



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ, PERSPECTIVAS PARA SU
CONSERVACIÓN Y DESARROLLO EN UNA COMUNIDAD
MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC**

MÁXIMO MUÑOZCANO RUIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2011

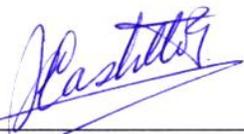
La presente tesis titulada: **DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ, PERSPECTIVAS PARA SU CONSERVACIÓN Y DESARROLLO EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC,** realizada por el alumno: **MÁXIMO MUÑOZCANO RUIZ,** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENETICA

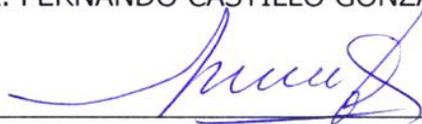
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



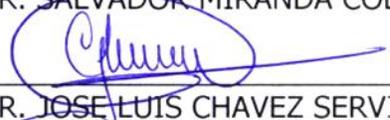
DR. FERNANDO CASTILLO GONZALEZ

ASESOR



DR. SALVADOR MIRANDA COLIN

ASESOR



DR. JOSE LUIS CHAVEZ SERVIA

ASESOR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado el financiamiento económico de mis estudios de maestría en ciencias.

Al Colegio de Postgraduados y en particular al postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética por haberme brindado la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Dr. Fernando Castillo González por su paciencia, orientación, sugerencias y apoyo recibido durante la dirección y corrección de esta investigación.

Al Dr. Salvador Miranda Colín por la atención, asesoría y revisión de ésta investigación.

Al Dr. José Luis Chávez Servia por su apoyo y sugerencias en la fase de investigación y redacción.

A la organización Agropecuaria Tataltepec S. P. R. de R. L., por el apoyo recibido durante el establecimiento y conducción del experimento y por la idea de iniciar el estudio en beneficio de las comunidades Mixtecas.

A los campesinos de México en especial a los productores de Santa María Tataltepec, Oaxaca, por regalarnos parte de su patrimonio genético del maíz para fines de investigación y por el interés mostrado durante toda la fase de campo.

DEDICATORIA

A mi familia

Al pueblo de México

A las comunidades indígenas de México

A los campesinos mexicanos productores del maíz

A todos mis amigos y profesores del Colegio de Postgraduados

Gracias

INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE DE CUADROS.	<i>v</i>
ÍNDICE DE FIGURAS.	<i>vi</i>
RESUMEN GENERAL.	<i>vii</i>
GENERAL SUMMARY.	<i>viii</i>
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
1.1 Biodiversidad.	1
1.2 Situación de la producción de maíz en México.	2
1.3 Características de las poblaciones de maíces nativas en México.	4
1.4 Panorama del cultivo de maíz en el Estado de Oaxaca.	5
1.5 Características de las poblaciones de maíz nativas en el Estado de Oaxaca.	6
1.6 Diversidad del maíz.	6
1.7 Conocimiento de la diversidad genética del maíz.	7
1.8 Relación entre diversidad genética y usos tradicionales del maíz.	10
1.9 Características de la región de estudio: Santa María Tataltepec.	11
1.10 Objetivos´.	12
1.11 Bibliografía.	13
CAPTULO II. DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC.	16
RESUMEN.	16
2.1 Introducción.	18
2.2 Materiales y Métodos.	20
2.3 Resultados y Discusión.	22
2.3.1 Diversidad genética de las poblaciones de maíz nativo.	23
2.4 Conclusiones.	33
2.5 Bibliografía.	34
CAPÍTULO III. POTENCIAL AGRONÓMICO DEL MAÍZ NATIVO EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC.	36
RESUMEN.	36
3.1 Introducción.	38

3.2 Materiales y Métodos.	40
3.3 Resultados y Discusión.	42
3.3.1 Potencial agronómico de las poblaciones.	43
3.3.2 Comparación de medias por grupo de diversidad.	45
3.3.3 Comparación de medias de poblaciones dentro de grupo.	47
3.4 Conclusiones.	54
3.5 Bibliografía.	54
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL.	56
4.1 Diversidad genética del maíz en Santa María Tataltepec.	56
4.2 Potencial productivo de las poblaciones de maíz nativas.	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES.	61
APÉNDICE.	63

INDICE DE CUADROS

<i>Capítulo II</i>	Pág.
Cuadro 2.1 Valores y vectores propios de los componentes principales (CP) que describen la variación morfológica y agronómica de 69 poblaciones de maíz nativo de Santa María Tataltepec, Oaxaca. 2010 P-V.	24
Cuadro 2.2 Características morfológicas promedio de los grupos de diversidad genética de las poblaciones de maíz nativo de Santa María Tataltepec, Oax. 2010 P-V.	31
<i>Capítulo III</i>	
Cuadro 3.1 Significancia estadística para características agronómicas de poblaciones nativas de maíz de acuerdo al análisis de varianza por color de grano. Sta. María Tataltepec, Oax. 2010-PV.	44
Cuadro 3.2 Características agronómicas en promedio de los grupos de diversidad genética de maíces nativos por cada color de grano en Santa María Tataltepec, 2010-PV.	46
Cuadro 3.3 Potencial agronómico promedio de poblaciones de maíz nativo en cada grupo de diversidad y por color de grano.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Capítulo I</i>	
Figura 1.1 Producción anual de maíz en México en el periodo 2000-2010 (fuente: FAO para periodo 2000-09 y SIAP para el 2010-11).	3
Figura 1.2 Ubicación del Municipio y comunidad de Santa María Tataltepec, Distrito de Tlaxiaco, Oaxaca.	12
<i>Capítulo II</i>	
Figura 2.1 Dispersión de 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec y variables morfológicas para valorar su diversidad, en el plano de los componentes principales 1 y 2. Grupo I grano blanco (☆), amarillo (★); grupo II grano azul (●), blanco (○); grupo III (▲); grupo IV grano blanco (□), grano amarillo (■); grupo V (◇); grupo VI (+). 2010 P-V.	26
Figura 2.2 Dispersión de 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec y variables morfológicas para valorar su diversidad, en el plano de los componentes principales 1 y 3. Grupo I grano blanco (☆), amarillo (★); grupo II grano azul (●), blanco (○); grupo III (▲); grupo IV grano blanco (□), grano amarillo (■); grupo V (◇); grupo VI (+). 2010P-V.	28
Figura 2.3 Dendrograma del análisis de conglomerados sobre 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec, Oax. 2010 P-V.	29
<i>Capítulo III</i>	
Figura 3.1 Rendimiento de las poblaciones de grano blanco del grupo de diversidad I, en Santa María Tataltepec, 2010 P-V.	52

DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ, PERSPECTIVAS PARA SU CONSERVACIÓN Y DESARROLLO EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC

RESUMEN GENERAL

Valorar la diversidad genética y evaluar el potencial agronómico de las poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec, Oaxaca, fueron los principales objetivos de esta investigación, como una vía para fomentar el desarrollo regional. Se colectaron 69 poblaciones de maíz nativo (criollo), 65 de Tataltepec y 4 de otras comunidades de la Mixteca; de las 65 poblaciones locales (en 75% de los hogares), 44 fueron de grano blanco, 11 de azul y 10 de amarillo. En el verano del 2010 se establecieron experimentos de campo con repeticiones, en condiciones de temporal. Para valorar la diversidad se caracterizaron las poblaciones mediante siete, diez y cinco variables morfológicas de planta, mazorca y grano, respectivamente y se aplicaron análisis de componentes principales y conglomerados. Para la evaluación agronómica, se registró el porte de planta y su precocidad (floración); se estimó el rendimiento de grano y los componentes de rendimiento en mazorca y grano; se aplicó análisis de varianza mediante el diseño de bloques completos al azar en cada experimento por color de grano, y se separó la variación para grupos de diversidad y poblaciones dentro de grupos, para identificar las poblaciones élite en rendimiento se aplicó una presión de selección del 20%. Las poblacionales se clasificaron en seis grupos de diversidad genética, correspondientes a variantes de la raza Bolita y formas intermedias Bolita-Pepitilla, principalmente; las poblaciones de otras partes de la región Mixteca se ubicaron en grupos separados a los de Tataltepec. La valoración del potencial agronómico, indicó que las 37 poblaciones de maíces blancos del grupo I de diversidad, tuvieron los rendimientos más altos con un comportamiento de distribución normal; el 20% de las poblaciones del grupo I, con los mejores rendimientos, fueron siete poblaciones (39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31) con 3.0-3.5 t.ha⁻¹. Las siete poblaciones élite rindieron en promedio 23% más que el grupo I en conjunto. Los maíces azules y amarillos integraron grupos con pocas poblaciones, en donde también existen maíces con buen potencial productivo, más otros atributos como precocidad en las de grano amarillo. Se proponen siete, tres y dos poblaciones élite de grano blanco, amarillo y azul, respectivamente, para aprovechar su potencial como primera fase en el desarrollo del cultivo de maíz en la comunidad, a la vez que se conservan los tipos de maíz en su diversidad genética local.

Palabras clave: *Zea mays*, Bolita, diversidad genética, maíces nativos, Pepitilla, potencial agronómico.

MAIZE GENETIC DIVERSITY, PERSPECTIVES FOR CONSERVATION AND DEVELOPMENT FOR AN OAXACAN MIXTEC VILLAGE: SANTA MARÍA TATALTEPEC

GENERAL SUMMARY

Before the interest in promoting regional development of Santa Maria Tataltepec, Oax., through improving maize production, local maize genetic diversity was assumed as convenient base line in building that purpose. This research had two aims: 1) assess the local maize genetic diversity, and 2) agronomic evaluation of local maize populations and detection of those with outstanding productivity. 69 native maize populations were recollected, 65 from Tataltepec and 4 from other villages in the Mixtec Region; of the 65 local populations (in 75% of households), 44 had white kernels, 11 with blue or black and 10 of yellow kernels. In summer growing season of 2010, field experiments with replicates were carried on under rainfed conditions. For diversity assessment, maize populations were characterized through seven, ten and five morphological traits of plant, ear and kernel, respectively; and principal components and cluster analyses applied. For agronomic evaluation, plant height, days to flowering, grain yield and ear – kernel yield components were recorded; analyses of variance for randomized complete blocks design were computed for each experiment by color of kernels, and variation among diversity groups and populations within groups was partitioned. Maize populations were classified in six diversity groups, corresponding to variants of Bolita race and intermediate Bolita-Pepitilla forms, mainly; maize populations from other villages in the Mixtec region were grouped separately with respect to those from Tataltepec. For the agronomic potential evaluation, a diversity group (Group I) of white maize was constituted by 37 populations, and grain yield showed normal distribution; applying 20% selection pressure for better productivity, 7 populations were detected (39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31) with grain yield in between 3.0 and 3.5 t.ha⁻¹, whose mean was greater than the overall group mean by 23%; blue and yellow maize integrated groups with fewer populations, nonetheless, some populations showed good yield potential as well as other attributes such as earliness by yellow maize. Seven populations of white maize, three of yellow and two of blue maize are proposed, because their better productivity, as candidates to be utilized in building a first step in order to improve maize crop development in Tataltepec, at the same time that genetic diversity is preserved.

