27

1.4.3.	Diseño y unidad experimental.....	28
1.4.4.	Manejo de los experimentos.....	28
1.4.5.	VARIABLES EVALUADAS.....	28
1.4.6.	Análisis estadístico.....	29
1.5	Resultados.....	29
1.6.	Discusión.....	32
1.7.	Conclusiones.....	35
1.8.	Bibliografía.....	36
CAPITULO II. VARIEDADES COMPUESTAS: CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LA DIVERSIDAD FITOGENÉTICA LOCAL DE MAÍZ.....		
		44
2.1.	Resumen.....	44
2.2.	Abstract.....	44
2.3.	Introducción.....	45
2.4.	El maíz en el territorio nacional.....	47
2.5.	México y la diversidad genética del maíz.....	49
2.6.	La agroecología y el germoplasma nativo.....	50
2.7.	El mejoramiento genético en los nichos ecológicos: bases agroecológicas.....	52
2.8.	Las variedades compuestas y el germoplasma nativo.....	54
2.9.	Conclusiones.....	56
2.10.	Literatura consultada.....	56
II.	DISCUSIÓN GENERAL.....	63
3.1.	Literatura consultada.....	69
IV.	CONCLUSIONES GENERALES.....	74

LISTA DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Material genético estudiado en cada grupo de coloración.....	16
Cuadro 2. Material genético estudiado en cada grupo de coloración. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.....	27
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables estudiadas. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.....	40
Cuadro 4. Comportamiento agronómico de las variedades evaluadas. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.....	41
Cuadro 5. Características favorables y desfavorables de las poblaciones nativas y los híbridos comerciales.....	48

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Localización del área del estudio (microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec).....	15
Figura 2. Rendimiento promedio de grano a través de localidades para las diferentes variedades evaluadas en el estudio (a) Maíces blancos; (b) Maíces amarillos; (c) Maíces azules.....	43

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La revolución verde se propuso como un modelo tecnológico global para la modernización agrícola, a través de la generación de tecnologías y la inclusión de la agricultura al sistema económico global, y como la vía más adecuada para dar solución a los problemas del agro (Nicholls y Altieri, 2019). En la actualidad es evidente que tal aseveración fue errónea, pues la desigualdad económica, agrícola y social se incrementó tras la aplicación de dicho modelo (Altieri y Nicholls, 2010). Ante este escenario, la agroecología surgió como una nueva alternativa de desarrollo agrícola, un planteamiento que promueve formas de agricultura más biodiversas, resilientes y socialmente justas (Altieri y Nicholls, 2012).

La agroecología puede ser entendida como una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social (Sevilla, 2006), que a través del entendimiento y comprensión de los agroecosistemas campesinos, pretende mejorar la producción, disminuyendo los impactos negativos en el ambiente (Altieri, 2015). Esta disciplina parte de un enfoque holístico y transdisciplinario, se nutre de la experiencia y el saber milenario de las sociedades campesinas tradicionales (Castillo, 2008), está en contra de las recetas técnicas (Nicholls *et al.*, 2015) y de todas aquellas formas de agricultura que no cuestionan el monocultivo, que dependen de los insumos externos, sellos de certificación, y que estén fuertemente vinculadas a la agroexportación (Altieri y Nicholls, 2012).

La idea básica de la agroecología es ir más allá del uso de prácticas alternativas. Sus principios se sustentan en el mantenimiento de los recursos naturales y el desarrollo de agroecosistemas complejos (Altieri, 2009), donde la biodiversidad y la diversidad fitogenética local son una pieza importante, ya que dichos elementos permiten potenciar las funciones y eficientar los procesos al interior de los agroecosistemas (Martínez, 2002). Sistemas diversos, con mayores mecanismos estabilizadores, tenderán a ser resilientes y ser más estables en el tiempo (Vara y Cuellar, 2013).

En los sistemas agrícolas campesinos, la utilización de la biodiversidad y la diversidad genética local son estrategias clave, ya que los cultivares adaptados localmente les permiten prevenir riesgos (Pinedo *et al.*, 2009). Las evidencias dictan que entre mayor sea la diversidad genética, mayor será la productividad, el ingreso económico, la seguridad alimentaria y

bienestar social, debido a que este recurso funge como un seguro para enfrentar los cambios ambientales y permitir satisfacer las necesidades sociales, económicas y culturales (Nicholls y Altieri, 2019).

Al interior de los agroecosistemas tradicionales mexicanos se maneja una gran cantidad de cultivos (frijol, chile, calabaza, frutales, etc.), entre los cuales el maíz es uno de los más importantes. Las estimaciones indican que en México más de 20 millones de personas dependen de este grano (Murray, 2020) y que para sus diversas labores agronómicas se emplea el 40% de la fuerza de trabajo del sector agrícola (Kato *et al.*, 2009). De acuerdo con datos del SIAP (2020), en el 2019 se destinaron un total de 7.157 millones de hectáreas para su producción, de las cuales 5.532 millones se sembraron bajo condiciones de temporal (esto es, dependiendo sólo de las lluvias).

La importancia del maíz trasciende el aspecto económico (Negrín y Chuc, 2016), ya que en torno a él se establece la organización social, cultural y familiar de los mexicanos (Ávila *et al.*, 2014), razón por la cual se considera un recurso estratégico (Cuevas, 2014). Las diversas condiciones fisiográficas, climáticas y culturales, así como la interacción constante entre estos elementos y los campesinos, propició la existencia de una vasta diversidad genética (64 razas), misma que se encuentra contenida en las poblaciones nativas de maíz (Kato *et al.*, 2009) y es utilizada por los campesinos para hacer frente a las múltiples dificultades que se presentan dentro de su agroecosistema (Vara y Cuellar, 2013). Son múltiples los beneficios que obtienen los agricultores por la conservación de tal diversidad, entre ellos se pueden mencionar: la reducción de costos de producción, la disminución de incidencia de plagas y enfermedades, el aumento de la resiliencia, así como el incremento de la variabilidad alimenticia y nutricional (Altieri y Toledo, 2011).

A nivel nacional se calcula que el 76.5% de los agricultores utilizan semilla de maíces nativos (Hellín y Keleman, 2013), principalmente porque estas variedades poseen múltiples características de las cuales las variedades comerciales no disponen (Kato *et al.*, 2009; Lazos y Chauvet, 2012). No existen datos precisos que permitan conocer el número de poblaciones nativas existentes en el territorio nacional, sin embargo, estimaciones hechas por Gil (2011) sugieren que potencialmente podrían existir entre cuatro y seis millones. Márquez (2008) sugiere la presencia de al menos 5000 variedades diferentes.

La información anterior es una evidencia del enorme potencial genético de maíz que existe en México, el cual puede ser aprovechado a través de programas de fitomejoramiento local (Castro *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2018). Altieri y Toledo (2011) plantean que la utilización de este recurso puede tener un impacto positivo en el sector agrícola, ya que puede contribuir a la estabilidad y resiliencia de los agroecosistemas, favoreciendo la seguridad y autosuficiencia alimentaria, especialmente en las zonas donde se practica la agricultura campesina (Turrent *et al.*, 2010).

En México, el mejoramiento genético formal tuvo sus inicios en la década de los cincuenta (Márquez, 2008). Los estudios de investigación desarrollados desde entonces se focalizaron en tierras con condiciones climáticas favorables, existencia de riego, y aplicación de enormes cantidades de insumos agrícolas (Castro *et al.*, 2014), lo cual no es representativo de los agroecosistemas mexicanos. Aunado a lo anterior, y a pesar de existir una enorme riqueza genética, el fitomejoramiento se restringió a la utilización de algunas cuantas razas (Ramírez *et al.*, 2000; Velázquez *et al.*, 2018), siendo las razas Chalqueño, Cónico, Celaya y Tuxpeño las más utilizadas (Pérez *et al.*, 2002; Márquez, 2008). Es evidente que el esquema clásico de fitomejoramiento, fundamentado en una estrecha base genética y orientado a la producción comercial, no es el más adecuado para las condiciones agrícolas del país, ya que la enorme variabilidad de los agroecosistemas difícilmente podrían ser dominados por un número corto de materiales genéticos mejorados (Turrent *et al.*, 2010). Por lo tanto, hoy en día la diversidad genética del maíz debe ser la base para la generación de nuevas variedades (Turrent *et al.*, 2016).

En la última década la utilización del germoplasma nativo en programas de fitomejoramiento ha adquirido importancia, debido a que en este tipo de materiales se pueden encontrar características que propiciarían el incremento de la producción (Hernández *et al.*, 2018) y en su genoma pueden existir alelos o combinaciones alélicas capaces de soportar la gran diversidad de condiciones agrícolas presentes en México (Turrent *et al.*, 2016). A la fecha algunos de los planteamientos que han sido propuestos para el mejoramiento de las variedades nativas como tales son: la selección masal visual estratificada (Molina, 1983), el esquema de retrocruza limitada (Márquez *et al.*, 2000) y el enfoque de mejoramiento genético en los nichos ecológicos (MGNE) (Muñoz, 2005).

El planteamiento de MGNE propone llevar a cabo el fitomejoramiento en los pequeños valles de México (nichos ecológicos), zonas donde existen condiciones climáticas particulares, suelos de variable fertilidad, pendiente, profundidad, color y textura (Gil *et al.*, 2007). Tiene como idea central, estudiar, manejar y aprovechar la diversidad fitogenética local del maíz (Muñoz, 2005). Para ello, plantea trabajar a nivel de nicho o microrregión, colectando, evaluando y seleccionando las poblaciones nativas para, a partir de las sobresalientes, obtener variedades mejoradas (Gil, 2006). De acuerdo con la filosofía bajo la cual se concibió este planteamiento, los beneficiarios finales del proceso deben ser los agricultores de cada nicho, es por esta razón que se piensa que el mejoramiento genético vegetal conducido en este sentido puede propiciar el desarrollo agrícola a escala microrregional (Gil *et al.*, 2007).

Diversos estudios han permitido corroborar que en los diferentes nichos ecológicos del país existen poblaciones nativas capaces de presentar un rendimiento agronómico igual o superior al de las variedades mejoradas introducidas (Olvera *et al.*, 2005; Pecina *et al.*, 2009; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013). Los estudios condensados por Muñoz (2005) refuerzan esta aseveración. Bajo el enfoque de mejoramiento genético en los nichos ecológicos, una de las vías que se ha propuesto para aprovechar el potencial genético contenido en las poblaciones nativas sobresalientes ha sido la formación de sintéticos, o más propiamente, de variedades compuestas (VC), las cuales pueden definirse como una generación avanzada y en equilibrio de un compuesto integrado por diversas variedades de polinización libre (Busbice, 1970; Camarena *et al.*, 2014). Se espera que este tipo de materiales alcancen el equilibrio después de la primera generación de apareamiento y a partir de ese momento puedan sembrarse en forma indefinida (IICA, 1989). Debido a los efectos dominantes homocigóticos y heterocigóticos, las VC pueden superar el rendimiento de las variedades sintéticas clásicas (Márquez, 2014), las cuales han sido recomendadas para las condiciones agrícolas de temporal o condiciones de alta restricción productiva (Márquez, 2013). De acuerdo con Camarena *et al.* (2014), se espera que las variedades compuestas presenten un comportamiento agronómico superior al promedio de los genotipos parentales. Finalmente, dada su constitución genética, se cree que pueden presentar una buena capacidad de adaptación y resistencia a factores edafoclimáticos adversos.

Las investigaciones realizadas hasta el momento han demostrado el amplio potencial agronómico que existe en las variedades nativas de maíz (Muñoz, 2005; Pecina *et al.*, 2009; Hortelano *et al.*, 2008; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013). Por otra parte, de manera teórica se han evidenciado las diversas ventajas que pueden presentar las variedades compuestas (Busbice, 1970; IICA, 1989; Camarena *et al.*, 2014; Márquez, 2014). Sin embargo, hasta el momento las evidencias prácticas que existen respecto a las ventajas de este tipo de variedades son limitadas, por lo que se considera que el conocimiento generado en el tema es insuficiente, pues se desconoce el comportamiento agronómico de estos materiales, y si su formación es una vía adecuada para aprovechar, capitalizar y conservar el potencial genético de las poblaciones nativas de maíz.

Si se considera que entre las ventajas esperadas de las VC se encuentran el que pueden sembrarse de forma continua, que tengan una mayor capacidad de adaptación (característica de las poblaciones nativas de las cuales se derivan) y resistencia al ataque de plagas y enfermedades y que en ellas se conserven muchos de los atributos existentes en las poblaciones nativas (características alimenticias, nutricionales y de uso), este tipo de variedades podría ser un elemento de gran utilidad para los agricultores de temporal, pues se proponen como un esquema que no solo permite aprovechar el germoplasma nativo, sino también como una ruta que propicia la conservación de los recursos genéticos de maíz, y con ello todo lo asociado a este cultivo (aspectos culturales, tradiciones, diversidad alimenticia, etc). La conservación no solo debe centrarse en el resguardo del material genético en bancos de germoplasma, sino que dada la compleja relación entre maíz y cultura, el mantenimiento de los materiales nativos debe estar enfocado en la reproducción sostenible de dichas variedades (Lazos y Chauvet, 2012). Considerando lo expuesto con anterioridad y derivado de la falta de conocimiento acerca de las variedades compuestas, resulta importante realizar un estudio en torno a este tipo de materiales, que permita dilucidar si los mismos son un esquema adecuado para aprovechar, capitalizar y conservar la diversidad presente en las poblaciones nativas de maíz. El estudio planteó dos objetivos: a) evaluar el comportamiento y rendimiento agronómico de las VC y compararlos con los de sus progenitores y testigos comerciales, y b) sustentar teóricamente que las VC pueden ser una alternativa para conservar y aprovechar el recurso fitogenético maíz. El estudio se realizó en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, en el estado de Puebla.

1.1. Planteamiento del problema

En México, la producción de maíz tiene un perfil social bimodal (Turrent *et al.*, 2010). Por un lado, se distingue a los productores comerciales, y por otro, al sector dedicado a la producción tradicional (autoconsumo) (Martínez, 2002). El cultivo a escala comercial se caracteriza por la utilización de sistemas de riego, aplicación intensa de agroquímicos, mecanización, y empleo de variedades genéticamente uniformes (Bahena *et al.*, 2009), lo cual contrasta con los sistemas agrícolas tradicionales, donde la producción depende de las condiciones climáticas, de los recursos que existen dentro del agroecosistema, y de la diversidad fitogenética local (Kato *et al.*, 2009).

De estas dos modalidades, la de autoconsumo o tradicional es la de mayor importancia (Bahena *et al.*, 2009). A nivel nacional el 77% de la producción se desarrolla bajo condiciones de temporal (Turrent *et al.*, 2014). Datos proporcionados por Helin y Keleman (2013) sugieren que, dentro de esta superficie, el 80% de los agricultores utilizan semilla de maíces nativos. Lo anterior no es casual, pues dentro de los agroecosistemas tradicionales la diversidad fitogenética es un elemento fundamental, ya que las variedades nativas suelen presentar características y atributos que funcionan como un seguro ante las condiciones restrictivas de producción (Kato *et al.*, 2009).

En México existe una enorme variación y diversidad genética dentro del cultivo de maíz, sin embargo, el uso de la misma en programas de fitomejoramiento ha sido muy limitado. De hecho, de las 64 razas reportadas a nivel nacional, sólo cuatro de ellas se han empleado en el mejoramiento genético (Chalqueño, Cónico, Celaya y Tuxpeño) (Márquez, 2008; López *et al.*, 2017), y aun en estos casos se ha considerado un número muy limitado de poblaciones. Lo anterior es una evidencia de que el uso del germoplasma nativo y el mejoramiento genético de las poblaciones nativas *per se* ha sido restringido y poco aprovechado, a pesar de que en estos materiales podemos encontrar genotipos que combinen en su genoma a los alelos óptimos para las condiciones agrícolas de nuestro país (Turrent *et al.*, 2016).

Ante esta situación uno de los planteamientos metodológicos que ha propuesto el mejoramiento genético de las variedades nativas como tales, es el esquema denominado mejoramiento genético en los nichos ecológicos (Muñoz, 2005). Este enfoque propone realizar el fitomejoramiento a nivel nicho, aprovechando la diversidad de poblaciones nativas

usualmente presentes en él (Gil, 2011). Una vez identificado el germoplasma nativo sobresaliente, se puede aplicar algún esquema de mejoramiento (Gil, 2006). Una de las vías es la formación de variedades compuestas. La teoría señala que este tipo de materiales pueden sintetizar los atributos favorables presentes en las poblaciones que los integran (Busbice, 1970; IICA, 1989; Márquez, 2014; Camarena *et al.*, 2014); sin embargo, la ausencia de estudios prácticos no ha permitido corroborar si dicho supuesto es válido. Por otra parte, tampoco existen muchos trabajos donde se reflexione sobre la utilidad de las variedades compuestas para las comunidades rurales, considerando aspectos ambientales, sociales, culturales y económicos analizados con un enfoque agroecológico. En este sentido, se concluye que existe poco conocimiento en torno a lo viable y apto de las variedades compuestas, tanto como una vía para aprovechar, capitalizar y conservar la diversidad genética existente en los maíces nativos, como como una estrategia alimentaria y cultural de las familias rurales. Si los resultados respaldan la teoría, entonces se contará con una opción de aprovechamiento de la diversidad genética local del maíz, la cual encajará en la dinámica de funcionamiento de los agroecosistemas tradicionales y en los principios promovidos por la agroecología, puesto que dicha disciplina propone la utilización de los recursos y la diversidad genética existente dentro de cada agroecosistema, como una de las vías para alcanzar su sostenibilidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar si las variedades compuestas constituyen un esquema adecuado de aprovechamiento, capitalización y conservación de la diversidad fitogenética local de maíz.

1.2.2. Específicos

1. Evaluar el comportamiento y rendimiento agronómico de las variedades compuestas de maíz en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, área para la cual se formaron.
2. Comparar el comportamiento y rendimiento de las variedades compuestas con respecto al de las poblaciones nativas que las conformaron y a algunas variedades comerciales recomendadas para la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec.

3. Sustentar, de manera teórica, el por qué las variedades compuestas pueden ser una alternativa adecuada para conservar y aprovechar los recursos fitogenéticos locales de maíz.

1.3. Hipótesis

1.3.1. General

Las variedades compuestas permiten aprovechar, capitalizar y conservar la diversidad fitogenética local de maíz.

1.3.2. Específicas

1. Las variedades compuestas tendrán un desempeño agronómico adecuado en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, área para la cual se formaron.
2. Las variedades compuestas mantienen los atributos productivos y de comportamiento de las poblaciones nativas de las cuales se derivaron.
3. Las variedades compuestas exhiben un comportamiento agronómico y una estabilidad productiva superior a la de las variedades comerciales introducidas.

1.4. Literatura consultada

Altieri M. A. (2015) Breve reseña sobre los orígenes y evolución de la Agroecología en América Latina. *Agroecología* 10:7-8.

Altieri M. A., y C. I. Nicholls (2012) Agroecología: única esperanza para soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7:65-83.

Altieri M., y V. Toledo (2011) La revolución agroecológica en América Latina: Rescatar la naturaleza, asegurar la seguridad alimentaria o empoderar al campesino. *Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Desarrollo Alternativos (ILSA)* 1:163-202.