Key words: Zea mays, Bolita, Genetic diversity, native populations (Landraces), Pepitilla.

DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ, PERSPECTIVAS PARA SU CONSERVACIÓN Y DESARROLLO EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Biodiversidad

La diversidad biológica o biodiversidad comprende la pluralidad de especies de plantas, animales y microorganismos, que conviven en la complejidad de ecosistemas y procesos ecológicos de los cuales forman parte; de tal forma que hay tres niveles en la diversidad biológica: diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas. La diversidad genética es la suma total de información contenida en los genes de individuos de plantas, animales y microorganismos; la diversidad de especies es la variedad de organismos vivientes en la tierra, y la diversidad de ecosistemas es la variedad de hábitats, comunidades bióticas y procesos ecológicos en la biósfera (McNeely *et al.*, 1992; CONABIO, 1998).

México es uno de los países con mayor diversidad biológica y cultural; gran parte de esta biodiversidad es exclusiva del país y está ligada con las culturas que se han desarrollado. Las relaciones entre biodiversidad y culturas ofrecen a México grandes oportunidades para el desarrollo y deben ser la base para tomar decisiones sobre el uso y conservación de la biodiversidad nacional, dado que una parte importante del capital natural de México es propiedad de comunidades indígenas y rurales (CONABIO 2008).

En el reino vegetal, la diversidad consiste en la variedad de formas vegetales que existen en una región; en las plantas cultivadas, la diversidad se relaciona con agro-biodiversidad y comprende todas las plantas, animales y microorganismos que interactúan y coexisten en el sistema agrícola. La diversidad genética en las plantas cultivadas es importante pues es el reservorio de genes, todos importantes para la

evolución, conservación y mejoramiento de las plantas, sobre todo las de consumo y usos múltiples como el maíz (CONABIO, 2008).

El maíz se reconoce como originario de Mesoamérica (México y Centroamérica), región donde fue domesticado por las culturas prehispánicas y en consecuencia, en esta área se ha descrito su mayor diversidad genética (Wellhausen *et al.* 1951; Hernández y Alanís, 1970; Sánchez *et al.*, 2000; Kato *et al.*, 2009). De esta región partió la distribución de la especie al resto del mundo en diferentes eventos, lo cual la ha consolidado como una de las plantas más cultivadas en el mundo.

1.2 Situación de la producción de maíz en México

El maíz se cultiva en el mundo con fines distintos, sin embargo en México es casi exclusivamente para la alimentación humana. La producción mundial de maíz fue de 818 millones de toneladas de grano en el 2009; México fue el cuarto país productor, superado por Estados Unidos (40% de la producción mundial), China y Brasil (FAO, 2009; SIAP, 2011).

En México la producción anual de maíz ha registrado un comportamiento dinámico en la última década, pero osciló en 20 millones de toneladas aproximadamente (Figura 1.1); en 2007 y 2008 mostró incrementos ligeros hasta llegar a 24 millones de ton., sin embargo en el 2009 disminuyó 4 millones de ton., posiblemente porque hubo sequía intra-estival (canícula) muy amplia que redujo los rendimientos del maíz bajo condiciones de temporal (secano); en el 2010 se incrementó ligeramente, pero también hubo afectaciones por inundaciones y heladas tempranas intensas; para el 2011 en todo el país se atrasó la temporada de lluvias al menos un mes a lo común; heladas atípicamente tempranas (primera semana de septiembre) en Valles Altos afectó la producción de maíz; y en algunos estados del

Norte del país la sequía afectó la producción de maíz, pero se estimó en 18.5 millones de toneladas aproximadamente (SIAP, 2011).

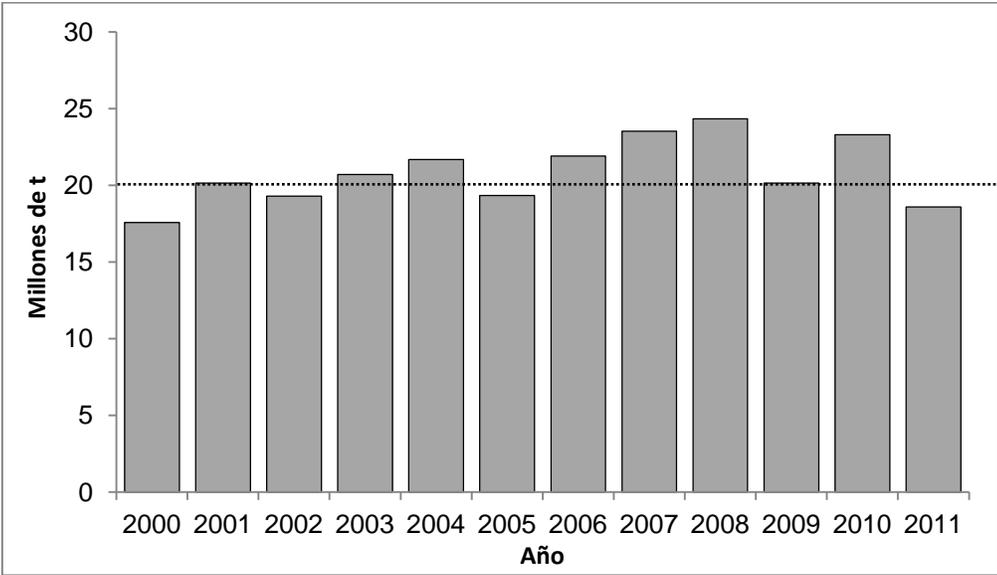


Figura 1.1 Producción anual de maíz en México en el periodo 2000-2010 (fuente: FAO para periodo 2000-09 y SIAP para el 2010-11).

La demanda nacional de maíz oscila en 29 millones de toneladas, y se producen 23 millones de ton. (SIAP, 2011), lo cual marca un déficit de 6 millones de ton.; en el año 2008 se importaron 9.1 millones de ton. (FAO, 2009) y los pronósticos para 2011 indican que la importación de grano incrementará en 2 millones de ton., ante esta situación se han implementado estrategias nacionales en mejora de la producción, sin embargo, el éxito se ha reflejado en 1.5 millones de hectáreas (15% del área cultivada con maíz), que corresponde a regiones extensas de condiciones agro-ecológicas homogéneas y disponibilidad de riego o un temporal favorable, no así en el restante 85% del área, donde prevalecen la agricultura de temporal y se está a expectativas de condiciones meteorológicas adversas. Además de los fenómenos meteorológicos extremos, factores políticos, económicos afectan la producción de maíz.

1.3 Características de las poblaciones de maíces nativos en México

La semilla de maíz que se siembra en México es principalmente nativa o “criolla” (85%), y el resto (15 %) corresponde a semilla mejorada, híbridos principalmente (INEGI, 2007), las cuales se siembra generalmente en áreas homogéneas extensas con riego o temporal favorable, mientras que la semilla nativa se siembra en condiciones de temporal en áreas con gran variación agro-ecológica.

La semilla de maíces nativos es patrimonio de comunidades de agricultores, quienes la seleccionan cada año según sus criterios e intereses, principalmente alimenticios, de rendimiento y sanidad; la mayoría de esta semilla fue heredada por lo menos dos generaciones anteriores (Louette *et al.*, 1997; Soleri y Cleveland, 2001, Brush y Perales, 2007).

Las poblaciones de maíces nativos presentan características particulares como adaptabilidad a condiciones agro-ecológicas locales, lo que se manifiesta en diferentes niveles de precocidad y resistencias a factores adversos (Camacho y Chávez, 2004; Ángeles *et al.*, 2010), esto permite a los productores tener un abanico de posibilidades para hacer frente a los riesgos meteorológicos que pudieran presentarse en el ciclo productivo y de esta forma asegurar cosecha de grano, aunado a que se practican sistemas agrícolas integrales con más de una planta cultivada para obtener más de un alimento (Rincón *et al.*, 2010).

En contraparte, la semilla de poblaciones de maíz mejorado se comercializa por pocas empresas, transnacionales en su mayoría; estas poblaciones son homogéneas y prosperan sólo en condiciones agro-ecológicas óptimas y difícilmente se adaptan a la diversidad de nichos ecológicos del país, además en cada ciclo debe comprarse semilla nueva y aplicar gran cantidad de fertilizantes y otros agroquímicos, lo que incrementa los costos de producción.

1.4 Panorama del cultivo de maíz en el estado de Oaxaca

En el estado de Oaxaca, el maíz también constituye el principal alimento de la población y por tanto es el cultivo con mayor superficie; en el 2010 se sembraron 510 mil hectáreas en condiciones de temporal (93.7% del total estatal) y 34 mil hectáreas de riego (6.3%) con una producción total de 645 mil toneladas; de acuerdo a las estadísticas nacionales, el 83% de la superficie corresponde a grano blanco y 17% grano amarillo (INEGI, 2007; SIAP, 2011); y aunque no se menciona, aproximadamente el 10% se cultiva con grano de color azul o negro, lo cual explica la comercialización de grandes cantidades de tortilla de grano azul en los mercados regionales del Estado.

Al igual que el resto de la agricultura de temporal en el país, en el Estado de Oaxaca la producción de maíz enfrenta una problemática fuerte que reduce la cosecha y afecta directamente a más de 400 mil familias que dependen de la siembra y consumo de este grano (INEGI, 2007). A pesar de estas adversidades las familias cosechan el mínimo de maíz necesario para el consumo de tortilla durante un año, pero el grano excedente que se intercambia o vende cotidianamente para diversificar la canasta básica es limitado.

Las causas principales que afectan la producción de maíz en el Estado, son fenómenos meteorológicos, como la sequía que coincide con la floración de la planta, (etapa fenológica muy susceptible); heladas tempranas intensas en zonas con altitud mayor a 2,000 m; y en los últimos años el atraso de la temporada de lluvia de al menos un mes, por tanto la fecha de siembra se desfasa y en regiones bajas o riveras de corrientes de agua, las inundaciones son frecuentes; otros factores como la fertilidad de los suelos, malezas, insectos plaga y enfermedades también reducen la producción pero en menor proporción que los eventos meteorológicos adversos (Ruiz *et al.*, 2000; Muñoz, 2005).

1.5 Características de las poblaciones de maíz nativas en el Estado de Oaxaca

La semilla que se siembra en condiciones de temporal, en el Estado, es de maíz nativo en su totalidad; en riego se utiliza semilla nativa principalmente y con muy poca frecuencia semilla mejorada. Esta información indica la dominancia de agricultura de secano en el estado de Oaxaca y el uso prácticamente exclusivo de semillas nativas para el cultivo de maíz (INEGI, 2007).

En las parcelas de cultivo tradicional de maíz, en el Estado de Oaxaca es común encontrar plantas con diferentes fenotipos, resultado de la respuesta individual debida tanto al genotipo como a las condiciones ambientales y la interacción de ambas; por ejemplo, en un ambiente adverso sólo producen las plantas más resistentes, el productor cosecha y almacena su mazorca y en este punto escoge las que más le satisfagan; esta es la forma de obtener semilla para el ciclo siguiente y lleva inmersa tanto la selección natural como la dirigida por el productor, así mediante estos procesos no documentados aún, se conforman las variantes raciales del maíz en una comunidad determinada.

1.6 Diversidad del maíz

La diversidad del maíz en México es extremadamente amplia (Kato *et al.*, 2009), no sólo varía entre regiones, sino entre parcelas y, más aún, entre plantas de una misma parcela. Se han delineado patrones de variación que responden tanto a condiciones agro-ecológicas como a la diversidad cultural de los grupos humanos ahí desarrollados; de tal forma que han determinado poblaciones diferenciadas unas de otras, cuando esas diferencias son contrastantes, se aplica el concepto de raza al valorar la diversidad genética (Anderson y Cutler, 1942; Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 1993; Loutte *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2000; Perales *et al.*, 2003; 2005).

El concepto de raza puede definirse como el número de variedades que comparten características suficientes para identificarlas como un grupo; desde el punto de vista genético, raza se refiere a un grupo de individuos con un conjunto significativo de genes en común (Anderson y Cutler, 1942).

En México es casi imposible establecer límites de diversidad genética del maíz, debido a las pequeñas diferencias entre variantes cercanas que determinan un continuo de diversidad genética en constante evolución, que puede conformar nuevas variantes e incluso nuevas razas de maíz (Herrera *et al.*, 2000; 2004).

La primera clasificación amplia de la diversidad del maíz en México fue realizada en 1951; se describieron 25 razas, tres subrazas y se mencionan siete variantes como posibles razas, aunque la información es limitada (Wellhausen *et al.*, 1951). En 1970 se describieron cinco razas nuevas (Hernández y Alanís, 1970); en 1985 se identificaron cinco razas más, en el siguiente año se sumaron otras cinco (Benz, 1986), con un total de 47 razas clasificadas, en diversos trabajos sobre las relaciones raciales de maíces mexicanos se utilizaron entre 50 y 59 razas, que son las descritas hasta la fecha (Sánchez *et al.*, 1993, 2000).

1.7 Conocimiento de la diversidad genética del maíz

Para conocer la diversidad genética del maíz se han utilizado métodos diferentes, los más comunes han sido la caracterización morfológica de planta, mazorca y grano (Benz, 1986; Herrera *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2000); la determinación de polimorfismo iso-enzimático (Sánchez *et al.*, 2000; Perales *et al.*, 2003; González, 2007); y marcadores moleculares (Matsuoka *et al.*, 2002). Para el análisis de la información se han empleado procedimientos estadísticos multivariados.

De forma tradicional, los productores diferencian su maíz por características físicas y morfológicas, como color, forma y textura del grano, junto con atributos culinarios y los asocian con atributos morfo-fisiológicos en las plantas como el color de tallo, forma de hojas, pubescencia, y precocidad (Louette *et al.*, 1997; Perales *et al.*, 2003; 2005; Ángeles *et al.*, 2010).

La caracterización morfológica es una metodología muy empleada para conocer la diversidad genética del maíz de forma rápida, sencilla y económica (Anderson y Cutler, 1942; Herrera *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 1993; 2000; Ángeles *et al.*, 2010); sin embargo, las condiciones ambientales influyen en la expresión de algunos caracteres morfológicos. Para identificar los caracteres más adecuados que representen la diversidad del maíz, se han estudiado cerca de 50 características de planta, mazorca, grano y olote, pero se propusieron nueve caracteres como mínimos y apropiados: número de hojas por planta, longitud de la parte ramificada/longitud de espiga, longitud de entrenudos (separación entre pares de espiguillas) de la rama central de la espiga, longitud de gluma masculina, ancho de grano, longitud de segmento de raquis, diámetro de médula, y los cocientes diámetro/longitud de mazorca y ancho/longitud de grano (Sánchez *et al.*, 1993).

Los estudios de diversidad genética en maíz con técnicas bioquímicas, se basan en determinar las frecuencias génicas y genotípicas de alelos iso-enzimáticos y con estos datos calcular las distancias genéticas; esta técnica tiene la ventaja que no hay influencia ambiental; aunque se requiere especialización y práctica en la técnica; con las frecuencias alélicas se pueden inferir relaciones sistemáticas entre razas (Sánchez *et al.*, 2000).

Los marcadores moleculares han sido de gran aceptación para valorar la diversidad de maíz, sin embargo, son costosos y requieren de equipo especializado. Con los marcadores de ADN se explora directamente el genoma y no hay influencia

del ambiente; se pueden agrupar en dos categorías: hibridación de ADN y Reacción en Cadena de la Polimerasa (Bretting y Widrechner, 1995).

Al considerar la megadiversidad de México, los antecedentes para estudiar la diversidad del maíz a nivel de nicho ecológico son pocos; se ha valorado la diversidad en regiones como Valles Altos de México (Perales *et al.*, 2003; Herrera *et al.*, 2004); Valles Centrales de Oaxaca (Bellon *et al.*, 2003; Soleri y Cleveland, 2001); Istmo de Tehuantepec (López *et al.*, 2005); Valle de Puebla (Hortelano *et al.*, 2008); Valles Altos, Chiapas (Perales *et al.*, 2005) y Estado de Coahuila (Rincón *et al.*, 2010), sin embargo, estudios delimitados a comunidades o municipio (Louette *et al.*, 1997; Camacho y Chávez, 2004; González, 2007; Ángeles *et al.*, 2010) han demostrado que la diversidad del maíz está ampliamente ligada a los intereses y condiciones agroecológicas de una comunidad en particular, incluso que cada hogar posee diversos tipos de maíces, seleccionados por usos y adaptabilidad a condiciones específicas de sus parcelas; por tanto estos fundamentos deben ser la base para construir estrategias locales para mejorar la producción de maíz.

El intercambio de semilla de maíz entre productores de comunidades diferentes puede darse frecuentemente y es fuente de diversidad en maíz, por ejemplo, en Cuazalapa, Jalisco la diversidad de maíces respondió a la introducción de materiales más que al aislamiento geográfico (Louette *et al.*, 1997); en los Valles centrales de Oaxaca, aunque el intercambio de semilla no fue lo más común, también influyó en la diversidad genética del maíz (Soleri y Cleveland, 2001; Badstue *et al.*, 2007). La variedad de maíz que se intercambia debe cumplir algunas expectativas, como compartir ciertas condiciones ecológicas y cubrir algunos intereses de los productores, como cualidad culinaria, color, textura, ciclo de cosecha, entre muchos otros.

1.8 Relación entre diversidad genética y usos tradicionales del maíz

En general, el destino del maíz cosechado en México es para la alimentación humana; sin embargo el sector ganadero también consume una cantidad importante pero es generalmente maíz importado (SIAP, 2011).

Dentro de los usos alimenticios, cada tipo de maíz tiene su cualidad, por ejemplo el color y forma del grano junto con otros atributos que definen los tipos de maíces nativos en cada región o nicho ecológico. A nivel nacional el maíz más utilizado para elaboración de tortillas es de color blanco y de un tamaño medio, el maíz amarillo se asocia más con alimento para ganado o uso industrial; el maíz azul para pigmentos, tortilla y pinoles; granos chicos como el Palomero Toluqueño para la industria de “palomitas”; y el maíz de grano ancho y grande para “pozole”. Estas relaciones junto con la condición ecológica han contribuido a la diversidad del maíz.

En el occidente del país, los maíces de grano blanco son utilizados tradicionalmente para elaborar tortilla, los maíces de grano azul o negro se consideran dulces y se prefiere su consumo en elotes y pocas veces como grano; y los granos de color amarillo son más utilizados para la alimentación de ganado (Louette *et al.*, 1997).

En el norte del país los maíces blancos son los más predominantes y son para consumo en tortilla; los maíces azules y amarillos son para alimentar el ganado y su cultivo es poco frecuente (Rincón *et al.*, 2010).

En el estado de Oaxaca, el color de grano no es necesariamente el factor que define su uso, pues se elaboran tortillas de los tres colores de grano principales (blanco, amarillo y azul), aunque si es frecuente ligar los colores de grano con algún tipo de tortilla. El maíz Zapalote Chico es muy característico para elaborar “totopos” en el Istmo de Tehuantepec; en Valles Centrales de Oaxaca el maíz Bolita blanco,

amarillo y azul para tortillas “Tlayudas” y frescas (“blandas”); y para elaborar “Nicutole” es común el Bolita amarillo; en comunidades muy aisladas geográficamente y poco pobladas, los patrones de uso son muy particulares. En general, en el Estado de Oaxaca los usos tradicionales del maíz son tan diversos como sus grupos culturales.

1.9 Características del la región de estudio: Santa María Tataltepec

El municipio de Santa María Tataltepec, está ubicado en la región Mixteca del estado de Oaxaca (Figura 1.2), entre 17°05' y 17°11' de latitud Norte y 97°21' y 97°28' longitud Oeste; tiene una altitud que varía entre 1,400 y 2,300 m. Colinda al norte con los municipios de San Bartolomé Yucuañe y Santiago Tilantongo; al este con Santiago Tilantongo; al sur con Santiago Tilantongo, San Mateo Sindihui y San Juan Teita y al oeste con San Juan Teita y San Bartolomé Yucuañe. Ocupa el 0.04% de la superficie del Estado (INEGI, 2005).

La comunidad y municipio están inmersos en la Mixteca Alta dentro la Sierra Madre del Sur y prevalece un sistema de topofomas de sierra alta compleja en todo su territorio. El clima prevaleciente está compuesto por dos tipos: el semi-cálido subhúmedo y el templado subhúmedo con lluvias en verano; su temperatura oscila entre los 16 y 22°C y la precipitación de 1,000 a 1,200 mm anuales (INEGI, 2005).

El uso de suelo es principalmente de bosque, palmar y pastizales (86%) y el resto de uso agrícola y urbano. Sus principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería de traspatio, la recolección y transformación de palma (INEGI, 2005).