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

Altieri M. (2009) El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. *In: Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones.* SOCLA (ed).

Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). Medellín, Colombia.
364 p.

Ángeles-Gaspar E., E. Ortiz-Torres, P. A. López y G. López-Romero (2010) Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.

Ávila F., Y. Castañeda., Y. Massieu., L. Noriero., y A. González A. (2014) Los productores de maíz en Puebla ante la liberación de maíz genéticamente modificado. *Sociológica* 29:45-81.

Bahena D. G., E. Broa R., J. M. Vázquez S. y M. Morales S. (2009) El cultivo de maíz en México. *Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera* 9:276-279.

Bushice T. H. (1970) Predicting yield of synthetic varieties I. *Crop Science* 10:265-269.

Camarena M. F., J. Chura Ch. y R. H. Blas S. (2014) Mejoramiento Genético y Biotecnológico de Plantas. UNALM-AGROBANCO. Perú. pp: 194-195.

Castillo M. R. (2008) Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología en Marcha* 21:3-13.

Castro N. S., C. A. Reyes, y A. J. Huerta (2014) Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:217-223.

Cuevas M. J. de J. (2014) Maíz: Alimento fundamental en las tradiciones y costumbres mexicanas. *PASOS: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* 12:425-432.

Gil M. A. (2011) Estudio de caso 5.1: Los patrones varietales en maíz. *In: La biodiversidad en Puebla, estudio del Estado*. CONABIO (Ed). CONABIO. Puebla, México. pp. 232-233.

Gil M. A., P. A. López., H. López S., y O. R. Taboada G. (2007) El fitomejoramiento: una opción tecnológica para la agricultura de subsistencia. *In: Estudios y propuestas para el medio rural*. R. Martínez R., B. Ramírez V. y G. E. Rojo M. (Coord.) Universidad Autónoma Indígena de México y Colegio de Postgraduados *Campus Puebla*. México. pp. 113-136.

Gil M. A. (2006) Introducción al Fitomejoramiento en Cultivos Anuales. Colegio de Postgraduados y Altres Costa-Amic, México. 82 p.

- Helin J., A. y Keleman (2013)** Las variedades criollas de maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. *Leisa, Revista de Agroecología* 29:7-9.
- Hernández V. B., Ma. Del C. Mendoza C., F. Castillo G., J. A. Pecina M., A. Delgado A., R. Lobato O., y J. J. García Z. (2018)** Valoración agromorfológica de germoplasma de maíz amarillo en valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:393-402.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Mirando C., y L. Córdova T. (2008)** Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (1989)** Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Francia. 671 p.
- Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. UNAM, CONABIO. D.F., México. 116 p.
- Lazos E., y M. Chauvet. (2012)** Análisis del Contexto Social y Biocultural de las Colectas de Maíces Nativos en México. CONABIO. México. 533 p.
- López M. F., Ma. G. Vázquez C., J. D. Molina G., J. J. García Z., T. Corona T., S. Cruz I., G. López R., D. Reyes L., y G. Esquivel E. (2017)** Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1035-1050
- Márquez S. F. (2014)** Epistasis en la variedad, la craza varietal, el compuesto varietal y el sintético de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:319-324.
- Márquez S. F. (2013)** Endogamia de un sintético de maíz formado con familias de autohermanos líneas S₁. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:259-261.
- Márquez S. F. (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I.: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5:151-166.

- Márquez S. F., L. Sahagún C., J. A. Carrera V., y E. Barrera G. (2000)** Retrocruza Limitada para el Mejoramiento Genético de Maíces Criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.
- Martínez C. R. (2002)** Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 3:25-45.
- Molina G. J. D. (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 35 p.
- Muñoz-Tlahuiz F., J. de D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López., A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:515-530.
- Muñoz, O. A. (2005)** Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Glosario Centli-Maíz. 2da. Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 211 p.
- Murray T. G. N., y V. J. Jaramillo (2020)** El reto del maíz en México frente al cambio climático. *Revista Digital Universitaria* 19:1-8.
- Negrín M. E., y C. E. Chuc U. (2016)** Nuestro maíz, patrimonio mixto en riesgo. *In: El patrimonio, su importancia y conservación, conociendo el patrimonio.* Universidad Autónoma de Campeche (Ed). TECCIS A.C. Campeche, México. pp. 7-24.
- Nicholls C. I., y M. A. Altieri (2019)** Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal* 11:S55-S61.
- Nicholls C. I., A. Henao., y M. A. Altieri (2015)** Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología* 10:7-31.
- Olvera H. J. I., A. Gil M., A. Muñoz O. (2005)** Fitomejoramiento de maíces criollos: Una opción para incidir en el desarrollo agrícola regional. *In: IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Málaga, España, 2005.*
http://www.aepro.com/files/congresos/2005malaga/ciip05_0482_0495.194.pdf
 (Febrero, 2021).

- Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., y M. Mendoza R. (2009)** Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694
- Pérez A., J. D. Molina G., y A. Martínez G. (2002)** Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz en México por selección masal visual, rendimiento, altura de planta y precocidad. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:435-441
- Pinedo R., L. Collado., L. Arias., y T. Shagarodsky (2009)** Importancia del maíz, frijol, pallar y chile en agroecosistemas tradicionales del trópico húmedo de Cuba, México y Perú. *In: ¿Cómo conservan los agricultores sus semillas en el trópico húmedo de Cuba, México y Perú?* Hermann M., K. Amaya., L. Latournerie., y L. Castiñeiras. (Eds). Biodiversity international. Roma, Italia. pp. 31-45.
- Ramírez, L. (2006)** Mejora de plantas alógamas. Universidad Pública de Navarra, España. 33 p. https://www.academia.edu/8778325/MEJORA_DE_PLANTAS_AL%C3%93GAMAS (enero 2021).
- Sevilla G. E. (2006)** Agroecología y agricultura ecológica: hacia una “re” construcción de la soberanía alimentaria. *Agroecología* 1:7-18.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020)** Cierre de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Septiembre de 2020).
- Turrent F. A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., C. Turrent T., y H. Mejía A. (2016)** Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1727-1739
- Turrent F. A., A. Espinosa C., J. I. Cortés, F., Y H. Mejía A. (2014)** Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1531-1547.
- Turrent F. A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., H. Mejía A., y J. A. Serratos H. (2010)** ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:631-646.
- Vara S. I. y M. Cuellar P. (2013)** Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad. *Ecosistemas, Revista Científica y Medio Ambiente* 22:5-9.

Velázquez C. G. A., A. González H., D. de J. Pérez L., y F. Castillo G. (2018)
Comportamiento de mestizos de maíz en tres localidades del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1217-1230.

II. METODOLOGÍA GENERAL

2.1. Materiales y métodos del trabajo experimental

2.1.1. Área del estudio

La investigación se realizó en tres localidades ubicadas en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec. Esta microrregión está conformada por 14 municipios (Figura 1), cuatro del estado de Tlaxcala y diez del estado de Puebla, mismos que forman parte de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) 165 de Huamantla, Tlaxcala y 04 de Libres, Puebla. Sus principales características a nivel productivo son la predominancia de la agricultura de temporal y el empleo de poblaciones nativas en la producción de maíz (Gil *et al.*, 2011).

Los experimentos se establecieron en tres localidades: Máximo Serdán (19° 13' 00" y 19° 17' 18" latitud norte y 97° 46' 36" y 97° 51' 42" longitud oeste), Ocoteppec (19° 33' 00" y 19° 39' 42" latitud norte y 97° 37' 18" y 97° longitud oeste) y Soltepec (19° 04' 00" y 19° 12' 42" latitud norte y 97° 40' 36" y 97° 12' 36" longitud oeste) (INEGI, 2017). Estos sitios se ubican, en promedio, a los 2458 msnm. El clima predominante es del tipo subhúmedo con lluvias en verano (C(E)(w)), seguido del semiseco templado (BS1k1) y por último el clima de tipo frío E(T) (García, 2004). De acuerdo con datos de INEGI (2017), el intervalo de temperatura de las localidades fluctúa desde los 2 hasta los 16 °C, y se presenta una precipitación que oscila de los 400 hasta los 900 mm. Es importante mencionar que en esta zona existen condiciones productivas restrictivas, ya que es normal la presencia de heladas, sequías y suelos poco fértiles (Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013).

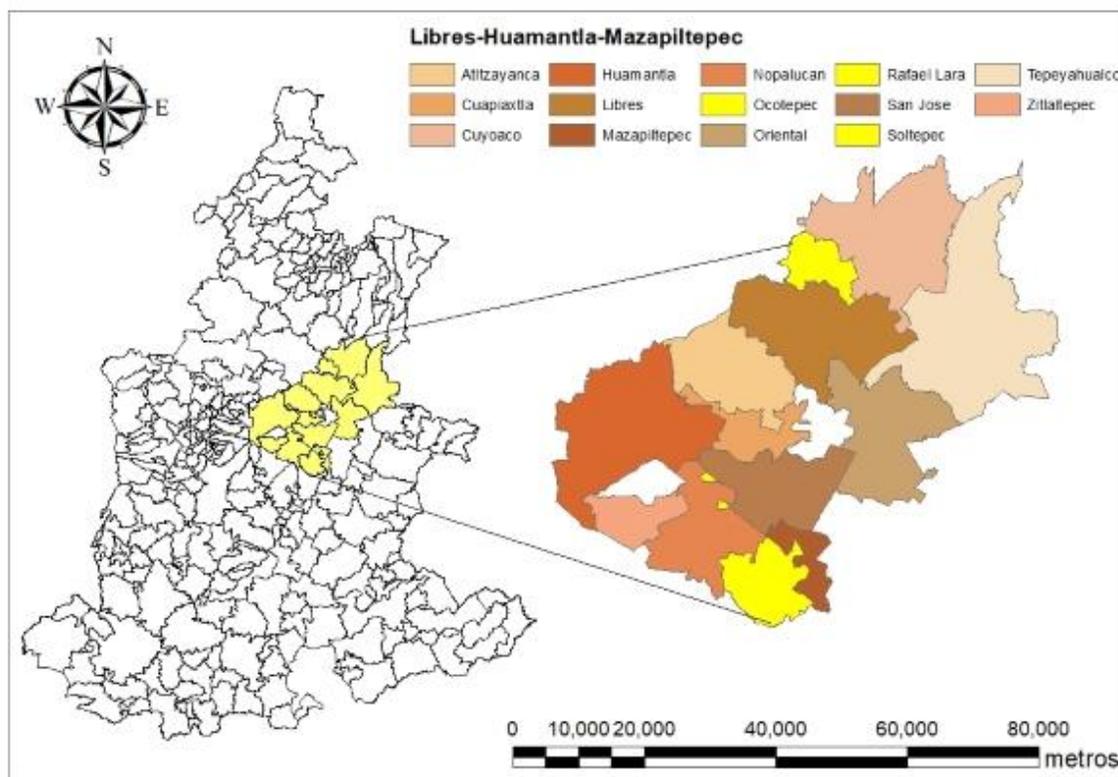


Figura 1. Localización del área del estudio (microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec).

2.1.2. Material genético

Estudios previos desarrollados en maíz en la región de estudio (Gil *et al.*, 2013; Gil *et al.*, 2014) permitieron precisar que, en ella, los principales grupos de coloración de grano presentes fueron el blanco, el amarillo y el azul. En cada grupo se realizó una selección progresiva a partir de la colecta inicial (Gil *et al.*, 2013; Gil *et al.*, 2015), la cual permitió seleccionar las cinco mejores poblaciones en cada conjunto. Con ellas se procedió a la formación de las variedades compuestas correspondientes, sometiéndolas a varios ciclos de recombinación. Con estos antecedentes, para el presente estudio se estructuraron tres experimentos, uno por cada grupo de coloración de grano. Cada experimento estuvo conformado por 10 materiales diferentes (Cuadro 1), que correspondieron a cinco poblaciones nativas sobresalientes (progenitoras de las variedades compuestas), tres ciclos de recombinación de la variedad compuesta correspondiente y dos variedades testigo. Para el caso de los materiales de grano azul, se utilizaron tres testigos y dos ciclos de recombinación de la variedad compuesta.

Cuadro 1. Material genético estudiado en cada grupo de coloración.

Material genético			
Material	Grano blanco	Grano amarillo	Grano azul
Poblaciones nativas	CP088	CP113	CP089
	CP131	CP118	CP147
	CP144	CP163	CP166
	CP186	CP316	CP184
	CP198	CP356	CP197
Variedades compuestas	VC1	VC1	VC3
	VC2	VC2	VC4
	VC3	VC3	-
Variedades testigo	CPV-M121	V-55A	VS-09
	(Sintético Serdán)		H-12
	H-48	Cirrus®	H-14T

2.1.3. Diseño y unidad experimental

Los experimentos se establecieron bajo un diseño en bloques completos al azar, con tres repeticiones, cada uno de los materiales correspondió a un tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por tres surcos, cuya longitud fue de cinco metros y un ancho de 85 cm. En cada punto de siembra se depositaron tres semillas, y posteriormente se realizó un aclareo para dejar solo dos plantas por sitio. La distancia entre plantas fue de 50 cm, con lo que se tuvo una densidad de 22 plantas en 11 sitios por surco y una población por hectárea de 47,059 plantas.

2.1.4. Manejo agronómico de los experimentos

Los experimentos se manejaron bajo condiciones de temporal (solo con agua proveniente de las lluvias). La siembra se realizó en las fechas acostumbradas en la región y las labores culturales se efectuaron de acuerdo al manejo tradicional de los agricultores. En la localidad de Ocotepc la siembra se efectuó el 22 de abril, en Máximo Serdán el 26 de abril, y en Soltepec el 2 de mayo de 2019. En las tres localidades la siembra se realizó de forma manual (con pala), procurando depositar la semilla en el estrato húmedo. La fórmula de fertilización aplicada fue 150 unidades de nitrógeno y 50 unidades de fósforo (150-50-00); como fuentes de fertilización se utilizaron fosfato diamónico (18-46-00) y urea (46-00-00). En la primera labor se aplicó 1/3 parte del nitrógeno y todo el fósforo, y en la segunda el resto del nitrógeno. En todos los lugares después de la segunda labor de cultivo, para el control de malezas, se mezclaron y aplicaron dos herbicidas (dicamba + 2,4-D y atrazina), ambos a una dosis de un litro por hectárea. Las

actividades posteriores se realizaron de acuerdo con el manejo tradicional del agricultor. Finalmente, las fechas de cosecha fueron: Ocotepéc y Máximo Serdán, 11 y 22 de noviembre, respectivamente, y Soltepec, el cuatro de diciembre de 2019.

2.1.5. Variables evaluadas

En cada unidad experimental se registraron diversas variables, a nivel de plantas individuales (cinco) o de parcela, según correspondió. En total, se consideró la evaluación de 22 variables, que incluyeron caracteres vegetativos, agronómicos, de mazorca, de grano y de rendimiento.

- a) Caracteres vegetativos: para estas variables se consideró pertinente realizar la medición una vez concluida la floración masculina. Se marcaron cinco plantas con competencia completa en cada unidad experimental, tal y como sugieren Rocandio *et al.* (2014). Los caracteres medidos fueron: altura de planta en cm (ALP), altura de mazorca en cm (ALM), índice proporción de hojas arriba y hojas abajo de la mazorca (IHOJ = Hojas arriba de la mazorca/hojas debajo de la mazorca), y área foliar (AF).
- b) Caracteres agronómicos: las variables consideradas fueron días al 50% de floración masculina (DFM), días al 50% de floración femenina (DFF), asincronía floral (ASC = DFF-DFM), porcentaje de plantas cuateras (PCU), porcentaje de plantas con acame de raíz (PACR), porcentaje de plantas con acame de tallo (PACT), calificación de planta (CLP), calificación de mazorca (CMA), factor de desgrane (FACT) y rendimiento de grano (REND). En estos caracteres, la medición se realizó considerando la parcela. Para ello, en cada unidad experimental, previo a la floración, se contabilizó el número de plantas totales.
- c) Caracteres de mazorca: las mediciones se realizaron en una muestra de cinco mazorcas por cada unidad experimental, las variables consideradas fueron, longitud de mazorca en cm (LGM), diámetro de la mazorca en mm (DMZ), número de hileras por mazorca (NHIL) y número de granos por hilera (NGH).
- d) Caracteres de grano: Para estas variables se tomó una muestra de diez granos por mazorca, considerando a aquellos ubicados consecutivamente en la parte central de la misma (Acosta *et al.*, 2013). Se midió la longitud de grano en mm (LNG), el ancho de grano en mm (ANG), grosor de grano en mm (GG) y el peso hectolítrico (PHE).

Las alturas se midieron desde la base del suelo hasta la primera rama de la espiga (altura de planta) y el nudo de inserción de la mazorca superior (altura de mazorca) (Rocandio *et al.*, 2014). Para el área foliar se tomó como referencia el valor obtenido en la hoja de la mazorca. Para el registro de la floración femenina se contabilizaron los días transcurridos después de la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron los estigmas expuestos. Para el caso de la floración masculina, los datos se obtuvieron después que el 50 % de las plantas de la unidad experimental contaban con anteras dehiscentes. La asincronía floral se obtuvo a través de la diferencia entre las fechas de 50% de floración femenina y masculina. Para el caso de porcentaje de plantas cuateras, con acame de raíz o de tallo, se consideró como unidad de medición a toda la parcela. Las plantas con acame de tallo fueron aquellas que presentaron tallos rotos por debajo de la mazorca (CIMMYT, 1995). Se consideró acame de raíz cuando la planta tuvo una inclinación mayor a 30° con respecto a la vertical (Arellano *et al.*, 2014). La calificación de planta y mazorca tomó como base una escala de 1 a 5, donde el valor de 1 correspondió al mejor aspecto y 5 al peor (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010). Los datos de mazorca y grano fueron tomados de una muestra de cinco mazorcas por unidad experimental.

Para el cálculo del rendimiento se tomaron los datos de peso húmedo (dato obtenido al momento de la cosecha) y peso seco (dato obtenido después de que las mazorcas fueron secadas al sol), a partir de estos valores se determinó el contenido de humedad (CH) y se realizó un ajuste (AJ):

$$CH = \frac{PH - PS}{PH} * 100 \qquad AJ = \frac{100 - CH}{86}$$

Donde: CH = contenido de Humedad; AJ = ajuste de humedad al 14 %; PH = peso húmedo de la muestra; PS = peso seco de la muestra; 86 = factor de ajuste considerando el 14 % de humedad. A partir de los valores obtenidos en las ecuaciones anteriores, se determinó el rendimiento de grano:

$$REND = (PC * AJ * FD) * FC$$

Donde: REND = rendimiento de grano; PC = peso total de mazorcas cosechadas por parcela, expresado en kg; AJ = ajuste de humedad al 14 %; FD = factor de desgrane; FC = factor de

conversión para obtener el rendimiento por hectárea (10 000 m² / tamaño de la parcela útil en m²).

2.1.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico incluyó un análisis de varianza combinado y una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$), mediante el procedimiento ANOVA del programa SAS. Posteriormente, del conjunto de variables se seleccionaron once que se consideró eran las de mayor interés para los agricultores al momento de evaluar una variedad: días a floración femenina (como un indicador de precocidad), altura de mazorca (como un indicador de la altura de la planta), porcentajes de plantas con acame de raíz y de tallo (indicadores de la resistencia de la planta a la caída o quebrado de planta), longitud, diámetro y número de hileras de la mazorca y número de granos por hilera (todas ellas descriptoras de la estructura de interés antropocéntrico), peso hectolítrico (como indicador de la densidad del grano), factor de desgrane (indicador de la proporción grano: mazorca) y rendimiento de grano. Para cada una de estas variables, donde procedió, se identificó a los materiales que pertenecían al grupo estadísticamente superior, y con esta información se construyó un cuadro de características favorables (Sánchez *et al.*, 2006). Finalmente, considerando el trabajo realizado por Pérez *et al.* (2011), se graficó el rendimiento promedio de los distintos materiales evaluados a través de ambientes. Dicho análisis permitió detectar aquellas variedades más productivas y con menor interacción a través de ambientes.

2.2. Método seguido para la elaboración del ensayo

La investigación científica permite generar conocimiento, producir ideas, constructos, modelos teóricos, teorías, e innovación, que contribuyen a una mejor comprensión de la realidad, y facilitan la resolución de problemas concretos (Saravia, 2006). En este sentido, la argumentación teórica es uno de los componentes principales, pues permite conocer, exponer y analizar las teorías y conceptualizaciones existentes que permiten encuadrar un estudio. Por lo tanto, este elemento proporciona una visión sobre dónde se sitúa el planteamiento propuesto y dentro de qué campo de conocimiento se estará profundizando (Hernández *et al.*, 2014).

En la presente investigación se elaboró un ensayo como medio de sustento teórico. Angulo (2013) menciona que, independientemente del propósito y del tipo, un ensayo debe estar

integrado por una sección de introducción, un apartado donde se desarrolle el tema y finalmente una sección de conclusiones.

Con base en lo anterior, el primer paso en la preparación del ensayo lo constituyó la identificación de los componentes del mismo y la estructura general de dicho documento. Posterior a la etapa mencionada, se procedió a generar un índice temático, en el cual se definieron los tópicos que se incluirían dentro del escrito. Es importante mencionar que para dicha actividad se contó con el apoyo de uno de los profesores integrantes del Consejo Particular, especialista en aspectos agroecológicos. Para Anderson y Álvarez (2020) esta etapa es una de las más importantes, pues precisar el tema del ensayo permite identificar los alcances y las limitaciones del mismo, asimismo, ayuda a generar la estrategia más adecuada de búsqueda de hechos, datos e información.

Acorde a la temática definida, se inició la búsqueda de información. Mediante un proceso de depuración se seleccionaron los escritos de mayor relevancia, y los que se consideraron más significativos de acuerdo a la tesis planteada en el estudio, tal y como sugiere Zambrano (2012). Para el proceso de lectura y escritura se utilizó el método recursivo (Gasca y Barriga, 2016), es decir, se realizó la lectura, se elaboró un resumen de las ideas principales de cada artículo (Angulo, 2013) y, finalmente, de acuerdo con la información recabada, se inició la escritura, donde se plasmó el propio yo del autor (Gasca y Barriga, 2016). Una vez generado el documento, se sometió a evaluación y revisión para identificar la concordancia con la temática planteada, así como la detección de errores dentro del mismo.

Quien escribe un ensayo requiere de un conjunto de habilidades complejas para expresar y sustentar ideas (Angulo, 2013), además, la elaboración del mismo demanda el desarrollo de operaciones intelectuales, pues quien escribe debe tener la capacidad de buscar, organizar y comprender la información que presentan diversas fuentes bibliográficas, además requiere la capacidad de distinguir las diferentes opiniones de la propia (Gasca y Barriga, 2016).

2.3. Literatura consultada

- Acosta R. R., A. R. Colomer L., H. Ríos L., y M. Martínez C. (2013)** Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio de Batabanó, provincia de Mayabeque. *Cultivos Tropicales* 34:52-60.
- Anderson S. M. de las M., A. Álvarez R. (2020).** El ensayo académico. *Universidad de Lima* 4: 1-5
- Ángeles-Gaspar E., E. Ortiz-Torres, P. A. López y G. López-Romero (2010)** Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.
- Angulo M. N. (2013)** El ensayo: algunos elementos para la reflexión. *Innovación Educativa* 13: 107-121
- Arellano V. J L., I. Rojas M., y G. F. Gutiérrez H. (2014)** Variedades de maíz azul chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad de rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1469-1480
- Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1985)** Manejo de los Ensayos e Informes de los Datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. CIMMYT, México, D. F. 20 p.
- Gasca F. Ma. A., y F. D. Barriga, A. (2016)** Habilidades argumentativas en la producción del ensayo escolar, una experiencia educativa con estudiantes mexicanos de bachillerato. *Perspectiva Educativa, Formación de Profesores* 55: 73-93
- García E. (2004)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5ª Ed. Instituto de Geografía-UNAM, México. 90 p.
- Gil M. A. (2011)** Estudio de caso 5.1: Los patrones varietales en maíz. *In: La biodiversidad en Puebla, estudio del Estado.* CONABIO (Ed). CONABIO. Puebla, México. pp. 232-233.
- Gil M. A., J. de D. Guerrero R., H. López S., P. A. López., G. Alvarado B., R. Hortelano S. R., C. del Á. Hernández G., J. A., Hernández G., y M. Valadez R. (2013)** Potencial de rendimiento de los maíces nativos de la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec. *In: Memoria de Resúmenes. V Reunión Nacional para el Mejoramiento,*

Conservación y Uso de los Maíces Criollos, 25 al 27 de septiembre. B. Coutiño E., V. A. Vidal M., A. Santacruz V., y F. Guevara H. (Eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética, Universidad Autónoma de Chiapas e INIFAP. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Méx. p. 52.

Gil M. A., J. de D. Guerrero R., P. A. López., H. López S., y R. O. Taboada G. (2014) Maíces nativos de la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec: Material base para un programa de fitomejoramiento. XXV Congreso Nacional y V Internacional de Fitogenética. Acta Fitogenética 1:46.

Gil M. A., P. A. López., J. de D. Guerrero R., H. López S., R. O. Taboada G., J. A. Hernández G., y E. Ortiz T. (2015) Selección para rendimiento de grano en maíces nativos de la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec. VI Reunión Nacional de Maíces Nativos: Conocimiento y Aprovechamiento de su Diversidad. Acta Fitogenética 2:84

Hernández S. R., C. Fernández C., y Ma. Del P. Baptista, L. (2014) Metodología de la Investigación. Sexta edición. McGraw-Hill. México, D. F. 634 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI) (2017) Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. INEGI. México. 943 p.

Muñoz-Tlahuiz F., J. de D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López., A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013) Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:515-530.

Pérez de la L. R., H. López S., P. A. López., A. Gil M., A. Santacruz V., y J. de D. Guerrero R. (2011) Evaluación de poblaciones navitas de maíz en ambientes con heladas en Valles Altos de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:703-714.

Rocandio R. M., A. Santacruz V., L. Córdova T., H. López S., F. Castillo G., R. Lobato O..., y R. Ortega P. (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351-361.

Sánchez D. S., A. Muñoz O., y V. A. González H. (2006) Evaluación de la resistencia a sequía de variedades de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) de hábito de crecimiento rastrero y erecto. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:77-84.

Saravia, M. (2006) Orientación metodológica para la elaboración de proyectos e informes de investigación. Metodología de la investigación. Universidad de Barcelona. Barcelona. 18 p.

Zambrano V. J. D. (2012) El ensayo: concepto, características, composición. *Sophia* 8:137.147.

CAPITULO I. VARIEDADES COMPUESTAS, UNA OPCIÓN DE APROVECHAMIENTO DE LA DIVERSIDAD DE LAS POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ

1.1. Resumen

Aun cuando se reconoce que las poblaciones nativas de maíz han sido fuentes valiosas de genes para los programas de fitomejoramiento, los esfuerzos orientados al mejoramiento de las mismas, en las microrregiones donde se originaron, han sido pocos. Una de las propuestas hechas involucra la formación de variedades compuestas; sin embargo, no se encontraron trabajos que documenten su potencial, especialmente cuando el material base son poblaciones nativas sobresalientes. Por ello se realizó esta investigación con los objetivos siguientes: evaluar el comportamiento y rendimiento agronómico de tres variedades compuestas con respecto a sus progenitores y testigos comerciales y, a partir de ello, valorar la viabilidad de este tipo de materiales. Se estructuraron tres experimentos (uno con maíces de grano blanco, otro de amarillo y otro de azul), cada uno incluyó tres ciclos de recombinación de la variedad compuesta correspondiente, las poblaciones progenitoras y al menos dos testigos. Los experimentos se establecieron bajo diseños de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres localidades de la microrregión de procedencia de las poblaciones progenitoras. Se registraron días a floración femenina, altura de mazorca, porcentajes de acame de tallo y raíz, rendimiento de grano y varios de sus componentes. La información se sometió a análisis de varianza combinado y prueba de medias. Los resultados evidenciaron que las variedades compuestas mantuvieron y/o conjuntaron atributos favorables presentes en las poblaciones progenitoras; además, mostraron ganancias de entre 1.8 y 10.6% en rendimiento y una tendencia a una menor afectación del mismo a través de ambientes. Adicionalmente, igualaron o superaron el rendimiento de los testigos. Se concluye que la formación de variedades compuestas a partir de poblaciones nativas sobresalientes representa una opción adecuada de aprovechamiento de los maíces nativos en programas de fitomejoramiento microrregional.

Palabras clave: *Zea mays* L., compuesto varietal, comportamiento agronómico, poblaciones nativas

1.2. Abstract

Even though maize landraces are recognized as valuable gene sources for breeding

programs, the efforts directed to their improvement in the microrregions where they originated, have been limited. One of the proposals involves the formation of composite varieties; however, we did not find studies that demonstrate their potential, particularly when outstanding landraces are the starting material. Therefore, we conducted this study. Its objectives were to evaluate the agronomic performance and yield of three composite varieties in relation to their parents and commercial varieties, and based on the results, to decide on the adequacy of these materials. Three experiments were designed (one with white grain varieties, other with yellow and another with blue grain varieties) each one included three cycles of recombination of the corresponding composite variety, the parental landraces and at least two controls. The experiments were sown under a randomized complete block design, with three replications, in three sites within the microrregion from where the landraces came. We recorded days to silking, ear height, stalk and root lodging percentages, grain yield and several of their components. The results indicate that composite varieties kept and/or assembled favorable traits present among the parents; furthermore, they showed yield gains between 1.8 and 10.6%, and a tendency for it to be less affected across environments. We conclude that the formation of composite varieties from outstanding landraces represents an adequate option for landrace utilization in microrregional breeding programs.

Key words: *Zea mays* L., composite population, agronomic performance, landraces.

1.3. Introducción

Actualmente, en México se reconoce la existencia de 64 razas de maíz, de las cuales 59 se consideran nativas (Sánchez *et al.*, 2000). Contenidas en esas razas existe una gran cantidad de poblaciones nativas, cuyo número potencial podría ser de entre cuatro y seis millones (Gil, 2011), formando un continuo de diversidad, las cuales, aun cuando presentan ciertas características en común, son diferentes entre sí (Muñoz, 2005). A pesar de la existencia de esta enorme riqueza genética, el uso de la misma en fitomejoramiento se ha restringido al empleo de unas cuantas razas, siendo Chalqueño, Cónico, Celaya, Cónico Norteño y Tuxpeño las más utilizadas (Márquez-Sánchez, 2008), y aun en estos casos, sólo se han considerado algunas poblaciones. En opinión de Carvalho *et al.* (2004), González *et al.* (2014) y Ramírez-Díaz *et al.* (2015), lo anterior evidencia que el germoplasma nativo de maíz ha sido utilizado de manera muy limitada. También es muestra de que se ha hecho poco mejoramiento de las poblaciones

nativas *per se*, a pesar de que en estos materiales existen caracteres y alelos favorables y/o novedosos (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015; Gómez *et al.*, 2017).

Afortunadamente ha habido diversas propuestas orientadas al mejoramiento de las poblaciones nativas, tales como la selección masal visual estratificada (Molina, 1983), el esquema de retrocruza limitada (Márquez *et al.*, 2000) y el mejoramiento genético en los nichos ecológicos (Muñoz, 2005). Este último se aplica a escala microrregional, colectando y evaluando las poblaciones nativas ahí sembradas, para seleccionar las sobresalientes dentro de cada componente del patrón varietal, las cuales se propone emplear en la formación de sintéticos (Muñoz, 2005), o más propiamente, de variedades compuestas. De acuerdo con Márquez-Sánchez (1992b), en maíz, una variedad compuesta (o compuesto varietal) es la segunda generación obtenida por apareamiento aleatorio de las plantas de un compuesto balanceado de semillas hecho con poblaciones o variedades no endogámicas y no relacionadas. Este tipo de materiales normalmente se emplean como poblaciones base en programas de selección recurrente y en bancos de germoplasma (Hallauer y Miranda, 1998; Márquez-Sánchez, 2014), aunque se ha mencionado que también pueden emplearse como variedades mejoradas (Márquez-Sánchez, 1992b), aprovechándose como variedades de polinización libre. Camarena *et al.* (2014) agregan que se espera que el rendimiento promedio de la variedad compuesta sea mayor que el promedio de las variedades progenitoras.

Aun cuando se ha señalado que las variedades compuestas pueden emplearse como variedades mejoradas (Márquez-Sánchez, 1992b; Márquez-Sánchez y Sahagún-Castellanos, 2002), no se encontraron trabajos que documenten el potencial de tales materiales, particularmente cuando se forman a partir de poblaciones nativas sobresalientes. Por lo anterior, se condujo la presente investigación, con los objetivos de: a) evaluar y comparar el comportamiento y rendimiento agronómico de tres variedades compuestas con respecto a las poblaciones nativas que las conformaron y a algunos materiales testigo, y b) precisar si la formación de este tipo de variedades es una vía adecuada para aprovechar y capitalizar el potencial genético de las poblaciones nativas sobresalientes.

1.4. Materiales y Métodos

1.4.1. Área del estudio

La investigación se condujo en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec (LHM),

ubicada en el altiplano occidental de Puebla y este de Tlaxcala, a una altitud promedio de 2458 m (Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019). Sus coordenadas extremas son 19° 04' y 19° 43' LN y 97° 20' y 98° 02' LO, abarca una superficie total de 2374.15 km² y en ella predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2020). El área se caracteriza por la presencia de heladas, sequías y suelos poco fértiles (Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013).

Los experimentos se establecieron en tres localidades: Ocotepc (19° 33' 19" LN , 97° 38' 56" LO, 2483 msnm), Máximo Serdán (19° 15' 46" LN, 97° 49' 42" LO, 2394 msnm) y Soltepec (19° 07' 13" LN, 97° 42' 47" LO, 2437 msnm) (Google LLC, 2020).

1.4.2. Material genético

Se evaluaron tres conjuntos de materiales, correspondientes a los principales grupos de coloración de grano presentes en la microrregión: blanco, amarillo y azul (Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019). Cada conjunto estuvo integrado por 10 materiales: cinco poblaciones nativas sobresalientes (progenitoras de las variedades compuestas), seleccionadas previamente según Muñoz (2005), tres ciclos de recombinación de la variedad compuesta correspondiente y dos variedades testigo (Cuadro 2). Sólo en los materiales de grano azul se utilizaron dos ciclos de recombinación de la variedad compuesta y tres testigos.

Cuadro 2. Material genético estudiado en cada grupo de coloración. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.

Material	Material genético		
	Grano blanco	Grano amarillo	Grano azul
Poblaciones nativas	CP088	CP113	CP089
	CP131	CP118	CP147
	CP144	CP163	CP166
	CP186	CP316	CP184
	CP198	CP356	CP197
Variedades compuestas	VC1B	VC1A	VC3Z
	VC2B	VC2A	VC4Z
	VC3B	VC3A	-----
Variedades testigo	S. Serdán	V55A	VS09
	H48	Cirrus®	H-12
	----	-----	H-14T

†VC = Variedad Compuesta, el número indica el ciclo de recombinación; B = Blanco, A = Amarillo, Z = Azul.

1.4.3. Diseño y unidad experimental

Para cada conjunto se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de tres surcos de 5 m de largo y 0.85 m de ancho. En cada surco se sembraron 22 plantas, dos por cada sitio, con un espaciamiento de 0.50 m.

1.4.4. Manejo de los experimentos

Los experimentos se establecieron los días 22 de abril (Ocoatepec), 26 de abril (Máximo Serdán) y 2 de mayo (Soltepec) de 2019. El manejo agronómico fue el tradicional usado por el agricultor, excepto por la fertilización y el control de malezas. Así, se aplicó la dosis 150-50-00 (1/3 del nitrógeno y todo el fósforo en la primera labor y el nitrógeno restante en la segunda) y después de la segunda labor, se aplicaron dos herbicidas mezclados (dicamba + 2,4-D y atrazina), a una dosis de un litro por hectárea. Todos los experimentos se desarrollaron en régimen de lluvias (temporal). Las fechas de cosecha fueron: 11 y 22 de noviembre de 2019 en Ocoatepec y Máximo Serdán, respectivamente, y 4 de diciembre de 2019 en Soltepec.

1.4.5. Variables evaluadas

Las variables medidas fueron: a) Caracteres fenológicos y vegetativos: días a floración femenina (DFF), y altura de mazorca (ALM); b) Caracteres agronómicos: porcentaje de plantas con acame de raíz (PACR) y tallo (PACT), factor de desgrane (FACT) y rendimiento de grano (REND); c) Caracteres de mazorca y grano: longitud (LGM) y diámetro de la mazorca (DMZ), número de hileras por mazorca (NHIL), número de granos por hilera (NGH) y peso hectolítrico (PHE).

La variable DFF se registró por unidad experimental, en tanto que ALM se midió en cinco plantas, acorde a lo reportado por Alvarado-Beltrán *et al.* (2019). Los datos PACR y PACT se valoraron según CIMMYT (1985), tomando como unidad de medición la parcela completa. FACT y REND (ajustado al 14 % de humedad) se midieron de acuerdo a lo expuesto por Alvarado-Beltrán *et al.* (2019), en tanto que las variables de mazorca se cuantificaron como detallan Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014). El peso hectolítrico se obtuvo por extrapolación, a partir del peso de un volumen constante de 250 ml de grano.

1.4.6. Análisis estadístico

Para cada grupo de coloración de grano, las variables seleccionadas se sometieron a un análisis de varianza combinado y, donde procedió, a una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) en el programa SAS University® (SAS, 2020). En el caso de las variables PACR y PACT, previo a su análisis, se transformaron con la función raíz cuadrada (Steel y Torrie, 1985). En base a Sánchez-Domínguez *et al.* (2006), se construyó un cuadro de promedios por material, en el cual, para cada variable, se identificó el grupo estadísticamente superior por medio de la prueba de Tukey, para posteriormente contabilizar el número de caracteres favorables de cada material. Para cada grupo de coloración, se graficó el rendimiento obtenido por cada material a través de localidades, para valorar su comportamiento, según las recomendaciones de Muñoz (2005).