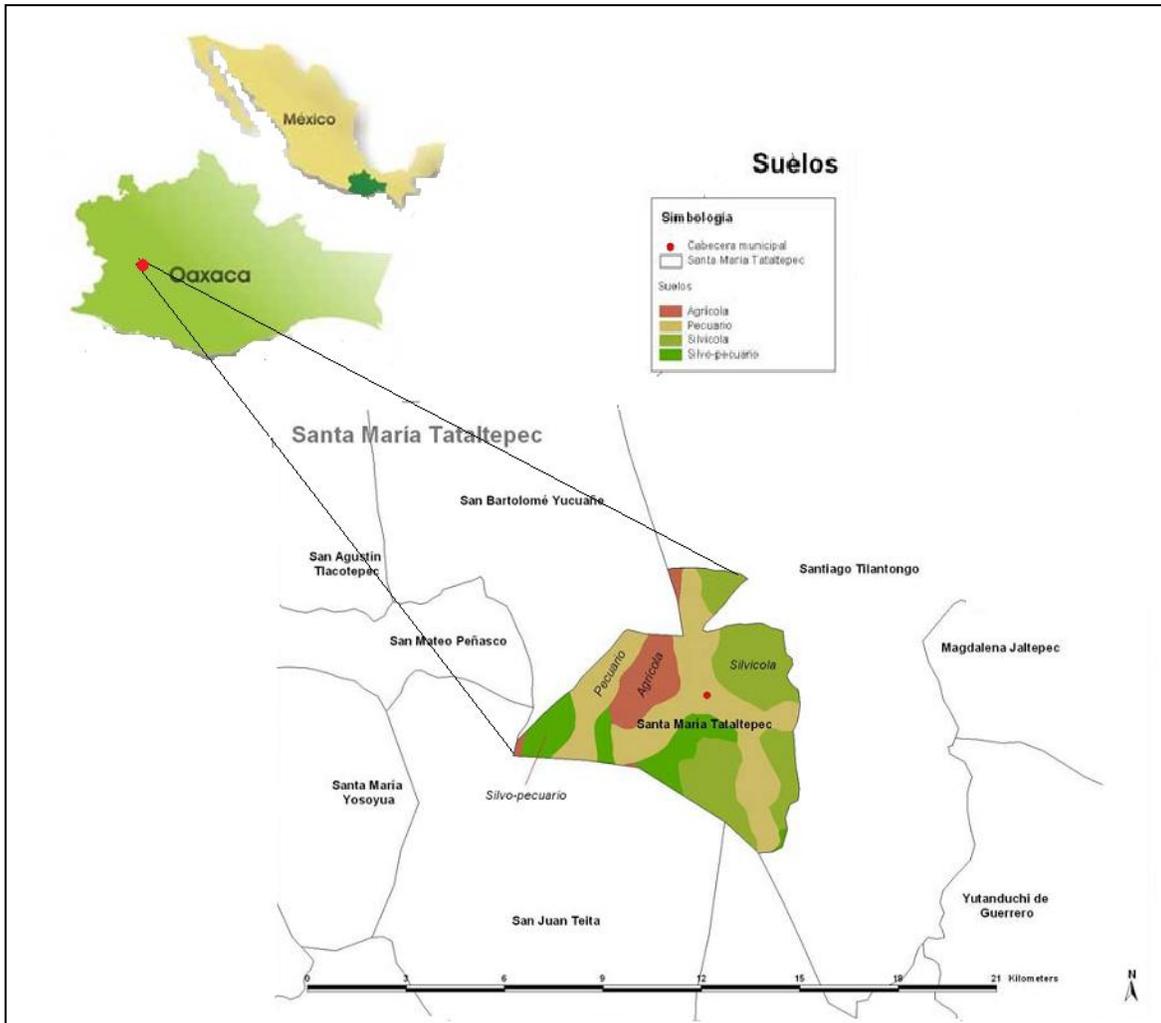


Figura 2.1. Ubicación del Municipio y comunidad de Santa María Tataltepec, Distrito de Tlaxiaco, Oaxaca.

Por las razones anteriores y dado que la Mixteca en el Estado de Oaxaca, posee nichos ecológicos muy diversos y variantes étnicas de la cultura Mixteca, se infiere que en esta región existe diversidad genética del maíz y está poco valorada y documentada, por tanto, se proponen los siguientes objetivos.

1.10 OBJETIVOS

1. Fomentar el desarrollo de la región de Santa María Tataltepec a través del incremento de la producción de maíz.

1.2 Valorar la diversidad genética de las poblaciones de maíz nativas en Santa María Tataltepec, Oaxaca.

1.3 Identificar las poblaciones nativas con más potencial productivo y agronómico.

1.11 BIBLIOGRAFÍA

Anderson E. and H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their Recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69-86.

Ángeles G., E., E. Ortiz T., P. A. López and G. López R. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.

Badstue L. B., M. R. Bellon, J. Berthaud, A. Ramirez, D. Flores, and X. Juárez. 2007. The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the Central Valleys of Oaxaca, México. *World Development* 35: 1579-1593.

Bellon, M. R., J. Berthaud, M. Smale, J. A. Aguirre, S. Taba, F. Aragon C., J. Diaz, and H. Castro. 2003. Participatory landrace selection for on farm conservation: An example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51:401-416.

Benz, B. F. 1986. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Ph. D. Dissertation University Wisconsin, Madison. 433 p.

Bretting, P. K. and M. P. Widrlechner. 1995. Genetic markers and plant genetic resources management. *Plant Breeding Reviews* 31:11-86.

Brush, S. B. and H. R. Perales. 2007. A maize landscape: Ethnicity and agrobiodiversity in Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:211-221.

Camacho V., T. C. y J. L. Chávez S. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. *In*: J. L. Chávez S., J. Tuxill, D. I. Jarvis (eds.). *Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:47-57.

CONABIO. 2008. Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México (disponible en www.conabio.gob.mx, Noviembre 2011).

CONABIO. 1998. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México (disponible en www.conabio.gob.mx, noviembre 2011).

- FAO. 2009. Base de Datos de Estadísticas Agropecuarias. (Disponible en www.faostat.fao.org, noviembre 2011)
- González G., M. 2007. Diversidad del maíz: potencial agronómico y perspectivas para su conservación y desarrollo *in situ* en el sureste del Estado de México. Tesis D.C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 137p.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. A. Ortega P. y M. M. Goodman. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:335-354.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. A. Ortega P. and M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hortelano S. R., R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C., y L. Córdova T. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2005. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Santa María Tataltepec, Oaxaca. (disponible en www.inegi.org.mx, noviembre 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (disponible en www.inegi.org.mx, noviembre 2011).
- 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. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- López R., G., A. Santacruz V., A. Muñoz O., F. Castillo G., L. Córdova T. y H. Vaquera H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284-290.
- Louette D., A. Charrier, and J. Berthaud. 1997. *In-situ* conservation of maize in México: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20-38.
- Matsuoka Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. J. Sánchez, G. E. Buckler, and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize show by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS* 99(9):6080-6084.
- McNeely, J. A., K. R. Miller, W. V. C. Reid, R. A. Mittermeier and T. B. Werner. 1992. Conserving the World's Biological Diversity. IUCN, WRI, CI, WWF-US, World Bank, Washington, D. C. pp.17-22.

- Muñoz O., A. 2005. Descifrando la diversidad del maíz de los nichos ecológicos de México. *In*: A. Muñoz O. (Director). 2005. Centli Maíz. Ed. América. 2da ed. México, D. F. pp:133-143.
- Perales, H. R., S. B. Brush, and C. O. Qualset. 2003. Maize landraces of central Mexico: An altitudinal transect. *Economic Botany* 57:7–20.
- Perales, H. R., B. F. Benz, and S. B. Brush. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, México. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:949-954.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. 2010. Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Chapingo, México. 116 p.
- Ruiz C., J. A., J. L. Ramírez D., F. J. Flores M., J. J. Sánchez G. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 169-182.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and J. O. Rawlings. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany* 47:44-59.
- 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.
- Soleri D. and D. A. Cleveland. 2001. Farmer's genetic perceptions regarding their crop populations: An example with maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* 55: 106-128.
- SIAP. 2011. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (disponible en www.siap.gob.mx, noviembre 2011).
- SIAP. 2011. Estadística Agrícola. Datos preliminares al 31 de octubre de 2011. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (disponible en www.campomexicano.gob.mx/portal_sispro, diciembre 2011).
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernandez X. and P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.

CAPÍTULO II. DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC

RESUMEN

Se valoró la diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) nativo (criollo) de Santa María Tataltepec, Oax., en el verano 2010. Se conjuntaron 69 poblaciones: 65 (en 75% de los hogares) se colectaron en Tataltepec y 4 de otras comunidades en la Mixteca. Se reunieron 46, 12 y 11 poblaciones de grano blanco, azul y amarillo, respectivamente. Se midieron siete, diez y cinco características morfológicas de planta, mazorca y grano, correspondientemente, en cada población. Se realizó análisis de componentes principales y de conglomerados para valorar la diversidad entre poblaciones. Los atributos de mazorca y grano, la fenología y porte de planta fueron los de mayor influencia para agrupar las poblaciones. Se conformaron seis grupos de diversidad genética (I, II, III, IV, V y VI) que pertenecen a variantes de la raza Bolita y formas intermedias de Bolita-Pepitilla. Las poblaciones de Tataltepec se distribuyeron en los grupos I, II, III y IV, mientras que las poblaciones de las otras comunidades se separaron en los grupos V y VI. En Tataltepec coexisten poblaciones diversas de maíz nativo que constituyen un complejo Bolita-Pepitilla, que se diferencian por atributos que responden a la acción conjunta de condiciones agroecológicas y preferencias de tipo antropocéntrico. Este complejo de diversidad debiera conservarse y aprovechar a las poblaciones de mayor potencial agronómico dentro de cada grupo de diversidad, al emprender iniciativas de desarrollo social del área mediante la mejora del cultivo.

Palabras clave: *Zea mays*, Bolita, componentes principales, diversidad genética, maíces criollos, maíces nativos, Pepitilla.

MAIZE GENETIC DIVERSITY IN A MIXTEC VILLAGE IN OAXACA: SANTA AMARÍA TATALTEPEC

SUMMARY

Maize genetic diversity assessment of native maize (*Zea mays* L.) for Santa María Tataltepec, Oax., was carried on in summer 2010. A set of 69 populations was assembled, 65 (in 75% of households) were recollected from Tataltepec and 4 from other Mixtec villages. 46, 12 and 11 populations were of white, blue and yellow maize, respectively. Each population was characterized through 7, 10 and 5 morphological traits for plant ear and kernel, respectively. Principal components and cluster analyses were applied. Ear, kernel and phenology attributes were the more influential for grouping population. Six diversity groups were constituted (I, II, III, IV, V and VI) corresponding to variants of Bolita race and intermediate forms of Bolita-Pepitilla. Populations from Tataltepec were exclusively in groups I, II, III and IV, meanwhile those from other villages were separately grouped in V and VI. In Tataltepec co-exist different native maize diversity forms, in a Bolita, Bolita-Pepitilla complex, that are differentiated by attributes which respond to the joint action of agro-ecological conditions and anthropocentric preferences. This diversity complex should be preserved and the agronomically better populations utilized in local initiatives for development through improving maize productivity.