1.5. Resultados

El Cuadro 3 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para los tres grupos de coloración de grano. Para localidades hubo diferencias significativas en la mayoría de las variables estudiadas: 64% en los maíces de grano blanco, 82% en los amarillos y 91% en los azules. Lo anterior es un indicativo de que al interior de la zona de estudio existió variación ambiental. En Máximo Serdán los genotipos fueron más precoces en comparación con las otras dos localidades (99 días en blancos, 90 en amarillos y 92 en azules). En Ocoteppec y Máximo Serdán, en general, se registraron menores alturas de mazorca (≤ 168.7 cm), y menores porcentajes de acame de raíz ($\leq 6.5\%$) y tallo ($\leq 15.8\%$) en comparación con Soltepec. En las dos primeras localidades también se tuvieron los mayores rendimientos de grano (≥ 8.5 t·ha⁻¹) para los tres grupos de coloración, los más altos factores de desgrane (≥ 0.90) en maíces blancos y azules, y las mazorcas de mayor longitud (≥ 15.2 cm), diámetro (≥ 46.2 mm) y número de granos por hilera (≥ 30.1) en maíces amarillos.

En cuanto a la fuente de variación ‘materiales’, la mayor proporción de diferencias estadísticas se encontró en los grupos de grano blanco (54.5%) y azul (100%), no así en el amarillo (9%). Ello indica que en los dos primeros grupos existió un mayor nivel de diferenciación fenotípica entre genotipos y que el de granos amarillos resultó ser un grupo homogéneo en cuanto al conjunto de variables evaluadas.

En los maíces de grano blanco y azul, la interacción localidad×material resultó no significativa en nueve de las once variables, lo cual implica que su expresión en los diferentes genotipos fue constante a través de ambientes. Rendimiento de grano fue una de las variables que en estos dos grupos sí mostró interacción. En maíces amarillos hubo diferencias para la interacción en 54.5% de las variables, implicando menor estabilidad en el nivel de expresión de tales atributos a través de ambientes.

El Cuadro 4 muestra el comportamiento agronómico de las variedades en cada grupo de coloración de grano. Los resultados indicaron que, en maíces blancos, cuatro de las poblaciones progenitoras (PP) sobresalieron en una o dos de las características evaluadas, coincidiendo mayormente en peso hectolítrico y otras en factor de desgrane. El promedio del número de características favorables (NCF) de las PP fue de 1.0. Las variedades compuestas (VC) tuvieron un promedio de NCF ligeramente superior al de las PP, manteniendo los altos factores de desgrane presentes en ellas y el mismo nivel de expresión de días a floración femenina, altura de mazorca, porcentajes de acame y características de mazorca importantes para los agricultores. Lo anterior sugiere que las VC preservaron los atributos presentes en el conjunto de PP. El ciclo más avanzado de recombinación (VC3B) mantuvo el nivel de expresión de la VC2B en 91% de las características, excepto en peso hectolítrico (aunque con un valor muy próximo en este último). El promedio de rendimiento de grano de las VC (9584 kg·ha⁻¹) fue superior al de las PP (9406.8 kg·ha⁻¹).

En maíces blancos, al comparar las VC contra los testigos, se observó que el híbrido tuvo un mayor NCF: fue más precoz, de menor altura y presentó menor acame de raíz y tallo. Estos son atributos a mejorar en las VC, pues si bien tuvieron rendimientos de grano numéricamente mayores al del híbrido (la VC3B lo superó en 931 kg), se vieron superadas en las otras características ya mencionadas. El NCF y el rendimiento de las VC fueron muy similares al de la variedad de polinización libre ‘Sintético Serdán’, también derivada de poblaciones nativas sobresalientes.

En maíces de grano amarillo, la única característica en la que hubo variación fue días a floración femenina (Cuadro 3). De las PP, dos fueron precoces, característica que se mantuvo en las VC más avanzadas. Para el resto de atributos, la homogeneidad presente entre las cinco PP se mantuvo en las VC. Aun cuando no existieron diferencias estadísticas en rendimiento de

grano, en términos agronómicos las VC tuvieron una ganancia de 3.2% respecto a las PP. Los testigos fueron estadísticamente iguales en todas las características y presentaron el mismo NCF que las VC. Sin embargo, las VC presentaron valores numéricos superiores en factor de desgrane y rendimiento de grano. En este último, las VC superaron en promedio en 19 y 6% a la variedad de polinización libre y al híbrido.

El conjunto de maíces azules resultó con mayor variación y mayor NCF. En las PP, el NCF fluctuó entre 5 y 9; presentaron bajos porcentajes de acame de tallo, mazorcas anchas y con más de 14 hileras, y factores de desgrane ≥ 0.90 . Como subgrupo, el promedio de NCF en las PP fue de 6.2. Las VC de este grupo llevan más ciclos de recombinación que las de los otros conjuntos, y se caracterizaron por integrar atributos favorables dispersos entre las PP, situación que se reflejó en el mayor promedio de NCF de las VC (ocho). Adicionalmente, las VC tuvieron alturas de mazorca muy próximas al promedio presente en las PP y pesos hectolítricos ligeramente mayores a los de las PP. Este comportamiento sugiere que las VC (particularmente la VC4Z) conjuntaron y mantuvieron características presentes en las PP, seleccionadas precisamente por su adecuado comportamiento agronómico. En cuanto a rendimiento de grano, el promedio de las VC fue 10.6% más alto que el de las PP.

Los testigos en este grupo fueron competitivos, particularmente los híbridos y en específico el 'H-12'. No obstante, las VC presentaron un igual o mayor NCF, sobresaliendo en características como precocidad, mazorca más ancha y un alto factor de desgrane. En rendimiento de grano, las VC igualaron el de los híbridos y superaron el de la variedad de polinización libre.

En la Figura 2 se muestra el rendimiento de grano de cada grupo a través de localidades. Ocoatepec y Máximo Serdán fueron los mejores ambientes, con rendimientos promedio de 9557 y 9232 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, superando estadísticamente al obtenido en Soltepec (6949 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Analizando el comportamiento de los materiales de grano blanco (Figura 2a) se observa que las VC (particularmente VC1B y VC3B), mantuvieron los rendimientos altos y constantes mostrados por tres de las PP en los ambientes más favorables y, al igual que ellas, los disminuyeron al pasar al ambiente más restrictivo. Esta respuesta contrasta en cierta medida con la observada en las otras dos PP, particularmente la CP88, la cual, si bien alcanzó el máximo rendimiento en Ocoatepec, mostró una disminución continua en la medida en que los ambientes

fueron menos favorables. Porcentualmente las VC disminuyeron menos su rendimiento al pasar de Ocotepc a Soltepec (25, 25 y 33%, para VC1B, VC2B y VC3B, respectivamente) en comparación con las PP, donde los porcentajes oscilaron de 25 a 51%. Las VC de grano blanco tuvieron rendimientos comparables al del híbrido y la variedad de polinización libre ‘Sintético Serdán’.

En los maíces de grano amarillo (Figura 2b), al igual que los de grano blanco, las VC (en especial VC1A y VC3A) mantuvieron los rendimientos y comportamiento de las tres PP que los afectaron en menor medida al variar los ambientes de producción (CP118, CP316 y CP356). Las otras dos PP, al igual que VC2A, mostraron una tendencia a disminuir su rendimiento conforme disminuyó el potencial ambiental. Tanto las VC como las PP mostraron menor interacción con ambientes que la variedad de polinización libre ‘V55A’ y tuvieron rendimientos comparables a los mostrados por el híbrido comercial. Lo anterior muestra que en las VC se conjuntaron atributos y comportamientos favorables presentes en varias de sus PP y que son competitivas con algunas variedades mejoradas comerciales.

En la Figura 2c se observa el comportamiento del rendimiento de los maíces de grano azul. Las VC en las tres localidades mantuvieron altos rendimientos, superando a varias de sus PP. Adicionalmente, la producción de grano de las VC se mantuvo relativamente constante en los ambientes favorables. Sin embargo, en los ambientes desfavorables disminuyeron su rendimiento, pero no tanto como las PP. En rendimiento promedio, las VC superaron en 733 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a las PP y en 1543 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a la variedad sintética ‘VS09’, asimismo, lograron igualar los niveles de producción de los híbridos.

Al comparar el rendimiento de las VC vs. PP en los tres grupos de coloración, se observó que las VC mantuvieron el potencial productivo de sus progenitores. El rendimiento promedio de las PP en maíces de grano blanco, amarillo y azul fue de 9407 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 7702 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y 8376 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, mientras que en las VC fue de 9584, 7950 y 9265 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Por otra parte, en las VC, se observó que a partir del segundo ciclo de recombinación, los rendimientos se mantuvieron más o menos constantes.

1.6. Discusión

Analizando los resultados de localidades, se encontró que Ocotepc y Máximo Serdán fueron

los mejores ambientes de producción. Ello puede atribuirse a que aun cuando en los últimos diez años con datos, Soltepec tiene mayor precipitación anual (622.7 mm) que Ocoatepec (642.9 mm) y Máximo Serdán (597.0 mm) (CICESE, 2021), el 2019 fue un año más lluvioso en estas dos últimas localidades, por lo que, en ellas, los efectos de la canícula no fueron tan acentuados como en Soltepec, donde adicionalmente la presencia de vientos fuertes ocasionó mayores problemas de acame. Con respecto a la interacción localidades×materiales, se encontró que fue no significativa para el 82% de las variables en maíces blancos y azules, y significativa en 54.5% en amarillos, lo que implica que el nivel de expresión de las características medidas en los materiales se mantuvo constante a través de localidades, lo cual es un aspecto deseable. Cuando ello no ocurre, se sugiere valorarla para evitar descartar variedades con un comportamiento promedio no tan bueno, pero que se desempeñan bien en ambientes específicos, o seleccionar una variedad con comportamiento promedio aceptable, pero con desempeño pobre en un ambiente particular (Denis y Gower, 1996).

Sobre los resultados directamente relacionados con los objetivos de la investigación, aquéllos conllevaron a los siguientes hallazgos: a) Las variedades compuestas mantuvieron atributos favorables presentes en las poblaciones progenitoras; b) Las variedades compuestas igualaron o superaron el rendimiento de los testigos.

Las variedades compuestas (VC) mantuvieron atributos favorables presentes en las poblaciones progenitoras (PP): Un supuesto implícito de la formación de VC es que en ellas se conjuntarán los atributos favorables presentes en las poblaciones que las integran. Los resultados de la presente investigación validaron tal supuesto, pues las VC no sólo mantuvieron el nivel de expresión de caracteres sobresalientes presentes en las PP, tales como factor de desgrane y diversos componentes del rendimiento, sino que en algunos casos, conjuntaron los presentes en distintas PP. Ello concuerda con lo planteado por Márquez (1991) en cuanto a que si bien las VC tienen por objeto agrupar poblaciones de origen diverso, con alguna característica en común, se espera que también combinen características deseables dispersas en diferentes materiales. Esto se cumplió en este caso, aun cuando las PP no tuvieron un origen tan diverso, pues provienen de una misma microrregión.

Con respecto al rendimiento, el de las VC de maíces blancos y amarillos fue estadísticamente igual al de las PP, y en azules, el de las VC fue mayor que el de varias PP. El

promedio del rendimiento en las VC sobrepasó el de las PP en 10.6%, 3.2% y 1.8% en los grupos azul, amarillo y blanco, respectivamente. Esto confirma lo señalado por Camarena *et al.* (2014) en cuanto a que se espera que las VC sean capaces de superar el promedio de rendimiento de las variedades parentales. Aun cuando el aumento en rendimiento en las VC no fue muy alto, igualó o excedió la heterosis promedio obtenida en cruza intervarietales con poblaciones de origen diverso en Morelos (Cervantes-Adame *et al.*, 2020) y quedó en el intervalo dado por Palemón *et al.* (2012) para cruza intervarietales en Guerrero. Las ganancias moderadas obtenidas con la formación de VC pueden atribuirse al hecho de que las poblaciones apareadas provienen de un espacio geográfico relativamente pequeño (2374 km²). De acuerdo con Romero *et al.* (2002), la heterosis intervarietal está positivamente correlacionada con la divergencia geográfica, por lo que se espera que aquella sea menor cuando se aparean progenitores de una misma región.

Una ventaja adicional en las VC fue que, en general, su rendimiento tuvo menor afectación a través de ambientes que el de varias PP. Las poblaciones nativas presentan altos niveles de diversidad (Ortega, 2003) por lo que se espera que la VC, al ser resultado del apareamiento aleatorio de tales materiales, tenga un nivel de variación genética aún mayor (Hallauer y Miranda, 1988). Ello puede conferirles una mayor capacidad de amortiguamiento ante cambios ambientales. Al respecto, Carena (2005) menciona que la heterogeneidad genética en híbridos poblacionales puede conferir una mayor plasticidad. Las VC mantuvieron cierta estabilidad a partir del segundo ciclo de recombinación, comportamiento explicable porque de manera análoga a las variedades sintéticas, después de la primera generación de entrecruzamiento, se requieren una o dos generaciones más de apareamiento aleatorio para alcanzar el equilibrio de ligamiento (Márquez-Sánchez, 1992a).

Las VC igualaron o superaron el rendimiento de los testigos. Los resultados mostraron que los híbridos presentaron iguales (maíces azules y amarillos) o mejores (maíces blancos) atributos de planta (tales como menor altura de mazorca, acame de raíz y de tallo) que las VC, situación explicable porque son características en las que se pone énfasis durante la formación de híbridos (Duvick, 2005). Cuando se trató de variedades de polinización libre, las VC tuvieron niveles de expresión muy similares al de aquéllas, comportamiento atribuible a que, por su forma de obtención (Arellano *et al.*, 2013), son más parecidas a las VC. Con relación al

rendimiento, las VC tuvieron valores comparables al de las variedades mejoradas. Las diferencias numéricas fueron más notorias con respecto a las variedades de polinización libre (similares en constitución genética), particularmente en maíces amarillos y azules, no así en blancos, ya que el testigo empleado ('Sintético Serdán') fue generado de manera análoga a las VC estudiadas. La capacidad de las poblaciones nativas de igualar o superar el rendimiento de las mejoradas ha sido documentada en múltiples microrregiones (Muñoz, 2005; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Ortiz-Torres *et al.*, 2013; Cabrera *et al.*, 2015). Los datos encontrados en este trabajo apuntan a que dicho comportamiento se mantiene en las VC derivadas de tales poblaciones. A pesar de ello, se evidencia la conveniencia de hacer selección en las VC para características de planta como las ya mencionadas.

Los elementos previamente expuestos apuntan a que la formación de VC representa una opción adecuada para aprovechar, en una primera etapa, las poblaciones nativas sobresalientes detectadas en programas de fitomejoramiento a escala microrregional. Algunas ventajas asociadas a este tipo de materiales son que, al estar integradas por poblaciones nativas, y mantener las características de éstas, resultarán análogas a los materiales que prefiere el agricultor que emplea maíces nativos, por lo que podrá utilizarlas para los usos tradicionales que acostumbra, practicar selección en ellas para adecuarlas a sus necesidades y recuperar semilla a la cosecha. Los resultados de esta investigación proveen evidencias que sustentan lo planteado por Márquez-Sánchez (1991, 1992b) y Kutka (2011) en cuanto a que las variedades compuestas pueden ser empleadas como variedades mejoradas de polinización libre.

1.7. Conclusiones

El comportamiento de las VC fue semejante al de las poblaciones progenitoras, manteniendo o mejorando en diferente medida el nivel de expresión de diversas características, y conjuntando las favorables en algunos casos. Con respecto a los testigos, su comportamiento fue similar en rendimiento de grano. Por lo anterior, se considera que las variedades compuestas constituyen una vía adecuada para aprovechar el potencial genético contenido en los maíces nativos sobresalientes identificados en programas de fitomejoramiento microrregional.

1.8. Bibliografía

- Alvarado-Beltrán G., H. López-Sánchez, A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, E. Valadez-Moctezuma, Ma. A. Gutiérrez-Espinosa, ... y O. R. Taboada-Gaytán (2019)** Morphological variability of native maize (*Zea mays* L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo* 51:217-234.
- Arellano V. J. L., I. Rojas M. y G. F. Gutiérrez H. (2013)** Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:999-1011, <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i7.1141>
- Camarena M. F., J. Chura Ch. y R. H. Blas S. (2014)** Mejoramiento Genético y Biotecnológico de Plantas. UNALM-AGROBANCO. Perú. pp: 194-195.
- Carena M. J. (2005)** Maize commercial hybrids compared to improved population hybrids for grain yield and agronomic performance. *Euphytica* 141:201-208, <https://doi.org/10.1007/s10681-005-7072-0>
- Carvalho V. P., C. F. Ruas, J. M. Ferreira, R. M. P. Moreira and P. M. Ruas (2004)** Genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) landraces assessed by RAPD markers. *Genetics and Molecular Biology* 27:228-236, <https://doi.org/10.1590/s1415-47572004000200017>
- CIMMYT, Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo (1985)** Manejo de los Ensayos e Informes de los Datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. CIMMYT, México, D. F. 20 p.
- Cervantes-Adame Y. F., H. Rebolloza-Hernández, E. Broa-Rojas, A. Olvera-Velona, y G. Bahena-Delgado (2020)** Efectos de heterosis en poblaciones nativas de maíz y sus cruza F₁. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 22:11-19, <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.992>
- Denis J-B and Gower J. C. (1996)** Asymptotic confidence regions for biadditive models: interpreting genotype-environment interactions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 45:479-493, <https://doi.org/10.2307/2986069>
- Duvick D. N. (2005)** The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy* 86:83-145, [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)86002-x](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)86002-x)

- Gil M. A. (2011)** Estudio de caso 5.1: Los patrones varietales en maíz. *In: La Biodiversidad en Puebla, Estudio del Estado*. A. Handal S., B. Cantú M., O. A. Villarreal E. B., P. A. López, L. López R., A Cruz A. y F. Camacho R. (eds.). CONABIO. Puebla, México. pp. 232-233.
- Gómez M. N. O., M. A. Cantú A., M. G. Vázquez C., C. del Á. Hernández G., F. Aragón C., A. Espinosa C. y M. Tadeo R. (2017)** Variedad mejorada de maíz azul ‘V-239AZ’ para las regiones semicálidas de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1905-1910, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.714>
- González M. J., J. A. López S., F. Briones E., S. E. Varela F., C. A. Reyes M. y J. A. Pecina M. (2014)** Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. *Investigación y Ciencia* 62:76-83
- Google LLC (2020)** Google Earth Pro® 7.3.3.7786 (Enero 2021).
- Hallauer A. R. and Miranda F., J. B. (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. pp. 358-361.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (2020)** Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Puebla. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293109> (Enero 2021).
- Kutka F. (2011)** Open-pollinated vs. hybrid maize cultivars. *Sustainability* 3:1531-1554, <https://doi.org/10.3390/su3091531>
- López, P. A., E. Ortiz-Torres, A. Gil-Muñoz, J. de D. Guerrero-Rodríguez, O. R. Taboada-Gaytán, H. López-Sánchez y J. A. Hernández-Guzmán (2020)** Patrón varietal y rendimiento de grano de maíces locales del Valle de Tehuacán, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(4-A):525-532, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4-A.525>
- Márquez-Sánchez F. (2014)** Epistasis en la variedad, la cruce varietal, el compuesto varietal y el sintético del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:319-324, <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.319>
- Márquez-Sánchez F. (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I.: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5:151-166.
- Márquez-Sánchez F. (1992a)** Inbreeding and yield prediction in synthetic maize cultivars made

- with parental lines: I. Basic methods. *Crop Science* 32:345-349, <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183x003200020013x>
- Márquez-Sánchez F. (1992b)** On the yield prediction of composite varieties of maize. *Maydica* 37:271-274
- Márquez S. F. (1991)** Genotecnia Vegetal. Método, Teoría, Resultados. Tomo III. AGT Editor, S. A. México, D. F. pp. 420-429.
- Márquez-Sánchez F. y J. Sahagún-Castellanos (2002)** Synthetic varieties or composite varieties? *Maydica* 47:103-105.
- Márquez S. F., L. Sahagún, C., V. J. Carrera A., y G. Barrera E. (2000)** Retrocruza Limitada para el Mejoramiento Genético de Maíces Criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.
- Molina G. J. D. (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 35 p.
- Muñoz O. A. (2005)** Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Glosario Centli-Maíz. Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 211 p.
- Muñoz-Tlahuiz F., J. de D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López., A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarías* 4:515-530.
- Ortega P. R. (2003)** La diversidad del maíz en México. In: Sin Maíz No Hay País. G. Esteva; C. Marielle (coords.) Museo Nacional de Culturas Populares. México, D. F. pp. 123-154
- Ortiz-Torres E., P. A. López., A. Gil-Muñoz, J de D. Guerrero-Rodríguez, H. López-Sánchez, O. R. Taboada-Gaytán, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19:225-238, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.006>
- Palemón A. F., N. O. Gómez M., F. Castillo G., P. Ramírez V., J. D. Molina G. y S. Miranda C. (2012)** Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:157-171, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i1.1490>

- Ramírez-Díaz J. L., A. Ledesma-Miramontes, V. A. Vidal-Martínez, N. O. Gómez-Montiel, J. A. Ruiz-Corral, G. A. Velázquez-Cardelas, ... y L. A. Nájera-Calvo (2015)** Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:119-131, <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.2.119>
- Rocandio-Rodríguez M., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, H. López-Sánchez, F. Castillo-González, R. Lobato-Ortiz, ... y R. Ortega-Paczka (2014)** Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351-361, <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.351>
- Romero P. J., F. Castillo G. y R. Ortega P. (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:107-115
- Sánchez-Domínguez S., A. Muñoz-Orozco y V. A. González-Hernández (2006)** Evaluación de la resistencia a sequía de variedades de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) de habito de crecimiento rastrero y erecto. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:77-84, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2004.09.047>
- Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59, <https://doi.org/10.1007/BF02866599>
- SAS, Statistical Analysis System (2020)** SAS University Edition. https://www.sas.com/es_mx/software/university-edition.html (Enero 2020).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables estudiadas. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.

Var	Cuadrados medios											
	Grano blanco				Grano amarillo				Grano azul			
	Loc	Mat	Loc*Mat	Error	Loc	Mat	Loc*Mat	Error	Loc	Mat	Loc*Mat	Error
DFE	214.7**	81.1**	4.1ns	4.6	513.7**	60.8*	17.6ns	13.6	520.9**	133.2**	8.6*	4.1
ALM	8531.9**	3279.3**	97.7ns	119.9	5590.1**	2082.1ns	987.6**	394.5	9455.8**	1163.9**	59.8ns	128.6
PACR	5.5**	6.5**	0.4ns	0.5	1.1ns	3.2ns	0.2ns	1.1	5.5**	3.1**	0.4ns	0.6
PACT	0.2ns	4.6**	0.5ns	0.9	41.6**	1.2ns	2.1**	0.9	32.3**	5.1**	0.8ns	0.7
LGM	4.2*	1.4ns	0.9ns	1.1	7.3**	3.3ns	2.2*	1.1	2.0ns	3.0**	0.7ns	0.8
DMZ	1.4ns	9.7ns	7.3ns	7.2	51.4**	10.3ns	12.3**	3.6	13.7*	23.1**	6.1ns	3.7
NHIL	7.9**	0.9ns	0.6ns	0.7	9.1**	0.7ns	0.6ns	0.6	12.8**	6.0**	1.1ns	1.4
NGH	7.9ns	11.1ns	6.4*	3.1	77.0**	7.3ns	7.3ns	6.1	10.7*	18.7**	3.1ns	3.4
PHE	0.3ns	10.3**	0.8ns	3.2	106.4**	5.5ns	7.3**	2.8	27.4**	106.8**	5.3ns	3.2
FACT	0.0004*	0.002**	0.0001ns	0.0001	0.001ns	0.002ns	0.001**	0.0004	0.0002*	0.002**	0.0001ns	0.0001
REND	7.6 ^{E+07} **	1.96 ^{E+06} ns	2.4 ^{E+06} *	1.1 ^{E+06}	9.4 ^{E+07} **	2.0 ^{E+06} ns	2.9 ^{E+06} ns	1.6 ^{E+06}	2.4 ^{E+07} **	3.8 ^{E+06} *	1.3 ^{E+06} *	6.0 ^{E+05}

Var = variable; Loc = localidad; Mat = material; Loc*Mat = localidad×material; * = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$; ns = no significativo

Cuadro 4. Comportamiento agronómico de las variedades evaluadas. Microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, 2019.

Maíces de grano blanco												
	DFE	ALM	PACR	PACT	LGM	DMZ	NHIL	NGH	PHE	FACT	REND	NCF
	(días)	(cm)	($\sqrt{\%}$)	($\sqrt{\%}$)	(cm)	(mm)	(Núm)	(Núm)	(g)		(kg·ha ⁻¹)	
CP088	107.0	179.0	2.9	2.9	14.8	50.9	15.7	28.3	69.1	0.91a	9530	1
CP131	101.0	168.1	2.2	3.5	15.2	49.4	15.5	28.1	71.8a	0.90	8633	1
CP144	99.3	170.0	2.6	3.5	15.8	51.4	15.7	30.8	71.0a	0.91a	9544	2
CP186	101.6	177.6	2.2	3.3	15.3	52.7	15.9	28.6	69.6	0.89	9723	0
CP198	100.1	163.4	1.4	2.7	15.3	50.9	14.9	29.5	71.3a	0.89	9604	1
VC1B	100.6	160.0	2.3	3.4	15.9	52.3	15.5	30.9	70.0a	0.91a	9093	2
VC2B	100.3	171.8	2.4	2.8	15.6	51.6	15.4	30.6	70.2a	0.91a	10095	2
VC3B	101.0	172.5	2.6	3.5	15.7	52.2	15.3	29.7	69.8	0.91a	9564	1
S.S.	98.8	168.0	1.9	3.3	15.9	51.1	15.4	31.0	70.7a	0.91a	9765	2
H48	94.8a	112.5a	0.0a	1.1a	15.9	50.0	16.0	30.3	72.5a	0.87	8633	5
DMS	3.34	17.0	1.0	1.5	1.6	4.1	1.2	2.7	2.7	0.01	1660	
Maíces de grano amarillo												
CP113	93.1a	133.5	1.2	3.8	14.2	44.7	13.4	28.1	73.3	0.90	7200	1
CP118	98.4	148.6	2.6	3.5	14.9	46.3	13.7	28.8	73.3	0.91	8245	0
CP163	98.6	149.2	2.3	4.0	14.8	45.5	13.6	28.1	73.0	0.89	7384	0
CP316	94.2a	131.2	1.1	3.5	15.1	46.0	13.3	29.7	74.0	0.90	7851	1
CP356	97.1	144.2	1.6	3.4	14.9	44.9	13.7	28.9	72.9	0.90	7830	0
VC1A	96.3	130.6	2.0	3.4	15.3	45.8	14.0	29.6	73.3	0.90	8076	0
VC2A	95.0a	144.5	1.8	3.8	15.0	45.9	13.7	29.4	73.9	0.89	7867	1

Cuadro 4. Continuación

Maíces de grano amarillo												
	DFE	ALM	PACR	PACT	LGM	DMZ	NHIL	NGH	PHE	FACT	REND	NCF
	(días)	(cm)	($\sqrt{\%}$)	($\sqrt{\%}$)	(cm)	(mm)	(Núm)	(Núm)	(g)		(kg·ha ⁻¹)	
VC3A	94.2a	142.6	2.1	3.6	14.8	45.1	13.2	29.1	73.0	0.91	7908	1
V55A	90.2a	105.8	1.2	2.9	15.0	43.0	14.0	30.4	75.5	0.87	6656	1
Cirrus	93.1a	110.1	0.9	3.0	16.5	43.6	13.9	31.1	74.2	0.87	7483	1
DMS	5.7	30.9	1.6	1.4	1.6	2.9	1.2	3.8	2.6	0.03	2013	
Maíces de grano azul												
CP89	99.1	165.5	3.2	3.6a	14.2a	49.6a	15.1a	27.9	67.6	0.91a	8792a	6
CP147	89.7a	149.9a	1.9a	3.8a	14.9a	48.5a	14.8a	28.5a	67.1	0.90a	7869	9
CP166	94.8	166.4	2.3	3.4a	14.0	50.0a	13.9a	26.4	67.0	0.91a	8995a	5
CP184	92.0a	156.0	1.6a	3.0a	14.1	49.6a	15.5a	27.4	66.1	0.90a	7863	6
CP197	95.3	149.4a	2.3	4.9	14.3a	48.1a	15.4a	27.6	66.7	0.91a	8361a	6
VC3Z	93.2	155.1	2.0a	4.2a	14.3a	48.8a	15.3a	26.9	68.2	0.91a	9147a	7
VC4Z	92.7a	160.8	2.1a	4.0a	14.9a	49.7a	15.6a	28.6a	68.0	0.91a	9384a	9
VS09	99.4	133.6a	1.3a	3.5a	15.1a	47.1a	14.7a	29.0a	74.8a	0.87	7722	8
H12	99.4	138.1a	1.0a	4.1a	15.5a	46.4	14.8a	30.4a	72.6a	0.88	9363a	8
H14T	101.1	140.6a	1.9a	5.6	15.6a	45.2	13.0	30.9a	75.1a	0.88	9111a	6
DMS	3.1	17.6	1.2	1.3	1.3	3.0	1.8	2.8	2.7	0.01	1212	

Medias con letras iguales en el sentido de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DMS = diferencia mínima significativa; NCF = Número de características favorables.

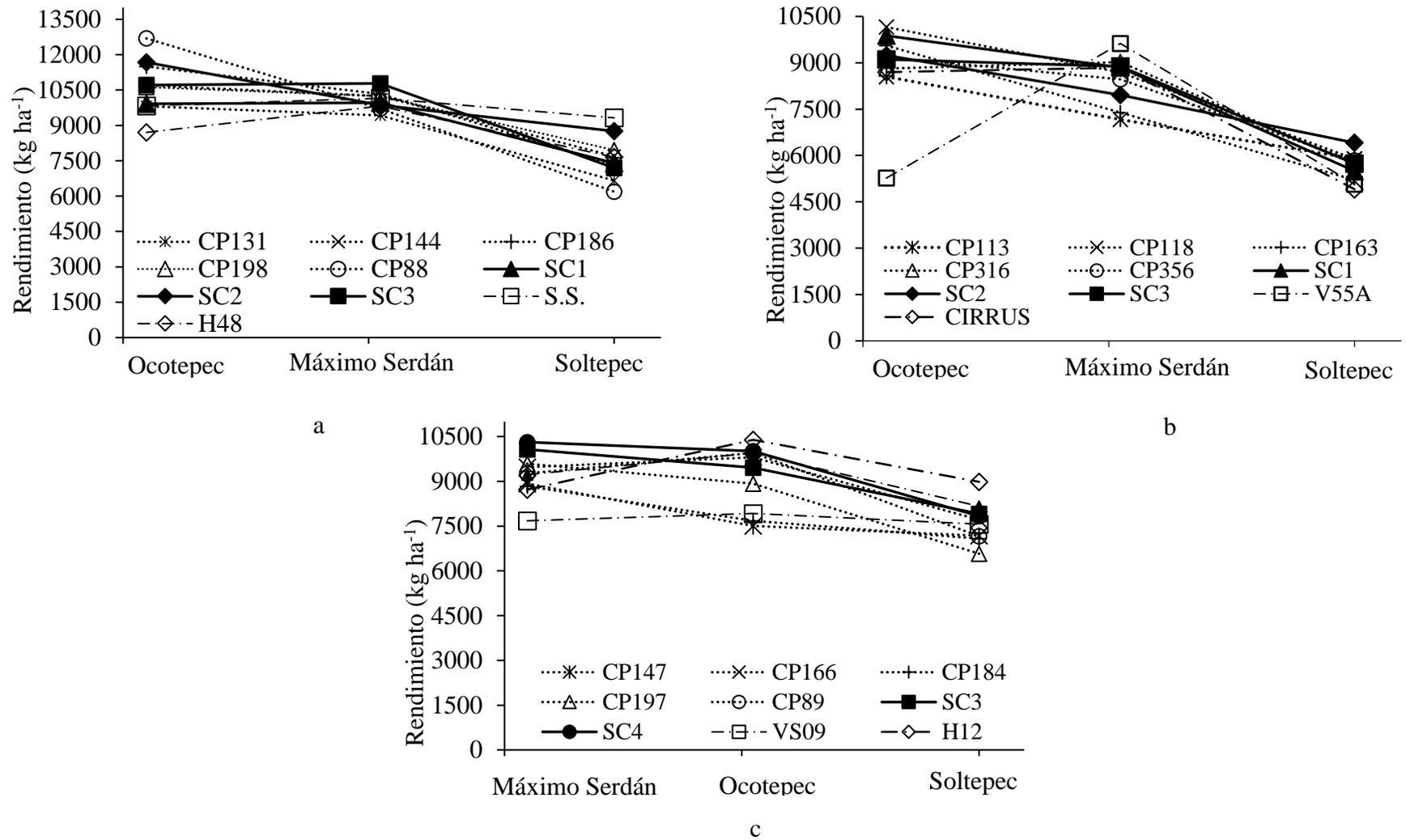


Figura 2. Rendimiento promedio de grano a través de localidades para las diferentes variedades evaluadas en el estudio (a) Maíces blancos; (b) Maíces amarillos; (c) Maíces azules.

CAPITULO II. VARIEDADES COMPUESTAS: CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LA DIVERSIDAD FITOGENÉTICA LOCAL DE MAÍZ

2.1. Resumen

La enorme riqueza genética y el gran potencial agronómico de las poblaciones nativas de maíz son elementos que deben ser conservados, aprovechados y utilizados en estrategias agrícolas y en la generación de recursos para los agricultores mexicanos. La creación de variedades compuestas (VC) se presenta como una alternativa para lograr tal fin, pues este tipo de materiales pueden formarse a partir de germoplasma nativo sobresaliente. El análisis realizado en este estudio permite establecer que las VC pueden ser un elemento de gran utilidad para el agro campesino mexicano, pues presentan características útiles (mayor capacidad de amortiguamiento de cambios ambientales, rendimiento superior al promedio de las poblaciones progenitoras, concentración de caracteres favorables, entre otras), particularmente para los agricultores de áreas de temporal. Finalmente, se puede mencionar que las VC de maíz permiten la conservación de la diversidad biológica, pues en su formación se retoma la utilización de los recursos genéticos locales, se busca la prevención antes que la solución (producto de su mayor capacidad de adaptación y resistencia) y se promueve la utilización del recurso genético a un ritmo que no ocasiona afectación a largo plazo, por lo que no se limitan las aspiraciones de las generaciones futuras y se permite que el recurso genético continúe evolucionando en el contexto en el que se encuentra inmerso.

Palabras clave: Diversidad fitogenética, fitomejoramiento, poblaciones nativas, nicho ecológico, variedades compuestas.

2.2. Abstract

The huge genetic richness and the large agronomic potential of maize landraces are elements that need to be conserved and used in agricultural strategies, and in the generation of income for Mexican peasants. Here, the development of composite varieties (CV) is presented as an alternative for such end, because this type of varieties can be formed from outstanding landrace germplasm. The analysis developed in this study enables us to establish that CV can be a useful element for peasants in the Mexican agriculture, since those varieties exhibit useful traits (better

buffering capacity when faced to environmental changes, grain yields greater than the average of their parent populations, concentration of favorable traits, among others) mainly for peasants of rainfed areas. Lastly, we can say that maize CV promote the conservation of biological diversity, because: a) the use of local genetic resources is considered in their development, b) prevention is sought before solution (as a result of their greater adaptation and resistance capacities), and c) it promotes the use of the genetic resource at a rhythm that does not cause negative effects in the long term, thus not limiting the aspirations of future generations and allowing the continuous evolution of the genetic resource in its own context.

Key words: Plant genetic diversity, plant breeding, landraces, ecological niche, composite varieties.

2.3. Introducción

El maíz es un pilar fundamental, un elemento estratégico, y un recurso cuya importancia trasciende lo económico, pues en torno a él se establece la organización social, cultural y familiar de los mexicanos (Ávila *et al.*, 2014). Actualmente es la principal fuente de alimentación de los campesinos (Fernández *et al.*, 2013), además de ser el cultivo al cual se le destina mayor superficie de siembra (7.143 millones de hectáreas) (SIAP, 2019) y el que mayor mano de obra demanda (40 % de la fuerza de trabajo del sector agrícola). Sin embargo, a pesar de esta importancia, hoy en día los agricultores, especialmente los dependientes de las lluvias (temporal), continúan enfrentándose a grandes problemas. Esto resulta paradójico, pues se suponía que después de la Revolución Verde los campesinos serían los más beneficiados; sin embargo, se han convertido en un sector marginado, en condiciones de pobreza y con recursos productivos escasos (Massieu *et al.*, 2002). Además, los bajos rendimientos, la descapitalización, las políticas agropecuarias inadecuadas y recientemente el cambio climático (Castro *et al.*, 2014), han terminado por soslayar la producción de maíz, e inevitablemente por afectar el bienestar de los productores (Lazos y Chauvet, 2012).

México vive una crisis rural, producto del modelo agroindustrial (Castañeda y Ávila, 2017). Las proyecciones indican que dicha condición será aún más grave en las próximas décadas, ya que se espera un abatimiento en la producción de entre el 10 y 30% (Altieri y Nicholls, 2009), lo cual representa una potencial crisis alimentaria y social. Por ello surge la necesidad de buscar alternativas que permitan no solo hacer frente al cambio climático, sino también disminuir el

impacto de las múltiples dificultades que enfrentan los agricultores (Murray y Jaramillo, 2020). Ante este escenario, la agroecología se ha propuesto como una nueva alternativa de desarrollo agrícola, un planteamiento que se opone al esquema convencional de producción (Altieri y Nicholls, 2012). En este planteamiento, la diversidad fitogenética puede ser la base para enfrentar los problemas del agro, debido a que dicho elemento es capaz de otorgar resiliencia, seguridad y autosuficiencia alimentaria (Turrent *et al.*, 2010).

Nuestro país cuenta con los recursos fitogenéticos suficientes para hacer frente a este pronóstico (Turrent *et al.*, 2016). Prueba de lo anterior es el número de razas de maíz reportadas en el territorio nacional (64) (Lazos y Chauvet, 2012). Adicionalmente, si se considera que dos millones de agricultores producen este cultivo y, que cada uno de ellos utiliza entre dos y tres materiales diferentes dentro de su agroecosistema, teóricamente en México se dispondrían de alrededor de cuatro y seis millones de poblaciones nativas (Gil, 2011), en las cuales se pueden encontrar genotipos que combinen en su genoma los alelos óptimos para las condiciones agrícolas de México (Turrent *et al.*, 2016).