Key words: *Zea mays*, Bolita, principal components, genetic diversity, landraces, native maize, Pepitilla.

2.1 INTRODUCCIÓN

México es un país megadiverso, cuya riqueza está asociada a la multitud de condiciones ecológicas y culturales (CONABIO, 1998), en donde se ha generado gran diversidad biológica, en la que se incluye a plantas cultivadas de importancia mundial, como el maíz (*Zea mays* L.). Sin embargo, el nivel de conocimiento sobre esa diversidad es aún limitada, así como su relación con los grupos humanos que la han desarrollado y condiciones agroecológicas.

Mesoamérica, se reconoce como centro de origen y domesticación del maíz, y donde se ha descrito su mayor diversidad genética, valorada en 60 razas aproximadamente (Wellhausen *et al.* 1951; Sánchez *et al.*, 2000; Kato *et al.*, 2009).

En la última década la producción de maíz en México se ha afectado por causas diversas; son evidentes fenómenos meteorológicos extremos, principalmente heladas, exceso de calor y sequía o inundaciones, que al presentarse en la estación de crecimiento se reducen los rendimientos del maíz (Ruiz *et al.*, 2000; Muñoz, 2005).

En México, el maíz se cultiva tanto en sistemas agrícolas tradicionales (alrededor del 85% del área cultivada) como en condiciones de agricultura intensiva (15%); en los sistemas tradicionales se utiliza semilla nativa (criolla), patrimonio de productores y comunidades que la seleccionan, conservan y multiplican de acuerdo a sus necesidades y condiciones agroecológicas, mientras que en los sistemas intensivos se siembra semilla mejorada, principalmente híbridos comerciales (Soleri y Cleveland, 2001; Herrera *et al.*, 2004; Badstue *et al.*, 2007; INEGI, 2007).

Los sistemas tradicionales prevalecen en el territorio de mayor variación orográfica con diversidad de nichos ecológicos y en cada uno de ellos se cultiva un complejo específico de diversidad genética del maíz y dependen del temporal

(secano). Los sistemas intensivos se desarrollan en áreas de terrenos planos o pendiente mínima, con disponibilidad de agua para riego o temporal favorable y la diversidad genética del maíz se reduce a unos cuantos híbridos comerciales (INEGI, 2007). El desarrollo de la agricultura del maíz con base en el uso de semillas híbridas ha tenido impacto en alrededor del 15% de los 8 millones de hectáreas cultivadas; sin embargo, esta estrategia no es aplicable para desarrollar el cultivo en el 85% del área restante dada su complejidad.

La producción y rendimientos de maíz, en los Estados mexicanos donde prevalece la agricultura tradicional, se mantienen estáticos, y para mejorarlos es necesario construir estrategias con base en el patrimonio genético del maíz de las comunidades y las condiciones agroecológicas locales. Valorar la diversidad genética del maíz a nivel de comunidad (nicho ecológico), puede contribuir a entender y solucionar esta necesidad; al respecto, existen pocos antecedentes en México considerando su mega-diversidad; los primeros estudios con este enfoque fueron realizados por Anderson y Cutler (1942) en el centro-occidente de México, y más recientemente por Louette *et al.* (1997) en Jalisco, en Yaxcabá, Yuc., por Camacho y Chávez (2004), en el Valle de México por Perales *et al.* (2003), Herrera *et al.* (2004), en Chiapas por Perales *et al.* (2005) y en Molcaxac, Pue. por Ángeles *et al.* (2010).

En el estado de Oaxaca se ha valorado la diversidad de maíz, en los Valles Centrales (Soleri y Cleveland, 2001; Pressoir y Berthaud, 2004) y el Istmo de Tehuantepec (López *et al.*, 2005), pero son insuficiente, ya que Oaxaca es uno de los estados con gran diversidad etno-lingüística y biológica.

En Santa María Tataltepec, Oax., se planteó la posibilidad de mejorar la producción de maíz como un medio para el desarrollo social del área, para lo cual se consideró conveniente aprovechar el patrimonio de la diversidad genética del maíz en la comunidad, lo que implica al menos dos etapas: 1) estudiar la diversidad

genética del maíz localmente y 2) aprovechar las poblaciones con mayor potencial agronómico en cada variante de diversidad y participación técnica para la selección de semilla. Este trabajo constituye la primera etapa, en el que se plantea el objetivo de estudiar la diversidad genética del maíz nativo en la comunidad.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se caracterizaron 65 poblaciones de maíz nativo en 2010 en Santa María Tataltepec, Distrito de Tlaxiaco, Oaxaca (17°08' N y 97°24' O y 1,600 m de altitud media) en la región Mixteca, colectadas en las “trojes” (almacenes) de 46 hogares (74.2% del total); se obtuvieron 44 poblaciones de grano blanco, 11 de azul y 10 de amarillo, representadas por 25 a 30 mazorcas cada una. Se agregaron cuatro poblaciones testigo¹, 45 y 46 (grano blanco), 58 (azul) y 69 (amarillo) provenientes de San Andrés Dinicuiti (1620 m), Santo Domingo Yodohino (1,720), Santo Domingo Tonalá (1360 m) en el Distrito de Huajuapán de León, respectivamente, y la población 69 de San Juan Teita, Distrito de Tlaxiaco (1310 m). De esta forma se tuvieron 69 poblaciones en total, las cuales se sembraron el 13 de junio de 2010 en condiciones de temporal (secano) en la localidad; las labores culturales fueron las tradicionales en la comunidad, se aplicaron 150 gramos de lombri-composta por mata para la fertilización.

Se establecieron tres experimentos, uno por cada color de grano (blanco, azul y amarillo), en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de dos surcos de 5m de longitud, 80cm entre ellos y 50 cm de distancia entre matas; se establecieron dos plantas por mata y 44 plantas por unidad experimental.

En 20 plantas de cada unidad experimental se registró: el número de días de la siembra a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) y durante el llenado de grano

¹ Poblaciones proporcionadas por el Dr. José Luis Chávez Servia del CIIDIR-Oaxaca, como parte de su proyecto de estudio de diversidad genética del maíz en la Región Mixteca

se midió altura total de planta (ALPT), de mazorca (ALMZ), longitud de panoja (LPN) en cm, el número de ramas por panoja (RMPN) y hojas por planta (HJPT). Después de la cosecha en cinco mazorcas de cada unidad experimental, se midió en cm, longitud (LMZ) y los diámetros de mazorca (DMZ1, DMZ2, DMZ3) en los tercios respectivos a partir de la base, y el diámetro de olote (DOL); se cuantificó el número de hileras (NHL) por mazorca, número de granos por hilera (GRHL) y se obtuvo el peso en gramos de mazorca (PMZ) y grano (PGR); posteriormente se determinó longitud, ancho y grosor de grano en cm (LGR, AGR y GGR, respectivamente) y el volumen (VL100G) y peso (P100G) de 100 granos. Además se calcularon los índices: RLMLP, DMLM, RDM1DM2, RDM3DM2, RDM3DM1, RAGLG, RGGLG y RGGAG, así como el volumen de grano en cm^3 multiplicando el largo x ancho x grosor.

Para valorar la diversidad genética se consideraron caracteres de mazorca, grano, planta y fenológicos (Sánchez *et al.*, 1993; Herrera *et al.*, 2000) y la correspondencia racial de Wellhausen *et al.* (1951).

Con el arreglo de promedios por población se realizó un análisis de componentes principales, para conocer la estructura de la correlación de las variables y se obtuvo la gráfica de Gabriel (Sánchez *et al.*, 1993), y para discernir la diversidad del maíz se graficaron las poblaciones sobre los planos determinados por los componentes principales uno y dos, y uno y tres, además se multiplicaron las correlaciones de los vectores de la grafica de Gabriel por 10, para sobreponerlas en la dispersión de las poblaciones. Se practicó el análisis de conglomerados con los valores estandarizados a media cero y varianza uno, con las distancias euclidianas y el agrupamiento por promedio de grupos. Se utilizó el software SAS Versión 9.0 para el análisis de datos.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Santa María Tataltepec, comunidad y municipio del estado de Oaxaca, ubicada en la región de la Mixteca, practica la agricultura como principal actividad económica; es una comunidad rural pequeña con 256 habitantes y 64 familias (hogares), de las cuales 2 realizan actividades diferentes al cultivo de maíz (INEGI, 2010).

De las 65 poblaciones de maíz nativo colectadas en Tataltepec, 67.7% fueron de grano blanco, 16.9% azul y 15.4% amarillo. Los productores que proporcionaron muestras de maíz, han clasificados sus poblaciones por el color de grano, y en cada color han diferenciado subtipos de maíz por la forma de mazorca, grano y olote; comúnmente identifican maíz de olote delgado y grano largo que correspondería a variantes de la raza Pepitilla (Wellhausen *et al.*, 1951), maíz preferido por su fácil desgrane y olote delgado; también clasifican maíz de grano, mazorca y olote gruesos, coincidente con la raza Bolita (Wellhausen *et al.*, 1951) preferido por su resistencia al gorgojo y su precocidad; la coexistencia de ambas razas de maíz en el área ha llevado a formar poblaciones de tipos inter-raciales, es decir complejos Bolita-Pepitilla.

Los productores de Santa María Tataltepec, tienen poblaciones de maíz de grano de colores y formas diferentes; en promedio cada familia cultivó 1.4 tipos de maíz en el 2009; no obstante, estos patrones varietales son dinámicos, dado que pueden sembrar grano de uno, dos o tres colores en una estación, dependiendo de sus intereses, del pronóstico local del temporal y la disponibilidad de terreno y semilla; estos elementos determinan la diversidad de maíces de un productor (Louette *et al.* 1997; Soleri y Cleveland, 2001; Perales *et al.*, 2003; Camacho y Chávez, 2004; Gil *et al.*, 2004; Herrera *et al.*, 2004; Badstue *et al.*, 2007; Ángeles *et al.*, 2010).

De acuerdo a las 65 poblaciones colectadas en 44 hogares en 2010, el 67.4% de los productores sembraron maíz de grano blanco únicamente; 13% grano de tres colores (blanco, azul y amarillo, en orden de predominancia); 8.7% grano blanco y amarillo; 6.5% blanco y azul y el 4.3% restante grano azul solamente; estos últimos también sembraron maíz blanco, pero no fue posible obtener muestra.