El potencial genético de las poblaciones nativas de maíz es un recurso que no puede ser desaprovechado (Castro *et al.*, 2014). Al contrario, debe ser el soporte de las nuevas estrategias agrícolas. En años recientes, su utilización en programas de fitomejoramiento ha cobrado importancia (Martínez *et al.*, 2018), debido a que se propone como una vía sostenible de utilización y conservación genética, ya que no solo se trata de conservar la diversidad en bancos de germoplasma, sino también, y dada la compleja relación entre maíz y cultura, de buscar estrategias de conservación que propicien la reproducción sostenible de dichas variedades (Lazos y Chauvet, 2012).

Bajo este contexto el planteamiento de mejoramiento genético en los nichos ecológicos (MGNE) puede ser considerado un esquema de aprovechamiento sostenible, debido a que tiene como base la utilización de los recursos genéticos locales (poblaciones nativas de maíz) para, a partir de ellos, generar variedades mejoradas adaptadas a cada nicho ecológico (Muñoz, 2005). Dentro de las múltiples vías de trabajo y utilización de tales recursos bajo el enfoque citado, se ha propuesto que la creación de variedades compuestas (VC) es una de las alternativas más adecuadas, pues se espera que, al formarlas, se integren características deseables dispersas entre los diferentes materiales que participan como progenitores (Márquez, 1991). Al mantenerse los

atributos de los progenitores en el material resultante, éste puede ser una alternativa y herramienta adecuada para los campesinos. Adicionalmente, dada su constitución genética, se prevé que tengan una mayor capacidad de adaptación y soporte ante condiciones climáticas restrictivas (Busbice, 1970; Márquez, 2014). Dicha condición permite, incluso, que las VC superen el comportamiento agronómico de materiales que han sido recomendados para las condiciones restrictivas de producción (variedades sintéticas), e inclusive superen el comportamiento de los materiales parentales (Márquez, 2014). Tomando en cuenta estas características y atributos, se puede dilucidar que este tipo de variedades podrían ser un esquema adecuado de aprovechamiento y capitalización de la diversidad genética de maíz.

Hasta la fecha no existen trabajos que hayan analizado la utilidad que podrían tener las variedades compuestas en los agroecosistemas mexicanos, por lo que, en el presente ensayo se tiene como objetivo: analizar la utilidad de las variedades compuestas y dilucidar la importancia de la creación de VC como una vía adecuada para conservar y aprovechar la diversidad fitogenética local.

2.4. El maíz en el territorio nacional

En México, desde el punto de vista alimentario, político, social, económico y cultural, el maíz es el cultivo de mayor importancia. Se estima que más de 20 millones de personas dependen directamente de este grano (Murray y Jaramillo, 2020) y que para sus labores agronómicas se emplea el 20% de la población económicamente activa como mano de obra (Sierra *et al.*, 2016). Desde su domesticación se convirtió en una piedra angular y un grano a partir del cual se constituyeron las civilizaciones y culturas prehispánicas (Sangermán *et al.*, 2018). Actualmente es base de la alimentación de los mexicanos, pues se calcula que el 50% de las calorías ingeridas las obtienen de este cereal (Fernández *et al.*, 2013). De esta manera, el consumo *per cápita* fluctúa entre los 100 y 200 kg de maíz al año (Murray y Jaramillo, 2020).

Registros recientes señalan que durante el 2019 se sembraron 7.143 millones de hectáreas, de las cuales 5.526 millones correspondieron al sistema de producción bajo temporal. El rendimiento promedio nacional fue de 4 t ha⁻¹, mientras que la productividad en los sistemas dependientes de las lluvias fue de 2 t ha⁻¹ (SIAP, 2019). De la totalidad del área sembrada se obtuvo una producción de 21,162,035 kg, lo cual no fue suficiente para satisfacer la demanda

existente en el territorio nacional, pues se reportó un déficit de 17.2 millones de toneladas (CIMA, 2019).

En nuestro país, la producción de este cultivo tiene un perfil social bimodal (Turrent *et al.*, 2010). Por un lado, se distingue a los productores extensivos, y por otro, al sector dedicado a la producción de autoconsumo (Martínez, 2002). En este último, la utilización del germoplasma nativo es una práctica común. Datos reportados por Espinosa *et al.* (2009) sugieren que las poblaciones nativas se emplean en al menos el 75% de la superficie cultivada. Lo anterior no es casual, pues los maíces nativos suelen presentar características y atributos que fungen como un seguro ante las condiciones climáticas restrictivas (Cuadro 5), cualidades que las variedades comerciales no presentan (Kato *et al.*, 2009).

Cuadro 5. Características favorables y desfavorables de las poblaciones nativas y los híbridos comerciales.

Poblaciones nativas	Variedades mejoradas comerciales (híbridos)
1. Poseen una mayor capacidad de adaptación (Guillén <i>et al.</i> , 2002) y resistencia ante condiciones climáticas restrictivas (Aldama <i>et al.</i> , 2015).	1. Su nivel de adaptación es limitado (Cortés <i>et al.</i> , 2013). Sin embargo, bajo condiciones adecuadas de producción presentan un rendimiento agronómico mayor.
2. Bajo condiciones marginales de producción, las poblaciones nativas son capaces de otorgar mayor rendimiento agronómico (Castro <i>et al.</i> , 2014) .	2. La gran mayoría de los híbridos usualmente son materiales con características de planta agronómicamente deseables.
3. El forraje es menos fibroso, por lo tanto, es adecuado para la alimentación del ganado (Muñoz-Tlahuiz <i>et al.</i> , 2013).	3. Presentan mayor resistencia a la pudrición de mazorca, acame de raíz y tallo (Aldama <i>et al.</i> , 2015).

Cuadro 5. Continuación

-
- | | |
|---|--|
| <p>4. Poseen olote más delgado, un mayor tamaño de mazorca y alto factor de desgrane (Castillo y Chávez, 2013; Castañeda y Ávila, 2017).</p> <p>5. Permiten la conservación de conocimiento y por ende el mantenimiento de la cultura (Castañeda y Ávila, 2017).</p> <p>6. Poseen genotipos que combinan en su genoma a los alelos óptimos para las condiciones agrícolas de México (Turrent <i>et al.</i>, 2016)</p> <p>7. Presentan mayor susceptibilidad a la pudrición de mazorca y al acame.</p> | <p>4. Presentan mayor homogeneidad, lo cual facilita la utilización de maquinaria.</p> <p>5. El forraje es fibroso, por lo tanto, no es adecuado para alimentar al ganado (San German <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>6. No presentan atributos alimenticios catalogados como importantes por los agricultores.</p> |
|---|--|
-

Es incuestionable que los productores de maíz continúan enfrentándose a un gran número de problemas, los cuales inevitablemente repercuten en su bienestar y calidad de vida. Por lo anterior, las nuevas alternativas productivas, fundamentadas en un enfoque agroecológico, como lo es el aprovechamiento de la diversidad fitogenética local, podrían ser un elemento clave, pues este recurso permite mejorar la estabilidad y resiliencia de los agroecosistemas (Altieri y Toledo, 2011).

2.5. México y la diversidad genética del maíz

México es un país con una enorme variación fisiográfica, climática, biológica y cultural, dichas condiciones y las múltiples interacciones entre estos elementos propiciaron la existencia de una vasta diversidad genética, prueba de ello son las 64 razas de maíz reportadas en el territorio nacional (Sánchez *et al.*, 2000), lo que equivale a un 60% de la diversidad mundial de dicho cultivo (Ureta *et al.*, 2013). Esta variación es una constante a lo largo de la República, por ejemplo, en el Estado de Puebla se ha documentado la existencia de 16 razas (Sierra *et al.*,

2016), siendo las razas Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, y Tuxpeño las más representativas (Hortelano *et al.*, 2012; Muñoz, 2005; López *et al.*, 2014). El nivel de variación del maíz es tal, que dentro de cada nicho ecológico (pequeño valle) es posible identificar la presencia de un grupo de materiales adaptados a las condiciones ecológicas particulares de cada nicho (patrón varietal) (Muñoz, 1997), el cual permite que los campesinos hagan frente a las diferentes condiciones ambientales en las que se desenvuelve su actividad productiva (Gil, 2004).

Queda claro que la diversidad fitogenética es esencial para la humanidad y los agricultores, pues contribuye a la resiliencia de los agroecosistemas, reduce los riesgos productivos, costos de producción, y permite el incremento de la variabilidad alimenticia y nutricional (Altieri y Toledo, 2011). De hecho, las evidencias muestran que entre mayor sea la diversidad genética, mayor será la productividad, el ingreso económico y la seguridad alimentaria (Nicholls y Altieri, 2019).

Actualmente la generación de variedades mejoradas procedentes del sector industrial, la globalización, la transición alimentaria, el abandono del campo, la pérdida de memoria biocultural, el cambio climático, la generación de organismos genéticamente modificados, así como diversos factores técnicos, económicos, políticos y sociales, ponen en peligro la existencia de los maíces nativos y por ende su diversidad (Lazos y Chauvet, 2012; Fernández *et al.*, 2013). Producto de esta tendencia, resulta urgente generar estrategias enfocadas a la conservación de tales recursos. Es en este sentido que la creación de variedades compuestas se propone como una vía para alcanzar tal fin.

2.6. La agroecología y el germoplasma nativo

La revolución verde se planteó como una panacea agrícola, propuso que la modernización agraria era la opción más adecuada para promover el desarrollo del sector rural (Nicholls y Altieri, 2019). Se suponía que de esta manera se obtendría una mayor producción, se generarían más ingresos y en general existiría un mayor bienestar social. Sin embargo, lejos de generar estos beneficios, la aplicación del modelo dio origen a nuevos problemas (Sevilla, 2011). Hoy en día se considera que el deterioro ambiental, el aumento en la hambruna, la inequidad en la distribución de ingresos, tierra, agua y otros recursos, son el resultado de la aplicación de políticas basadas en dicho modelo (Altieri y Nicholls, 2010). Partiendo de estas dificultades, es

que la agroecología surge como un nuevo paradigma agrícola, una vía productiva que busca mejorar la producción, disminuyendo los impactos ambientales y sociales negativos (Altieri, 2015).

La agroecología puede ser entendida como disciplina científica, como un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia, estudia los diferentes componentes del agroecosistema y sus interacciones. Como práctica, busca sistemas agrícolas sostenibles que optimicen y establezcan la producción. Como movimiento social, persigue papeles multifuncionales, promueve la justicia social y nutre la identidad y la cultura (Altieri, 2009). La idea central de esta disciplina es ir más allá del uso de prácticas individuales; más bien, el punto medular es el desarrollo de agroecosistemas complejos, donde los distintos componentes promuevan mecanismos para que los sistemas puedan subsidiar su estabilidad y producción (Altieri, 2015). De esta manera, los agroecosistemas fundamentados en principios agroecológicos son resilientes, eficientes, socialmente justos y constituyen la base de una estrategia energética y productiva fuertemente vinculada a la soberanía alimentaria (Altieri y Toledo, 2011), donde la biodiversidad y la diversidad fitogenética son elementos clave.

La agricultura campesina constituye un testimonio único de resiliencia de gran valor para la humanidad, no solo porque es el único modelo que ha permanecido a través de los años, sino porque ha logrado mantenerse a pesar de los cambios político-económicos (Altieri y Nicholls, 2010). Por lo tanto, el objetivo primordial en la actualidad debe ser diseñar sistemas agrícolas basados en dichos principios, siendo uno de ellos la utilización de la diversidad genética intra e interespecífica (Nicholls y Altieri, 2019).

Principios básicos de la agroecología:

- Utilización de la diversidad genética intra e interespecífica.
- Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad y balance de nutrientes.
- Minimización de pérdidas de suelo y agua, manteniendo la cobertura, controlando la erosión y manejando el microclima.
- Minimización de pérdidas por insectos, patógenos y malezas mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas y alelopatía.

- Explotación de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, plantas-animales y animales-animales (Gliessman, 2002; Altieri, 2009; Nicholls *et al.*, 2015).

2.7. El mejoramiento genético en los nichos ecológicos: bases agroecológicas

La información presentada en párrafos anteriores es una evidencia clara del enorme potencial genético que existe en México, mismo que puede ser utilizado y conservado a través de la aplicación de esquemas de fitomejoramiento local (Martínez *et al.*, 2018). Esto es congruente con el planteamiento de que la conservación del germoplasma nativo debe estar enfocada en la reproducción de dicho recurso y permitir que continúe evolucionando en el contexto en el que se encuentra inmerso (Casas y Parra, 2007).

En México el mejoramiento genético formal tuvo sus inicios en la década de los cincuenta (Márquez, 2008). En un principio, los estudios desarrollados por las diversas instituciones de investigación se focalizaron en tierras con condiciones climáticas favorables, existencia de riego, y aplicación de enormes cantidades de insumos agrícolas (Castro *et al.*, 2014), lo cual no es representativo de los agroecosistemas mexicanos (Espinosa *et al.*, 2009), y es quizá una de las razones por las que existe una baja adopción de variedades mejoradas, ya que dichos materiales no logran adaptarse de manera adecuada a los agroecosistemas campesinos (Guillén *et al.*, 2002). Resulta evidente que el esquema clásico de fitomejoramiento, fundamentado en una estrecha base genética, no es el más adecuado para las condiciones agroecológicas del país, ya que la enorme variabilidad de los sistemas agrícolas, especialmente los de temporal, difícilmente podrían ser dominados por un número corto de materiales genéticos mejorados (Turrent *et al.*, 2010).

En los últimos años el fitomejoramiento ha sido reenfocado, de esta manera el germoplasma nativo ha empezado a considerarse como un recurso necesario para el desarrollo de nuevas variedades. En este contexto, uno de los enfoques que ha cobrado importancia es el planteamiento de MGNE, el cual propone llevar a cabo dicha actividad en los pequeños valles de México, áreas donde existen condiciones climáticas muy particulares, suelos de variable fertilidad, pendiente, profundidad, color y textura (Gil *et al.*, 2007). El enfoque tiene como idea central, estudiar, manejar y aprovechar de manera sostenible la diversidad fitogenética local (Muñoz, 2005). De acuerdo con la filosofía bajo la cual se concibió, los beneficiarios finales del proceso deben ser los agricultores de cada nicho, es por esta razón que se piensa que el

mejoramiento genético conducido en este sentido puede propiciar el desarrollo agrícola a escala microrregional (Gil *et al.*, 2007).

Muñoz (2005) y Gil *et al.* (2007) resumen la metodología en seis etapas: a) definición o delimitación del espacio geográfico; b) colecta de poblaciones nativas; c) evaluación del material colectado; d) selección de materiales sobresalientes, considerando los modelos I y II de resistencia a factores adversos; e) aplicación de esquemas de fitomejoramiento. En esta etapa puede optarse por la propagación de las poblaciones sobresalientes como tal o bien la generación de variedades mejoradas; y f) formación de microempresas para el usufructo de las variedades generadas.

Los diversos estudios conducidos en distintos nichos ecológicos del país han dilucidado el amplio potencial productivo de las poblaciones nativas de maíz, así como su mayor capacidad de adaptación y resistencia ante condiciones climáticas adversas, debido a que, en estos pequeños valles, numerosas poblaciones locales han igualado o superado el comportamiento agronómico de las variedades mejoradas comerciales (Muñoz, 2005; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013). Un ejemplo cuantitativo de lo anterior es el estudio desarrollado en Salvador Escalante y Ario de Rosales, Michoacán. En este trabajo, dos materiales locales (denominados Santa Clara I y Santa Clara II) superaron en más del 250% el rendimiento de los maíces híbridos. La productividad de las variedades comerciales fluctuó entre los 726 y los 1607 kg·ha⁻¹, mientras que los materiales Santa Clara I y II, presentaron rendimientos de entre 3,070 y 4,543 kg·ha⁻¹ (Olvera *et al.*, 2005).

En el estado de Puebla, las investigaciones desarrolladas en distintos nichos ecológicos han permitido dar mayor sustento al planteamiento de MGNE, pues en la mayoría de los casos, las poblaciones nativas han superado la productividad de las variedades mejoradas utilizadas como testigos (López *et al.*, 1998). Por ejemplo, en Santa Rita Tlahuapan, la producción promedio de las poblaciones nativas fue de 5,541 kg·ha⁻¹, lo cual fue superior al rendimiento promedio de los híbridos (2,964 kg·ha⁻¹) (López-Sánchez *et al.*, 1998 y López *et al.*, 2020). Una situación similar se encontró en los Valles de Libres Serdán, donde tres poblaciones locales superaron en 24% el rendimiento del mejor maíz mejorado, cuya productividad fue de 4,260 kg·ha⁻¹ (Muñoz *et al.*, 2013).

Considerando estos resultados, así como el comportamiento de la variedad VS-M121 (generada bajo el planteamiento antes citado), los sintéticos obtenidos en San Luis Potosí (Muñoz, 2005) y los diversos compuestos formados en Puebla: Sintético Zacatlán Precoz, Zacatlán Intermedio, Zaragoza Intermedio, Zaragoza Tardío, Libres Ultraprecoz, Libres Precoz, Libres Amarillo, Libres Azul, Victoria Precoz, Victoria Intermedio, Esperanza Intermedio, Tlachichuca Intermedio, Malinche Intermedio (López *et al.*, 1998), se propone que la formación de variedades compuestas es una de las vías más adecuadas para conservar, aprovechar y capitalizar el germoplasma nativo del maíz.

2.8. Las variedades compuestas y el germoplasma nativo

Una variedad compuesta (VC) es la progenie de un compuesto integrado por diversas variedades de polinización libre (Camarena *et al.*, 2014), en las cuales no ha ocurrido autofecundación (Busbice, 1970). Bajo el enfoque de MGNE, una VC, es la semilla cosechada de un compuesto conformado por diversas poblaciones nativas sobresalientes de maíz, en donde ocurrió un apareamiento aleatorio. A nivel genético, se espera que las VC alcancen el equilibrio después de la primera generación de apareamiento aleatorio (IICA, 1989). Debido a que provienen de variedades altamente heterocigóticas y heterogéneas (Camarena *et al.*, 2014), la expectativa es que muestren una mayor capacidad de adaptación y resistencia ante factores climáticos adversos, similar a lo que ocurre en las variedades sintéticas (Sahagún, 2005; Márquez, 2008). Asimismo, el hecho de que tales materiales provengan de genotipos sobresalientes da lugar a que las mismas presenten un comportamiento superior, pues se descartan variedades de pobre comportamiento y se incrementa la variación genética (Camarena *et al.*, 2014). Algunas evidencias indirectas que respaldan este supuesto son los sintéticos obtenidos en San Luis Potosí (Muñoz, 2005) y la variedad Sintético Serdán (Trejo *et al.*, 2004).

En el estado de Puebla se siembran 532,191 hectáreas de maíz, de las cuales 484,866 ha son cultivadas bajo condiciones de temporal (SIAP, 2020). Se estima que en más del 90% de esta superficie se utiliza preponderantemente semilla de maíces nativos (Gil *et al.*, 2007; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2013) porque posee características que permiten reducir los riesgos productivos (Kato *et al.*, 2009). Sin embargo, a pesar de estos beneficios, hoy en día los rendimientos obtenidos dentro de los agroecosistemas poblanos siguen siendo bajos e inconsistentes. Esta situación provoca que a nivel familiar se presente un desabasto alimenticio,

y por lo tanto exista insuficiencia e inseguridad alimentaria. La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) realizada en el año 2012, reportó que en la entidad el 70% de los hogares que viven en el estrato rural presentan algún nivel de inseguridad alimentaria. Cifras similares fueron reportadas por Serrano *et al.* (2016), quienes mencionan que, en el centro del estado, cerca del 60% de las familias presentan algún grado de inseguridad alimentaria. En este escenario, las VC podrían contribuir a paliar un poco la situación. Datos experimentales (Del Carmen *et al.*, en proceso) sugieren que con este tipo de variedades se pueden alcanzar rendimientos experimentales de grano de hasta 8.5 a 9.5 t·ha⁻¹ en promedio, los cuales superan en un 3 al 10% la media de producción de las poblaciones nativas más rendidoras. La siembra de este tipo de materiales en las áreas para las cuales fueron formados propiciaría aumentos en la producción, tanto de las familias que los sembraran como de la región.

Indiscutiblemente ello sería un aspecto positivo, pues se estaría contribuyendo a la seguridad y soberanía alimentaria nacional, además de que se promovería la conservación sostenible de los recursos genéticos de maíz, ya que de acuerdo con Sarandón (2010), la utilización de un recurso de manera sostenible, implica utilizarlo a un ritmo que no ocasione su disminución a largo plazo, con lo cual se está en oportunidad de satisfacer las necesidades actuales, sin limitar las aspiraciones de las generaciones futuras.

Considerando que las variedades compuestas pueden sembrarse en forma continua, es decir, que no existe la necesidad de comprar semilla en cada ciclo agrícola, que pueden poseer una mayor capacidad de adaptación a las condiciones climáticas de una región particular (característica básica de las poblaciones nativas de las cuales se derivan), una mayor resistencia al ataque de plagas y enfermedades (debido a su constitución genética) y a que se espera que dentro de ellas se conserven muchos de los atributos existentes (características alimenticias, nutricionales y de uso) en las poblaciones nativas que les dan origen, este tipo de materiales podría ser un elemento de gran utilidad para los agricultores de temporal, ya que representa no solo un esquema que permite aprovechar el germoplasma nativo, sino también una ruta que permitiría conservar los recursos genéticos de maíz, y con ello todo lo asociado a este cultivo (aspectos culturales, tradiciones, diversidad biológica y diversidad alimenticia).

2.9. Conclusiones

Hay evidencias de que el esquema convencional de producción (Revolución Verde), fundamentado en el mejoramiento genético clásico (generación de híbridos), y basado en el reduccionismo genético, no es el más adecuado para la agricultura mexicana, pues lejos de propiciar el desarrollo agrícola de los campesinos y agricultores tradicionales, terminó por hundirlos, incrementó su inseguridad alimentaria, destruyó sus agroecosistemas diversos y disminuyó su calidad de vida. Por lo anterior, la generación de alternativas fundamentadas en un marco y principios agroecológicos, como lo es la formación de Variedades Compuestas, obtenidas bajo el planteamiento de MGNE, podrían ser un elemento de gran utilidad para el campesino mexicano.

Con base en las ganancias esperadas en rendimiento que ofrecen este tipo de materiales, se infiere que pueden contribuir a la mejora de la seguridad alimentaria familiar y a apoyar la soberanía alimentaria. Aunado a lo anterior, el hecho de que las VC puedan sembrarse en forma continua, que presenten mayor resistencia ante condiciones climáticas adversas y tolerancia al ataque de plagas y enfermedades, las convierte en una especie de seguro agrícola y una herramienta de adaptación.

La generación de variedades compuestas puede ser considerada un esquema de aprovechamiento y conservación con base agroecológica, pues se trata de utilizar los recursos genéticos locales, de prevenir antes que solucionar (producto de su mayor capacidad de adaptación y resistencia), y de continuar utilizando un recurso a un ritmo que no ocasiona su disminución a largo plazo. Por lo tanto, no se limitan las aspiraciones de las generaciones futuras, pues el recurso genético continúa evolucionando en el contexto en el que se encuentra inmerso.

2.10. Literatura consultada

- Aldama M. J., F. Sánchez P., I. Vizcarra B., y M. Rivas G. (2015)** Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales* 21:538-547.
- Altieri M. A. (2015)** Breve reseña sobre los orígenes y evolución de la Agroecología en América Latina. *Agroecología* 10:7-8.

- Altieri M. A., y C. I. Nicholls (2012)** Agroecología: única esperanza para soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7:65-83.
- Altieri M., y V. Toledo (2011)** La revolución agroecológica en América Latina: Rescatar la naturaleza, asegurar la seguridad alimentaria u empoderar al campesino. *Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Desarrollo Alternativos (ILSA)* 1:163-202.
- Altieri M. A., C. I. Nicholls (2010)** Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica* 10:62-74
- Altieri M. A., y Nicholls, C. I. (2009)** Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA: Revista de Agroecología* 24:5-8.
- Altieri M. (2009)** El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. *In: Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones.* SOCLA (ed). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) Medellín, Colombia. 364 p.
- Ángeles-Gaspar E., E. Ortiz-Torres, P. A. López y G. López-Romero (2010)** Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.
- Ávila F., Y. Castañeda., Y. Massieu., L. Noriero., y A. González, A. (2014)** Los productores de maíz en Puebla ante la liberación de maíz genéticamente modificado. *Sociológica* 29:45-81.
- Busbice T. H. (1970)** Predicting yield of synthetic varieties I. *Crop Science* 10:265-269.
- Camarena M. F., J. Chura Ch. y R. H. Blas S. (2014)** Mejoramiento Genético y Biotecnológico de Plantas. UNALM-AGROBANCO. Perú. pp: 194-195.
- Casas A., y F. Parra (2007)** Agrobiodiversidad, parientes silvestres y cultura. *LEISA: Revista de Agroecología* 23:5-8.
- Castañeda Z. Y., y J. F. Ávila C. (2017)** Preservación de la diversidad de maíces nativos en Puebla frente al cambio tecnológico. *In: México Rural Ante los Retos del Siglo XXI, Seguridad Alimentaria.* B. A. V. Cavallotti., y N. M. B. Keilbach. (Ed). AMER. México. pp. 63-82.

- Castillo N., y C. Chávez M. (2013)** Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10:23-38.
- Castro N. S., C. A. Reyes y A. J. Huerta (2014).** Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:217-223.
- Centro de Información de Mercados Agroalimentarios CIMA (2019)** Importaciones y exportaciones de maíz. <https://www.cima.aserca.gob.mx> (Junio de 2020).
- Cortés E. L., J. M. Hernández C., D. M. Sangerman J., S. H. Morán B. (2013)** Los maíces criollos y su conservación desde la perspectiva de los productores. In: 1er. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 14 al 16 de noviembre. J. A. Rangel L., J. C. Raya P., F. Cervantes O., C. L. Aguirre M., J. G. Ramírez P., y M. Mendoza E. (Eds.), SOMECTA. Roque, Celaya, Guanajuato. p. 26.
- Del Carmen-Bravo G., A. Gil-Muñoz; P. A. López, D. Reyes-López e I. Ocampo-Fletes (en proceso).** Variedades compuestas, una opción de aprovechamiento de la diversidad de las poblaciones nativas de maíz. (En la presente tesis).
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) (2012)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados por entidad federativa 2012. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/informes/Puebla-OCT.pdf>. (Septiembre de 2020).
- Espinosa A., M. Tadeo., A. Turrent., y N. Gómez (2009)** El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias* 92:118-125.
- Fernández S. R., L. A. Morales C., y A. Gálvez M. (2013)** Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 3:275-283.
- Gil M. A. (2011)** Estudio de caso 5.1: Los patrones varietales en maíz. In: *La biodiversidad en Puebla, estudio del Estado*. CONABIO (Ed). CONABIO. Puebla, México. pp. 232-233.
- Gil M. A., P. A. López., H. López S., y O. R. Taboada G. (2007)** El fitomejoramiento: una opción tecnológica para la agricultura de subsistencia. In: Estudios y propuestas para el medio rural. R. Martínez R., B. Ramírez V. y G. E. Rojo M. (Coord.) Universidad

- Autónoma Indígena de México y Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla. México. pp. 113-136.
- Gil M. A., P. A. López., A. Muñoz O., y H. López S. (2004)** Variedades criollas de maíz (*Zea mays L.*) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. *In: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales.* J. L. Chávez-Servía, J. Tuxill y D I Jarvis (editores). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp. 18-25.
- Gliessman S. R. (2002)** Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. LITOCAT. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Guillén P. L. A., C. Sánchez Q., S. Mercado D., H. Navarro G. (2002)** Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia* 36:377-387.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López., y S. Miranda C. (2012)** Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97-109.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (1989)** Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Francia. 671 p.
- Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. UNAM, CONABIO. D.F., México. 116 p.
- Lazos E., y M. Chauvet. (2012)** Análisis del Contexto Social y Biocultural de las Colectas de Maíces Nativos en México. CONABIO. México. 533 p.
- López M. F., O. R. Taboada G., A. Gil M., P. A. López., D. Reyes L. (2014)** Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17:19-31.
- López-Sánchez H., P. A. López., y A. Muñoz O. (1998)** Selección de maíces criollos y formación de variedades sintéticas para la parte alta del Valle de Puebla. *In: Memorias del XVII Congreso de Fitogenética.* Notas Científicas, 5 al 9 de octubre. P. Ramírez V.,

- F. Zavala G., N. O. Gómez M., F. Rincón S. y A. Mejía C. (Eds.). SOMEFI., Acapulco, Guerrero. p. 235.
- López P. A., E. Ortiz T., A. Gil M., J. de D. Guerrero R., O. R. Taboada G., H. López S., y J. A. Hernández G (2020).** Patrón varietal y rendimiento de grano de maíces locales del Valle de Tehuacán, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43:626-632
- López P. A., H. López S., y A. Muñoz O. (1998)** Selección de maíces criollos en nichos ecológicos del estado de Puebla. *In: Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. Notas Científicas*, 5 al 9 de octubre. P. Ramírez V., F. Zavala G., N. O. Gómez M., F. Rincón S. y A. Mejía C. (Eds.). SOMEFI., Acapulco, Guerrero. p. 236.
- Márquez S. F. (2014)** Epistasis en la variedad, la cruce varietal, el compuesto varietal y el sintético del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:319-324.
- Márquez S. F. (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I.: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5:151-166.
- Márquez S. F. (1991)** Genotecnia Vegetal. Método, Teoría, Resultados. Tomo III. AGT Editor, S. A. México, D. F. pp. 420-429.
- Martínez S. J., N. Espinosa P., A. L. Ramírez C., R. Camas G., Y. Villegas A. (2018)** Expresión fenotípica y estabilidad en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 5:1-11.
- Martínez C. R. (2002)** Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 3:25-45
- Massieu T. Y., y Lechuga M. J. (2002)** El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Revista Análisis Económico* 36:281-303.
- Muñoz-Tlahuiz F., J. de D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López., A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarías* 4:515-530.
- Muñoz, O. A. (2005)** Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Glosario Centli-Maíz. 2da. Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 211 p.

- Muñoz O. A. (1987)** Resistencia a factores adversos y mejoramiento de los patrones etnofitogenéticos de la Mixteca. *In: Memoria del Seminario “Cómo aumentar la producción agropecuaria y forestal en la región Mixteca Oaxaqueña”*. Tomo II. Muñoz O. A. y Dimas Ch. B. (eds.). Tiltepec, Oaxaca, México. pp. 537-548.
- Murray T. G. N., y V. J. Jaramillo (2020)** El reto del maíz en México frente al cambio climático. *Revista Digital Universitaria* 19:1-8.
- Nicholls C. I., y M. A. Altieri (2019)** Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal* 11:S55-S61.
- Nicholls C. I., A. Henao., y M. A. Altieri (2015)** Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología* 10:7-31.
- Olvera H. J. I., A. Gil M., A. Muñoz O. (2005)** Fitomejoramiento de maíces criollos: Una opción para incidir en el desarrollo agrícola regional. *In: IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. http://www.aepro.com/files/congresos/2005malaga/ciip05_0482_0495.194.pdf (Febrero de 2021).
- Ramos C. J. G., J. L. Jaramillo V., F. Parra I., y G. J. González L. (2013)** Factores que determinan la persistencia de la producción campesina de maíz: el caso del Municipio de Libres, Puebla. *Revista Ra Ximhai* 9:15-28.
- Sahagún C. J., J. E. Rodríguez P., y A. Peña L. (2005)** Desarrollo y predicción de sintéticos de cruza dobles de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 16:19-28.
- Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59.
- Sangermán J. D. M., M. de la O., A. J. Gámez V., A. Navarro B., M. A. Ávila P., y R. Schwentesius R. (2018)** Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays* var. *tunicata* A. St. Hil.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:451-459.
- Sarandón S. J. (2010)** Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: análisis del convenio sobre diversidad biológica. *In: Vertientes del Pensamiento Agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*. T. León S., M. A. Altieri (Eds). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 105-125.

- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020)** Cierre de la producción agrícola (1980-2019) <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (enero 2021).
- Sevilla G. E. (2011)** Sobre los Orígenes de la Agroecología en el Pensamiento Marxista y Libertario. AGRUCO. La Paz Bolivia. 168 p.
- Serrano O. M. L., F. Calderón S., S. Vargas L., H. López S., P. A. López., G. Martínez T., E. Cortes D., B. A. Salcido R. (2016)** Características estructurales y productivas de hogares con diferente grado de seguridad alimentaria en Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 13:547-563.
- Sierra M. M. P. Andrés M., A. Palafox C., I. Meneses M. (2016)** Diversidad genética, clasificación y distribución del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 3:12-21.
- Trejo L., A. Gil., M. Sánchez., A. Carballo., y P. A. López (2004)** Producción de semilla mejorada por organizaciones de agricultores: caso Productora de Maíz Teocintle. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:93-100.
- Turrent F. A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., C. Turrent T., y H. Mejía A. (2016)** Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1727-1739
- Turrent F. A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., H. Mejía A., y J. A. Serratos H. (2010)** ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1:631-646.
- Ureta C., C. González S., E. J. González., E. R. Álvarez B., y E. Martínez M. (2013)** Environmental and social factors account for Mexican maize richness and distribution: A data mining approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179:25-34.

III. DISCUSIÓN GENERAL

Los estudios realizados en la presente investigación permitieron establecer que: a) Las variedades compuestas integran y mantienen atributos favorables presentes en las poblaciones nativas que les dieron origen, mejoran en diferente medida su comportamiento agronómico y tienden a presentar un rendimiento más constante a través de ambientes; b) Las variedades compuestas presentan rendimientos agronómicos destacables, comparables o superiores a los de los materiales comerciales utilizados como testigos; no obstante, es necesario mejorar el nivel de expresión de algunas características de planta; c) Las variedades compuestas constituyen un esquema adecuado de aprovechamiento, capitalización y conservación de la diversidad genética local de maíz y, dadas sus características de obtención, pueden considerarse un elemento de utilidad para el agro mexicano.

a) Las variedades compuestas integran y mantienen atributos favorables existentes en las poblaciones progenitoras, mejoran en cierta medida su comportamiento agronómico y tienden a presentar un rendimiento más constante a través de ambientes.

Una de las hipótesis del estudio era que las variedades compuestas (VC) mantendrían los atributos favorables presentes en las poblaciones que les dieron origen. Otra hipótesis era que las VC tendrían un comportamiento agronómico y estabilidad de rendimiento superior a la de sus poblaciones progenitoras (PP). Con respecto a la primera hipótesis, los resultados demostraron que, en los tres grupos de coloración, las VC preservaron el nivel de expresión de los atributos sobresalientes existentes en las poblaciones progenitoras (PP). Cuando existieron caracteres favorables dispersos, estos pudieron conjuntarse en las VC, manteniendo el nivel de expresión. En cuanto a la segunda hipótesis, se encontró que el número de caracteres favorables presentes en las VC superó, en general, el promedio registrado en sus PP, lo cual sugiere cierta mejoría en el comportamiento agronómico. En lo que respecta al rendimiento, las VC de grano blanco y amarillo tuvieron un rendimiento estadísticamente igual al de las PP, en tanto que, en los maíces azules, el de las VC fue mayor al de las PP. En términos generales, el rendimiento de las VC sobrepasó el de las PP en 10.6%, 3.2% y 1.8% en los grupos azul, amarillo y blanco, respectivamente. Adicionalmente, se observó que el rendimiento de las VC se vio menos afectado que el de las PP por los cambios en el potencial ambiental.

Las respuestas anteriores pueden explicarse por el hecho de que las VC, al reproducirse mediante apareamiento aleatorio, tienden a mantener las características presentes en los materiales parentales (Camarena *et al.*, 2014). El comportamiento observado concuerda con lo propuesto por Márquez (1991), en el sentido de que se espera que las VC combinen características deseables dispersas en los progenitores. Los resultados encontrados en las VC concuerdan con lo observado por Cervantes *et al.* (2020) en cruza intervarietales en maíz. Estos autores, después de evaluar siete poblaciones nativas y sus 21 cruza directas, encontraron que estas últimas mantuvieron características tales como número de granos por mazorca, hileras por mazorca, peso de 100 granos, y el rendimiento de grano de sus progenitores.

El hecho de que las VC hayan mantenido varios de los atributos presentes en los progenitores (poblaciones nativas sobresalientes en este caso) es un aspecto favorable, ya que ello puede facilitar su adopción, particularmente entre aquellos agricultores que prefieren el empleo de semillas nativas, pues en las VC encontrarán características presentes en los maíces que cultivan. Se ha señalado (Hortelano *et al.*, 2012) que los agricultores tienden a elegir una variedad con base en diversas cualidades. Para ellos esto es lo más conveniente, pues el utilizar materiales con varias características destacables es un proceder mucho más eficiente y les representa menor riesgo (Muñoz, 2005), además de que les permite no sólo satisfacer sus necesidades productivas, sino también sus demandas económicas, culturales y sociales (Arellano *et al.*, 2014). El que las VC hayan preservado, en su mayoría, las características asociadas a mazorca y grano, es un aspecto positivo, pues los campesinos seleccionan su semilla en función de atributos asociados a tales estructuras (Magdaleno *et al.*, 2016). Al respecto, Herrera *et al.* (2002) mencionan que el grosor, diámetro de mazorca, y número de hileras por mazorca, son los criterios más importantes considerados por los agricultores. Complementando lo anterior, González *et al.* (2016) señalan que tamaño de mazorca y olote delgado son las características más importantes para el agricultor, debido a que esto implica un mayor tamaño de semilla, situación que implícitamente se asocia con la existencia de una mayor cantidad de reservas y, por tanto, una mayor capacidad de emergencia (Magdaleno *et al.*, 2016).

La respuesta observada para rendimiento de grano confirma lo planteado por Camarena *et al.* (2014) quienes señalan que las VC tienen la capacidad de superar el rendimiento de sus progenitores, pues para su formación se descartan variedades de pobre comportamiento.