2.3.1 Diversidad genética de las poblaciones de maíz nativo

Las plantas de las 65 poblaciones nativas, mostraron características distintivas ligadas a un tipo de maíz; por ejemplo el maíz de grano amarillo presentó en su mayoría, tallo, espigas y olote de colores púrpuras y fueron más precoces que los maíces blancos y azules; información que se confirmó con la los productores y el análisis estadísticos de datos (Cuadro 2.1, Figuras 2.1 y 2.2). Por otra parte los maíces de grano blanco tuvieron diferente grados de precocidad, esto les ha permitido adaptarse a más de una condición agro-ecológica en la comunidad, posiblemente porque presentan algún grado de plasticidad (López y Muñoz, 1984); los maíces de grano azul presentaron precocidad intermedia y frecuencia alta de espigas de color rojo con anteras amarillas; estas características son indicadores morfológicos que los productores utilizan para identificar sus maíz desde la floración.

El análisis de componentes principales, sugirió que la diversidad de maíz en Santa María Tataltepec está integrada por variantes de las razas Bolita y Pepitilla, de acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951) y con mayor frecuencia formas intermedias de ellas. Los resultados indican que puede haber divergencia genética de la raza Bolita y cierto grado de similitud con Pepitilla, fenómenos parecidos se han descrito en el valle de Puebla (Hortelano, *et al.*, 2008). Los cinco primeros componentes principales explicaron el 83.34% de la variación global de las poblaciones, con 29.4, 24.7 y 15.3% para el primero, segundo y tercer componente, respectivamente (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Valores y vectores propios de los componentes principales (CP) que describen la variación morfológica y agronómica de 69 poblaciones de maíz nativo de Santa María Tataltepec, Oaxaca. 2010 P-V.

Características		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Valor propio		9.1255	7.6766	4.7475	2.7597	1.6405
Varianza explicada (%)		0.2944	0.2476	0.1531	0.0890	0.0529
Varianza acumulada (%)		0.2944	0.5420	0.6951	0.7842	0.8371
Vectores propios de variables morfológicas						
Altura total de planta (cm)	ALPT	0.2301	-0.1383	0.1810	0.0222	-0.2250
Altura a la mazorca (cm)	ALMZ	0.2364	-0.1457	0.1670	0.0580	-0.2068
Longitud de panoja (cm)	LPN	0.1566	-0.0849	-0.0058	0.1004	0.3017
No. de ramas de la panoja	RMPN	0.1165	-0.1006	0.2800	0.0281	-0.0134
Número de hojas por planta	HJPT	0.1009	-0.0188	0.2890	-0.0904	-0.4474
Días a floración masculina	DFM	-0.1844	-0.0329	0.3314	-0.0353	0.0421
Días a floración femenina	DFF	-0.1922	0.0192	0.3078	-0.0448	-0.1003
Longitud de mazorca (cm)	LMZ	0.2383	-0.0162	0.1986	-0.1821	0.2923
Diámetro primer tercio de mazorca (cm)	DMZ1	0.2822	0.1265	0.0758	0.1410	-0.0891
Diámetro del segundo tercio de mazorca (cm)	DMZ2	0.2506	0.1866	-0.0012	0.1879	-0.1239
Diámetro del último tercio de mazorca (cm)	DMZ3	0.2055	0.2238	-0.0135	0.2691	-0.0066
No. de hileras por mazorca	NHL	0.0451	-0.1000	0.1221	0.5090	0.0554
No. de granos por hilera	GRHL	0.2338	-0.1822	-0.0967	-0.1583	0.1762
Longitud de 10 granos (cm)	LGR	0.2128	-0.1179	-0.2654	0.0223	-0.1091
Ancho de 10 granos (cm)	AGR	0.1018	0.2866	-0.0951	-0.2554	-0.0283
Grosor de 10 granos (cm)	GGR	-0.0363	0.2933	0.2272	-0.0138	0.0307
Diámetro de olote (cm)	DOL	0.1228	0.2778	0.1680	0.1281	-0.0154
Peso de mazorca (g)	PMZ	0.3134	0.0186	0.0318	0.0362	0.1503
Peso de grano (g)	PGR	0.3102	-0.0219	-0.0088	0.0331	0.0973

Características		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Vectores propios de variables morfológicas						
Peso de olote (g)	POL	0.1704	0.1498	0.1571	0.0291	0.2605
Volumen de grano cm ³ (LGR x AGR x GGR)	VLGR	0.1322	0.3000	-0.0369	-0.1507	-0.0504
Peso de 100 granos (g)	P100G	0.1548	0.2439	-0.0832	-0.1500	-0.0294
Volumen de 100 granos (ml)	VL100G	0.1546	0.2434	-0.0857	-0.1627	-0.0562
ALMZ/ALPL	RLMLP	0.1860	-0.1415	0.0186	0.1430	-0.0143
DMZ/LMZ	RDMLM	-0.0612	0.1691	-0.1929	0.2896	-0.4124
DMZ1/DMZ3	RDM1DM2	0.0955	-0.1939	0.2353	-0.1528	0.1076
DMZ3/DM2	RDM3DM2	-0.1072	0.1408	-0.0380	0.2633	0.3567
DMZ3/DMZ1	RDM3DM1	-0.1265	0.2077	-0.1649	0.2583	0.1568
ACR/LGR	RAGLG	-0.0579	0.3021	0.0868	-0.2264	0.0395
GGR/LGR	RGGLG	-0.1291	0.2470	0.2613	-0.0267	0.0594
GGR/AGR	RGGAG	-0.1339	0.0592	0.3242	0.2366	0.0358

Las variables que determinaron en mayor grado al componente principal uno fueron peso de mazorca y de grano; diámetro del primero y segundo tercio, longitud de mazorca, altura a la mazorca; número de granos por hilera; altura total de planta y diámetro del último tercio de mazorca (Figura 2.1).

El segundo componente fue determinado en mayor proporción por características de grano (grosor, ancho, volumen y peso), diámetro de olote y los índices ancho y grosor de grano /longitud del mismo, lo cual se asemeja a lo reportado por Sánchez *et al.* (2000).

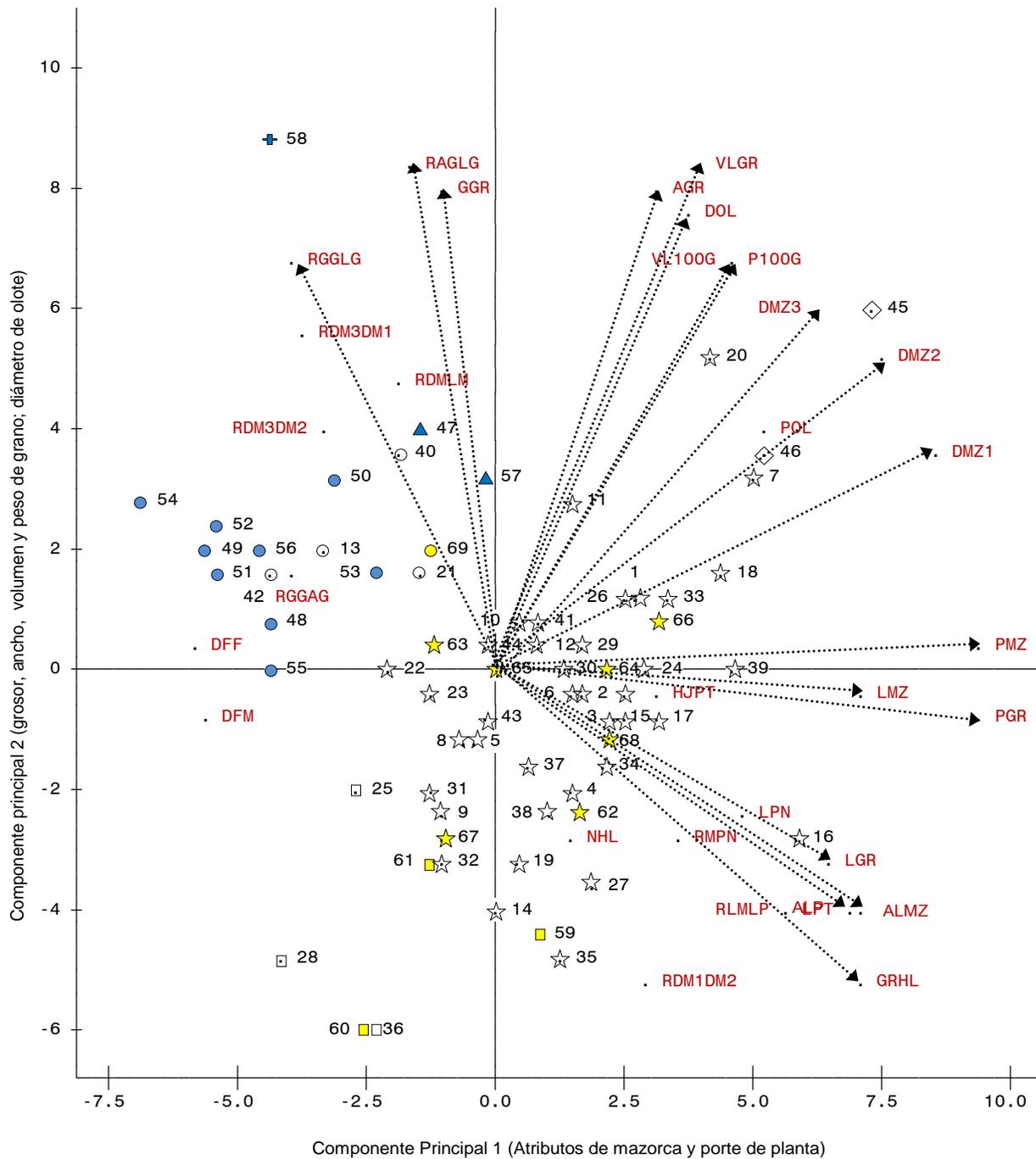


Figura 2.1 Dispersión de 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec y variables morfológicas para valorar su diversidad, en el plano de los componentes principales 1 y 2. Grupo I grano blanco (☆), amarillo (★); grupo II grano azul (●), blanco (○); grupo III (▲); grupo IV grano blanco (□), grano amarillo (■); grupo V (◇); grupo VI (+). 2010 P-V.

El tercer componente estuvo determinado por los días a floración masculina y femenina (niveles de precocidad), por el índice grosor/ ancho de grano, el número de hojas por planta y número de ramas por panoja (espiga). Similarmente en el maíz nativo del municipio de Molcaxac, Puebla., las fechas de floración integraron el tercer componente principal (Ángeles *et al.*, 2010).