Cervantes *et al.* (2020) argumentan que, en el caso de cruza intervarietales (resultado del apareamiento entre dos variedades), su mejor desempeño se debe al cruzamiento genético intenso, ya que al existir recombinación genética, se sintetizan y generan nuevas combinaciones alélicas que pueden dar como resultado un incremento en la productividad. Al respecto, se ha señalado que en las VC se aumentan los efectos epistáticos dominantes homocigóticos y heterocigóticos (Márquez, 2014). Aun cuando el aumento en la producción no fue elevado, las ganancias observadas se aproximan a lo señalado por Biasutti *et al.* (2004), en cuanto a que las ganancias por cada ciclo agrícola de mejoramiento genético rondan entre el 2 y 7%.

Otra de las ventajas observadas en las VC respecto a las PP, fue que las primeras disminuyeron en menor medida su rendimiento al cambiar las condiciones ambientales. Esto se explica por su constitución genética, pues se espera que, al derivar de materiales genéticamente variables, en aquéllas se presenten niveles de variación aún más importantes (Hallauer y Miranda, 1988). En este sentido, se ha observado que mientras mayor sea la diversidad genética de los progenitores, mayor será la variación observada en la progenie (Pecina *et al.*, 2009). La existencia de variabilidad genética, en la mayoría de las ocasiones permite que un material afronte de manera exitosa los cambios en el ambiente (Vallejo y Estrada, 2002; Sahagún *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2006), por lo que se infiere que la mayor consistencia y menor decaimiento productivo de las VC es el resultado de dicha condición.

b) Las variedades compuestas presentan rendimientos agronómicos destacables, comparables o superiores al de los materiales utilizados como testigos, no obstante, es necesario mejorar el nivel de expresión en algunas características, particularmente de planta.

Otra hipótesis de la investigación fue que las VC tendrían un comportamiento y un rendimiento agronómico superior al de las variedades comerciales utilizadas como testigo. Los resultados evidenciaron que, en cuanto a número de caracteres favorables, las VC de grano blanco fueron superadas por el híbrido (el cual fue más precoz, de menor altura y con menos acame) y se asemejaron a la variedad de polinización libre (Sintético Serdán); no así en las VC de grano amarillo o azul, donde la cantidad de caracteres favorables que mostraron igualó o superó la de los testigos (variedades de polinización libre e híbridos). En lo que respecta a rendimiento, en el grupo de maíces blancos, las VC tuvieron una producción de grano de 9584

kg·ha⁻¹, la cual fue similar a la de la variedad Sintético Serdán (9765 kg·ha⁻¹) y ligeramente superior a la del híbrido comercial H-48 (8633 kg·ha⁻¹). En los maíces amarillos, las VC superaron la producción del híbrido y la variedad de polinización libre en 6% y 19%, respectivamente. Finalmente, en el grupo de maíces azules, las VC igualaron el rendimiento de los híbridos (9237 kg·ha⁻¹) y superaron el de la variedad de polinización libre (7722 kg·ha⁻¹). Lo anterior permite establecer que, en lo que a rendimiento corresponde, en los tres grupos de coloración las VC son materiales competitivos con las variedades comerciales utilizadas como testigo. No obstante, se requiere mejorar el nivel de expresión de algunos atributos agronómicamente importantes, particularmente en el grupo de grano blanco.

Como se señaló con anterioridad, las VC se caracterizaron por mantener diversas características presentes en las poblaciones nativas a partir de las cuales se formaron. El rendimiento fue una de ellas. Los maíces nativos de los cuales se partió eran poblaciones previamente seleccionadas por su alto rendimiento y comportamiento agronómico aceptable (Gil *et al.*, 2015), características que retuvieron las VC que con ellas se sintetizaron, lo que permitió que logran igualar y mejorar en algunos casos las mostradas por los testigos. Conviene resaltar que en al menos dos grupos (amarillo y azul) superaron el rendimiento de las variedades sintéticas empleadas (más afines a las VC en términos de su constitución genética) y fueron competitivas con los híbridos. Con respecto a estos últimos, conviene mencionar que éstos expresan su máximo rendimiento bajo condiciones ideales de cultivo (Francisco *et al.*, 2016), sin embargo, cuando son cultivados bajo condiciones de temporal, su rendimiento decrece (Vázquez *et al.*, 2014). En relación con la similitud productiva detectada entre la VC de grano blanco y la variedad “Sintético Serdán”, ésta se explica por el hecho de que esta última fue formada de manera análoga a las VC empleadas en el presente estudio (Gil *et al.*, 2004).

Los elementos previamente expuestos demuestran la validez de la aseveración hecha por Palemón *et al.* (2012), en el sentido de que la correcta elección de los progenitores permite que la progenie presente características agronómicas destacables.

Al analizar exclusivamente a las VC, se observó la tendencia a tener mejores rendimientos promedio al realizar más de un ciclo de recombinación. Así, el ordenamiento para los ciclos 1, 2 y 3 en maíces blancos fue de 9093, 10095 y 9564 kg·ha⁻¹, respectivamente, y en amarillos, de 8076, 7867 y 7908 kg·ha⁻¹, respectivamente. En maíces azules, los ciclos 3 y 4 produjeron 9147

y 9384 kg·ha⁻¹, respectivamente. Tal comportamiento concuerda con lo reportado por otros autores, quienes sugieren que en las variedades de polinización libre se realice más de un ciclo de apareamiento aleatorio, ya que ello permite generar poblaciones de mayor equilibrio genético (Márquez y Sahagún, 2002; Márquez, 2010).

Desde el punto de vista agronómico, algunas de las características desfavorables que presentan las poblaciones nativas son su mayor altura de planta y la tendencia a presentar mayor afectación por acame de tallo y de raíz (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015). Fue principalmente en algunas de estas características que las VC se vieron superadas por los testigos, específicamente por los híbridos. Esto sugiere que son atributos para los cuales se recomienda practicar algún tipo de selección en los próximos ciclos, a fin de mejorar su comportamiento agronómico.

c) Las variedades compuestas son un esquema adecuado de conservación, aprovechamiento y capitalización de la diversidad genética local de maíz.

Una de las hipótesis planteadas dentro de la investigación fue que la generación de variedades compuestas podría ser un esquema adecuado de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética local de maíz. El análisis realizado como parte del estudio permite establecer que tal aseveración es correcta. Esto avala afirmaciones hechas por otros autores quienes mencionan que el fitomejoramiento local es una de las alternativas más adecuadas para conservar y utilizar el germoplasma nativo (Herrera *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2018), pues la reproducción y conservación *in situ* permiten la coevolución, el mantenimiento de la identidad de los materiales genéticos y el desarrollo de nuevas características y adaptaciones (Gámez *et al.*, 2014).

La agroecología busca establecer una relación sustentable entre la naturaleza y el hombre, en la cual se aprovechen las interacciones biológicas benéficas (Altieri, 2015), y en donde la utilización de los recursos genéticos endógenos sea la base para la producción de alimentos (Altieri y Toledo, 2011). En la agroecología, cualquier intento de preservación y desarrollo de tecnología agrícola debe tener como base los conocimientos, habilidades y recursos locales (Altieri y Nicholls, 2010), pues el desarrollo de agroecosistemas sostenibles demanda un enfoque holístico e integrador (Altieri y Nicholls, 2018). Con base en los elementos antes expuestos y los resultados obtenidos en esta investigación, es factible establecer que la generación de variedades compuestas puede ser considerada como un planteamiento con bases

agroecológicas, pues tal procedimiento (enmarcado en la estrategia de Mejoramiento Genético en los Nichos Ecológicos) busca aprovechar el germoplasma nativo sobresaliente existente a nivel local y dentro de cada nicho ecológico (Gil, 2007). Se ha señalado que es en los maíces nativos donde se pueden encontrar atributos morfológicos, fisiológicos, agronómicos y utilitarios importantes para los agricultores (Castañeda y Ávila, 2017) y que, además, en ellos pueden estar presentes alelos útiles para enfrentar las condiciones agroecológicas del país (Turrent *et al.*, 2016). Tales características no existen en las variedades mejoradas comerciales, ya que dichos materiales fueron diseñados solo para elevar los rendimientos productivos, y no para satisfacer las demandas de índole cultural y de resiliencia ecológica (Altieri y Toledo, 2011). Con la generación de variedades compuestas, como las estudiadas en la investigación, se promueve el uso de maíces nativos, lo cual permite contribuir a lo que Sarandón (2010) define como aprovechamiento sostenible, pues el recurso genético, al continuarse utilizando a un ritmo que no ocasiona su disminución a largo plazo y seguir evolucionando dentro de los agroecosistemas, no limita las necesidades actuales, ni las de las generaciones futuras.

De acuerdo con la información experimental obtenida, la formación y posterior siembra de VC puede contribuir a incrementar la producción de maíz entre un 2 y un 10%, lo cual concuerda con lo reportado por Biasutti *et al.* (2004), pues señalan que las ganancias por cada ciclo agrícola de mejoramiento genético para diferentes métodos de selección en poblaciones diferentes y para diferentes métodos en la misma población, las ganancias rondan entre un 2 y 7%. Al comparar las ganancias de las VC respecto a las obtenidas por selección masal, estas son ligeramente superiores, pues Castillo *et al.* (2010) y Coyac *et al.* (2013) mencionan que las ganancias a través de este método se encuentran en el orden del 2% anual. Indudablemente estas ganancias favorecerían a los agricultores, pues los pequeños incrementos en el rendimiento tienen un impacto directo en el aumento de la seguridad y autosuficiencia alimentaria familiar (Altieri y Nicholls, 2010). Finalmente, si se considera que las VC pueden sembrarse en forma continua (IICA, 1989), y que dada su constitución genética es factible que en ellas existan mayores características de resistencia ante factores bióticos y abióticos desfavorables (Sahagún *et al.*, 2005; Márquez, 2008), dichos materiales pueden ser un elemento de gran utilidad para los agricultores mexicanos, pues actuarían como una especie de seguro ante lo aleatorio del temporal y una herramienta de adaptación, con la cual pueden enfrentar los cambios

ambientales, así como satisfacer sus necesidades productivas, sociales, económicas y culturales (Altieri y Nicholls, 2009).

3.1. Literatura consultada

Altieri M. A. (2015) Breve reseña sobre los orígenes y evolución de la Agroecología en América Latina. *Agroecología* 10:7-8.

Altieri M., y V. Toledo (2011) La revolución agroecológica en América Latina: Rescatar la naturaleza, asegurar la seguridad alimentaria u empoderar al campesino. *Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Desarrollo Alternativos (ILSA)* 1:163-202.

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

Altieri M. (2009) El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. In: Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. SOCLA (ed). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) Medellín, Colombia. 364 p.

Alvarado B. G., H. López S., A. Santacruz V., A. Muñoz O., E. Valadez M. Ma. A. Gutiérrez E... y O. R. Taboada G. (2019) Morphological variability of native maize (*Zea mays* L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo* 51:217-234.

Arellano V. J L., I. Rojas M., y G. F. Gutiérrez H. (2014) Variedades de maíz azul chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad de rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1469-1480.

Biasutti C. A., D. Peiretti A., M. Nazar. C., y G. Alemanno A. (2004) Respuesta a la selección masal por prolificidad en maíz en diferentes ambientes. *Agriscientia* 21:45-50.

Camarena M. F., J. Chura Ch. y R. H. Blas S. (2014) Mejoramiento Genético y Biotecnológico de Plantas. UNALM-AGROBANCO. Perú. pp: 194-195.

Castañeda Z. Y., y J. F. Ávila C. (2017) Preservación de la diversidad de maíces nativos en Puebla frente al cambio tecnológico. In: México rural ante los retos del siglo XXI, Seguridad alimentaria B. A. V. Cavallotti., y N. M. B. Keilbach. (Ed). AMER. México. pp. 63-82.

- Castillo G. F., P. Ramírez V., A. Ramírez H. (2010)** La Diversidad Genética del Maíz y el Desarrollo de la Agricultura Tradicional. *In: La investigación al Servicio del Campo Mexicano*. S. Cruz I., A. T. Kato Y., A. Muratalla L. (Comp). Colegio de Postgraduados. México. pp- 3-5.
- Cervantes-Adame Y. F., H. Rebolloza-Hernández, E. Broa-Rojas, A. Olvera-Velona, y G. Bahena-Delgado (2020)** Efectos de heterosis en poblaciones nativas de maíz y sus cruza F₁. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 22:11-19.
- Coyac R. J. L., J. D. Molina G., J. J. García Z., y L. M. Serrano C. (2013)** La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:53-62.
- Francisco P. A., B. Cruz L., N. O. Gómez M., C. A. Hernández G., D. Vargas Á., G. Reyes G., A. Damián N., y E. Hernández G. (2016)** Rendimiento de grano de maíces (*Zea mays* L.) sembrados en la Costa Chica de Guerrero, México. *Agroproductividad* 9:3-7.
- Gámez V. A. J., M. de la O., A. Santacruz V., e H. López S. (2014)** Conservación *in situ*, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 1519-1530.
- Gil M. A., P. A. López, J. de D. Guerrero R., H. López S., O. R. Taboada G., J. A. Hernández G. y E. Ortiz T. (2015)** Selección para rendimiento de grano en maíces nativos de la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec. *Acta Fitogenética* 2:84.
- Gil M. A., P. A. López., H. López S., y O. R. Taboada, G. (2007)** El fitomejoramiento: una opción tecnológica para la agricultura de subsistencia. *In: Estudios y propuestas para el medio rural*. R. Martínez R., B. Ramírez V. y G. E. Rojo M. (Coord.) Universidad Autónoma Indígena de México y Colegio de Postgraduados *Campus Puebla*. México. pp. 113-136.
- Gil M. A., P. A. López., A. Muñoz O., y H. López S. (2004)** Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. *In: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill, D. I. Jarvis (eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp. 18-25.

- González C. N., H. Silos E., J. C. Estrada C., J. A. Chávez M., y L. Tajero J. (2016)** Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:669-680.
- Hallauer A. R. and Miranda F., J. B. (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. pp. 358-361.
- Herrera C. B. E., F. A. Macías L., R. Díaz R., M. Valádez R., y A. Delgado A. (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Herrera C. B. E., A. Macías L., R. Díaz R., M. Valadez R., y A. Delgado A. (2002)** Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:17-23.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López., y S. Miranda C. (2012)** Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97-109.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (1989)** Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. Francia. 671 p.
- Magdaleno H. E., A. Mejía C., T. Martínez S., M. A. Jiménez V., J. Sánchez E., y J. I. García C. (2016)** Selección tradicional de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 13:437-447.
- Márquez-Sánchez F. (2014)** Epistasia en la variedad, la cruza varietal, el compuesto varietal y el sintético del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:319-324.
- Márquez S. F. (2010)** Epistasia en variedades sintéticas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33:101-105.
- Márquez S. F. (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I.: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5:151-166.
- Márquez S F. y J. Sahagún C. (2002)** Synthetic varieties or composite varieties? *Maydica* 47:103-105.
- Márquez S. F. (1991)** Genotecnia Vegetal. Método, Teoría, Resultados. Tomo III. AGT Editor,

- S. A. México, D. F. pp. 420-429.
- Martínez G. A., B. Zamudio G., M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. C. Cardoso G., G. Vázquez C., y A. Turrent F. (2018)** Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1447-1458.
- Muñoz O. A. (2005)** Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Glosario Centli-Maíz. Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 211 p.
- Ortiz T. E., P. A. López., A. Gil M., J de D. Guerrero R., H. López S., O. R. Taboada G ... y M. Valadez R. (2013)** Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19:225-238
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.006>.
- Palemón A. F., N. O. Gómez M., F. Castillo G., P. Ramírez V., J. D. Molina G. y S. Miranda C. (2012)** Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:157-171.
- Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G. y M. Mendoza R. (2009)** Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Ramírez L. (2006)** Mejora de Plantas Alógamas. Universidad Pública de Navarra, España.
https://www.academia.edu/8778325/MEJORA_DE_PLANTAS_AL%C3%93GAMAS
(Enero de 2021).
- Ramírez-Díaz J. L., A. Ledesma-Miramontes, V. A. Vidal-Martínez, N. O. Gómez-Montiel, J. A. Ruiz-Corral, A. Velázquez-Cardelas, ... y L. A. Nájera-Calvo (2015)** Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:119-131.
- Sahagún C. J., J. E. Rodríguez P., y A. Peña L. (2005)** Desarrollo y predicción de sintéticos de cruza dobles de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 16:19-28.
- Sarandón S. J. (2010)** Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: análisis del convenio sobre diversidad biológica. *In: Vertientes del pensamiento agroecológico:*

Fundamentos y aplicaciones. T. León S. y M. A. Altieri (Eds). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 105-125.

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

Vallejo C. F. A., y E. I. Estrada S. (2002) Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Colombia. 402 p.

Vázquez C. M. G., J. I. Arellano V., y D. Santiago R. (2014) Rendimiento y calidad de grano y tortilla en maíces híbridos de Valles Altos de México crecidos en riego y temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:75-83.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

El primer objetivo de la investigación fue *“evaluar el comportamiento y rendimiento agronómico de las variedades compuestas de maíz en la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec, área para la cual se formaron”*, en tanto que el segundo, fue *“Comparar el comportamiento y rendimiento de las variedades compuestas con respecto al de las poblaciones nativas que las conformaron y a algunas variedades comerciales recomendadas para la microrregión Libres-Huamantla-Mazapiltepec”*. Con respecto a ambos, se enuncian las siguientes conclusiones:

Las variedades compuestas tuvieron una buena adaptación a las condiciones prevalecientes en la microrregión para la cual fueron formadas, por lo que pueden ser recomendadas como variedades mejoradas de polinización libre.

Las variedades compuestas mantienen los atributos agronómicos sobresalientes presentes en las poblaciones progenitoras de las cuales derivaron. En comparación con éstas, mejoran en diferente medida (1.8 al 10%) el nivel de expresión del rendimiento de grano y muestran una menor interacción de éste a través de ambientes.

En relación con los testigos, las variedades compuestas igualaron o superaron el rendimiento de grano de aquéllos. La ventaja fue más evidente (en general) con respecto a los testigos de polinización libre estudiados. Por otra parte, el rendimiento de las variedades compuestas mostró mayor consistencia a través de localidades que el de varios testigos. No obstante, es conveniente mejorar el nivel de expresión de diversos caracteres de planta en las variedades compuestas.

Con respecto al tercer objetivo (*“Sustentar, de manera teórica, el por qué las variedades compuestas pueden ser una alternativa adecuada para conservar y aprovechar los recursos fitogenéticos locales de maíz”*), la elaboración teórica desarrollada en el ensayo permite concluir que:

La formación de variedades compuestas a partir de poblaciones nativas sobresalientes puede considerarse un esquema de aprovechamiento de la diversidad con bases agroecológicas.

Los elementos previamente expuestos permiten concluir, de manera general, que en el contexto de los programas de fitomejoramiento a escala microrregional, la formación de variedades compuestas constituye un esquema adecuado para aprovechar y conservar la diversidad genética local contenida en las poblaciones nativas de maíz.

Por todo lo antes mencionado, es factible afirmar que se dio cabal cumplimiento tanto a los objetivos particulares como al general de la investigación.