Los componentes principales cuatro y cinco explicaron conjuntamente 14.23 % de la variabilidad total y fueron determinados por número de hileras por mazorca y número de hojas por planta, respectivamente.

De forma general, puede decirse que el componente principal uno estuvo determinado por tamaño y forma de mazorca y el porte de planta; el segundo por caracteres de grano y el tercero por la floración masculina y femenina (fenología). Estos resultados son similares a la caracterización de 59 razas de maíces mexicanos (Sánchez *et al.*, 2000) y de la raza Chalqueño (Herrera *et al.*, 2004).

En la dispersión de las poblaciones en el plano determinado por los componentes uno y dos (Figura 2.1) y uno y tres (Figura 2.2), se señalan, de acuerdo al agrupamiento del análisis de conglomerados (Figura 2.3), los seis grupos de poblaciones de maíces nativos. Con esta dispersión se observó un continuo de la diversidad genética que se desplaza de las poblaciones 45, 20 y 46 típicas de raza Bolita hacia el extremo de las poblaciones 26, 60 y 36 con características más típicas de la raza Pepitilla (Figura 2.1); la mayor frecuencia de las poblaciones se ubica en las inmediaciones de estos extremos y también se puede notar una asociación por colores de grano. Con la figura 2.2 pueden clasificarse las poblaciones por niveles de precocidad asociadas al color del grano; las poblaciones más precoces fueron de grano amarillo, las de grano azul se comportaron como intermedias y algunas precoces, mientras que las de grano se ubicaron en los tres niveles de precocidad pero con mayor frecuencia de poblaciones tardías en su ciclo productivo.

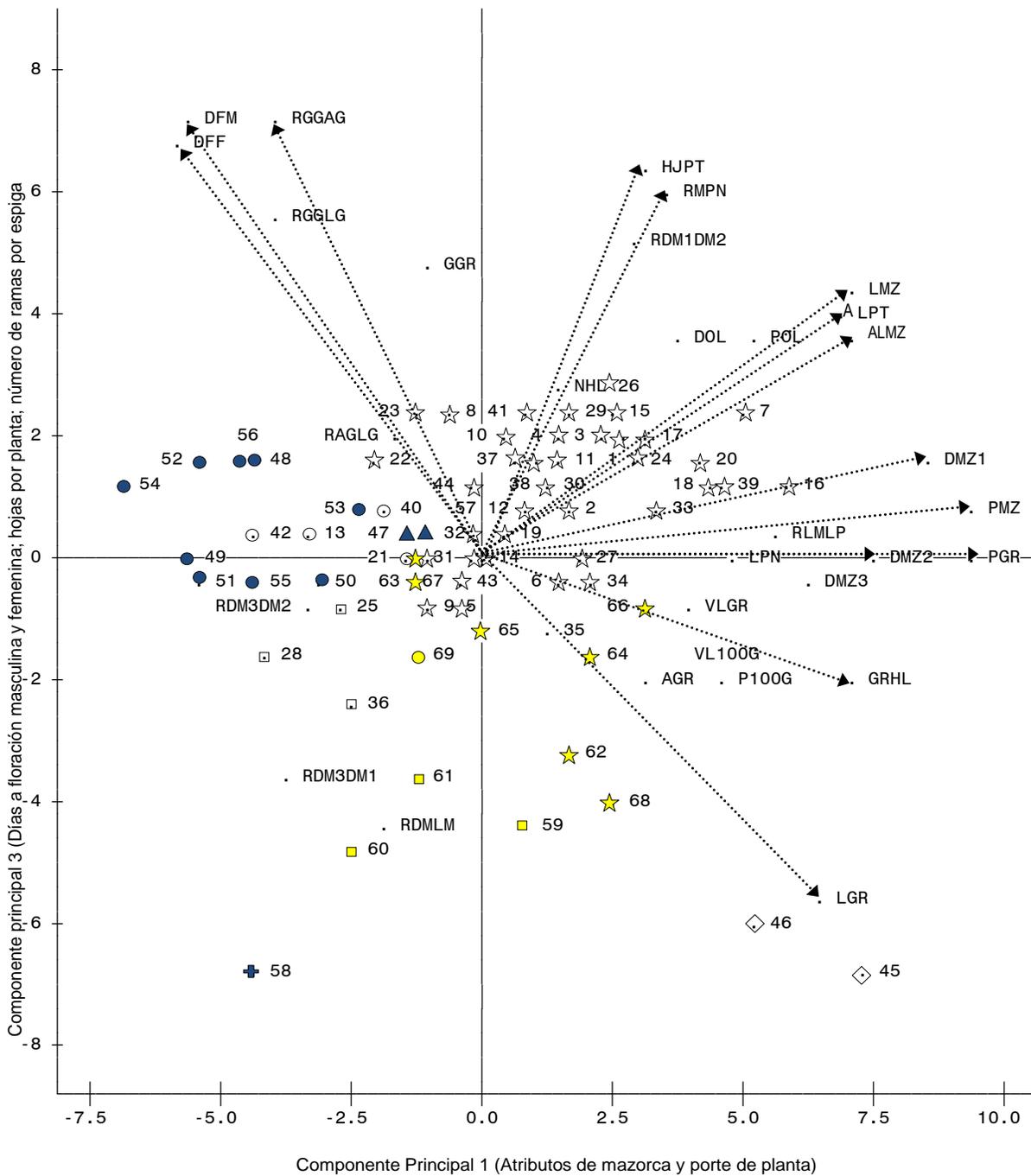


Figura 2.2 Dispersión de 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec y variables morfológicas para valorar su diversidad, en el plano de los componentes principales 1 y 3. Grupo I grano blanco (☆), amarillo (★); grupo II grano azul (●), blanco (○); grupo III (▲); grupo IV grano blanco (□), grano amarillo (■); grupo V (◆); grupo VI (+). 2010P-V.

Los grupos integrados por un mayor número de poblaciones fueron I, II y IV (Figura 2.3); el grupo I con 44 poblaciones (37 de grano blanco y 7 de amarillo) y se diferencian tres subgrupos: el *I-a* poblaciones más típicas de raza Bolita, el *I-b* poblaciones con características intermedias de Bolita y Pepitilla y el *I-c* agrupó 7 poblaciones todas de grano amarillo, que difieren de los subgrupos *I-a* y *I-b* por su precocidad principalmente.

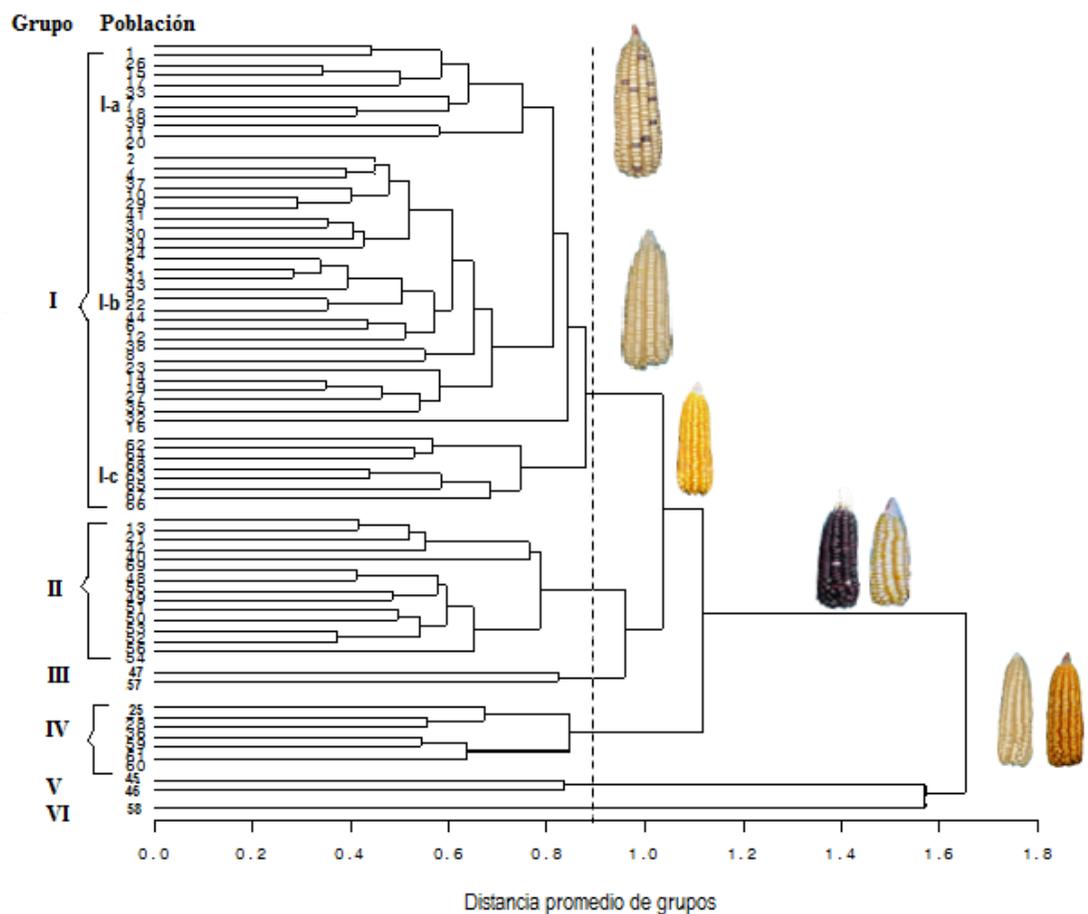


Figura 2.3 Dendrograma del análisis de conglomerados sobre 69 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec, Oax. 2010 P-V.

El grupo II fue integrado por 14 poblaciones (9, 4 y 1 de grano azul, blanco y amarillo, respectivamente), las formas de mazorca y grano fueron muy típicas de raza Bolita; el grupo IV con seis poblaciones (3 blancas y 3 amarillas) variantes de la raza Pepitilla, de olote y grano delgado.

Los grupos III y V se integraron por dos poblaciones; el grupo III con las poblaciones 47 y 57 ambas de color azul de Tataltepec y formas de grano parecidas a la raza Bolita y olote muy grueso; el grupo V se integró con las poblaciones 45 y 46, de comunidades del Distrito de Huajuapán en la misma región Mixteca; el grupo VI integró sólo la población 58, también de Huajuapán, la cual difiere por su tamaño pequeño con el resto de los grupos, tanto de mazorca como de planta y grano muy ancho.

Las poblaciones 45, 20, 46 y 7 presentaron características típicas de la raza Bolita, de acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), mientras que la 36, 60 y 28 mostraron influencia de la raza Pepitilla, y sobre ese eje se distribuyeron la mayoría de las poblaciones (Figura 2.1), por lo que se infiere que son formas intermedias de ambas razas. Con los componentes uno y tres (Figura 2.2) la dispersión poblacional en la dirección vertical fue determinada por precocidad, donde se puede observar que se separan las poblaciones del grupo I por color de grano y precocidad (maíces amarillos precoces (grupo I-c) y blancos tardíos).

Los grupos conformados en el dendrograma (Figura 2.3), se integraron por caracteres de mazorca, separando a las poblaciones tipo Bolita (grupos I, II y III) de los que presentan influencia de Pepitilla (grupo IV); el color aunque no se consideró en el análisis se identificó a nivel de grupo. Las media por grupo poblacional (Cuadro 2.2) confirmaron los resultados anteriores; el grupo I tuvo poblaciones con plantas altas, ciclo tardío (grano blanco y amarillo), mazorcas cilíndricas, con grano más ancho que delgado y olote grueso; el grupo II de grano azul y blanco con plantas porte bajo y tardías con características de mazorca y grano típica raza Bolita. Y El grupo IV, tuvo poblaciones características con influencia de raza Pepitilla, grano y olote delgado, plantas de porte medio y ciclos precoces. Los grupos III, V y VI, se describieron anteriormente.

Cuadro 2.2 Características morfológicas promedio de los grupos de diversidad genética de las poblaciones de maíz nativo de Santa María Tataltepec, Oax. 2010 P-V.

Variable	Grupos de diversidad genética					
	I	II	III	IV	V	VI
Altura total de planta (cm)	223.18	188.65	185.78	204.37	201.64	162.65
Altura a la mazorca (cm)	135.64	110.79	106.43	120.97	120.49	93.33
Longitud de la panoja (cm)	62.24	59.77	61.11	62.53	60.01	57.06
No. de ramas de la panoja	14.74	13.94	13.82	13.37	13.26	11.04
No. de hojas por planta	13.99	13.55	13.20	13.26	13.71	12.54
Días a floración masculina	82.41	84.11	84.25	81.67	73.38	79.00
Días a floración femenina	87.53	90.32	89.13	86.25	78.75	85.75
Longitud de mazorca (cm)	12.87	12.01	13.28	11.90	12.72	10.18
Diámetro primer tercio de mazorca (cm)	4.38	4.15	4.23	4.05	4.68	4.21
Diámetro segundo tercio de mazorca (cm)	4.09	3.94	3.99	3.81	4.53	4.15
Diámetro último tercio de mazorca (cm)	3.53	3.45	3.49	3.26	3.87	3.65
No. de hileras por mazorca	11.41	11.04	10.35	11.07	10.20	10.10
No. de granos por hilera	26.63	23.18	25.70	27.48	29.58	19.90
Longitud de 10 granos (cm)	11.42	10.83	11.05	11.69	12.36	11.34
Ancho de 10 granos (cm)	8.81	8.89	9.49	8.32	10.30	10.32
Grosor de 10 granos (cm)	3.61	3.79	3.83	3.25	3.53	3.91
Diámetro de olote (cm)	2.31	2.31	2.35	1.90	2.55	2.40
Peso de mazorca (g)	100.09	81.00	95.10	84.96	115.43	71.60
Peso de grano (g)	86.30	69.44	73.65	75.86	101.24	62.62
Peso de olote (g)	13.78	11.56	21.45	9.10	14.19	8.98
Peso de 100 granos (g)	32.02	31.26	36.48	28.19	39.81	41.19
Volumen de 100 granos (ml)	43.89	42.21	51.73	37.71	56.99	58.73

La separación de las poblaciones 45, 46 y 58 en el dendrograma (Figura 2.3) indica que las formas de la diversidad genética de maíz que prevalecen en Tataltepec son diferentes a las formas de otras áreas geográficas, en este caso de las variantes del Distrito de Huajuapán; situaciones semejantes se han observado en variantes de la raza Chalqueño en el Sureste del Estado de México (Herrera *et al.*, 2004), o variantes de la raza Zapalote Chico en el Istmo de Tehuantepec (López *et al.*, 2005) y en el municipio de Molcaxac, Puebla. (Ángeles 2010).

La especificidad de las variantes en el complejo racial del maíz de una comunidad puede obedecer a los criterios aplicados al hacer la elección de las poblaciones y la selección de semilla que se basan en preferencias y condiciones agro-ecológicas, como se ha señalado que ocurre en los Valles centrales de Oaxaca (Soleri y Cleveland, 2001; Badstue *et al.*, 2007).

El hecho de que los productores elijan poblaciones de maíz, y seleccionen semilla a partir de su cosecha, imprime una dinámica de flujo genético, recombinación genética y selección a través de generaciones, que puede explicar la conformación de cada población de maíz por cada hogar; las diferencias entre poblaciones de maíz pueden ser tan marcadas como determinar distintas razas o tan cercanas que constituyan variantes dentro de raza o formas intermedias entre razas. En Santa María Tataltepec, las poblaciones actuales indican cierta similitud entre ellas pero variantes a las formas típicas de las Razas Bolita y Pepitilla.

Pudiera plantearse que el desarrollo de la agricultura maicera en Santa María Tataltepec debe tomar como base a las poblaciones locales y su diversidad, conservar la serie de variantes que obedecen a las preferencias por color de grano y a la relación con las condiciones agroecológicas distintas en el área, que varía de 1450 a 1800 m en altitud, con variantes en pendiente y suelo. Dentro de cada variante de diversidad de maíz se pueden detectar a las de mayor productividad y

mejores atributos agronómicos para proponer una primera opción que implique la conservación de la diversidad y mejorar la productividad del maíz en la comunidad.

2.4 CONCLUSIONES

El maíz de grano blanco fue el de mayor predominancia: dos tercios de las poblaciones colectadas; mientras que las poblaciones de grano amarillo y azul conformaron el otro tercio, con frecuencias semejantes.

La diversidad genética del maíz nativo de Santa María Tataltepec está compuesta por poblaciones que corresponden a variantes de las razas Bolita y Pepitilla, principalmente.

La caracterización morfológica de 65 poblaciones de maíz nativas de Santa María Tataltepec las dividió en cuatro grupos de diversidad genética (I, II, III y IV), con similitudes en cuanto a formas de grano y mazorca, color de grano y niveles de precocidad, separándolas totalmente de los grupos V y VI, que se integraron con las poblaciones provenientes de otras comunidades de la Mixteca

La cuantificación de los días de la siembra a la floración permitió diferenciar poblaciones precoces (grano amarillo y algunas azules), intermedias (azules y algunas blancas) y tardías (blancas en su mayoría), lo que tienen relación con las condiciones agroecológicas (lomeríos, solares ó planicies) donde se siembran.

Valorada la diversidad genética del maíz en una comunidad, se pueden detectar poblaciones nativas con potenciales agronómicos y proponerlas como estrategias para mejorar la producción de maíz y fomentar el desarrollo regional y el bienestar de las comunidades campesinas, así mismo promover la conservación de esas poblaciones mediante bancos de germoplasma municipales y conservación *in situ*, además de promover el intercambio de semillas entre comunidades.

2.5 BIBLIOGRAFÍA

- Anderson E. and H. C. Cutler. 1942. Maize in México a Preliminary Survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 33:147-247.
- Ángeles G. E., E. Ortiz T., P. Antonio L. y G. López R. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.
- Badstue L. B., M. R. Bellon, J. Berthaud, A. Ramirez, D. Flores, and X. Juárez. 2007. The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the Central Valleys of Oaxaca, México. *World Development* 35: 1579-1593.
- Camacho V. T. C. y J. L. Chávez S. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. *In: J. L. Chávez S., J. Tuxill, D. I. Jarvis (eds.) Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales.* Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:47-57.
- CONABIO. 1998. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México (disponible en www.conabio.gob.mx, noviembre 2011).
- Gil M. A., P. Antonio L., A. Muñoz O., 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 S, J Tuxill y D I Jarvis (eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:18-25
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. A. Ortega P. y M. M. Goodman. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:335-354.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. A. Ortega P. and M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hortelano S. R., R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C., y L. Córdova T. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (disponible en www.inegi.org.mx, noviembre 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario de Estadística por Entidad Federativa (disponible en www.inegi.gob.mx, noviembre 2011).
- 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. Universidad Nacional

- Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- López R., G., A. Santacruz V., A. Muñoz O., F. Castillo G., L. Córdova T. y H. Vaquera H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284-290.
- Louette D., A. Charrier, and J. Berthaud. 1997. *In-situ* conservation of maize in México: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20-38.
- López H. A. de J., A. Muñoz O. 1984. Relación de la coloración del grano con la precocidad y la producción en maíces de Valles Altos. *Revista Chapingo* 9:31-37.
- Muñoz O., A. 2005. Descifrando la diversidad del maíz de los nichos ecológicos de México. *In: A. Muñoz O. (Director). 2005. Centli Maíz. Ed. América. 2da ed. México, D. F. pp:133-143.*
- Perales, H. R., S. B. Brush, and C. O. Qualset. 2003. Maize landraces of central Mexico: An altitudinal transect. *Economic Botany* 57:7–20.
- Perales, H. R., B. F. Benz, and S. B. Brush. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, México. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:949-954.
- Pressoir G. and J. Berthaud. 2004. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in México. *Heredity* 92: 88-94.
- Ruiz C., J. A., J. L. Ramírez D., F. J. Flores M., J. J. Sánchez G. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 169-182.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and J. O. Rawlings. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany* 47:44-59.
- 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.
- Soleri D. and D. A. Cleveland. 2001. Farmers' genetic perceptions regarding their crop populations: An example with maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* 55: 106-128.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernandez X. and P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.

CAPÍTULO III. POTENCIAL AGRONÓMICO DEL MAÍZ NATIVO EN UNA COMUNIDAD MIXTECA DE OAXACA: SANTA MARÍA TATALTEPEC

RESUMEN

Como un medio para incrementar la producción de maíz en Santa María Tataltepec, se estudió la variación de las poblaciones locales en sus atributos agronómicos y se identificaron las más sobresalientes en productividad. Se caracterizaron y evaluaron 69 poblaciones nativas de maíz, en verano del 2010, en experimentos separando poblaciones por color de grano: blancos, azules y amarillos, en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se registraron precocidad (días a floración), porte de planta, rendimiento de grano y componentes de rendimiento (atributos de mazorca y grano). Las poblaciones se arreglaron por el método de conglomerados en 6 grupos de diversidad (I, II, III, IV, V y VI), principalmente variantes de la raza Bolita y Bolita-Pepitilla. Se realizó análisis de varianza mediante el diseño de bloques completos al azar. Las poblaciones de maíces blancos presentaron mayor variación entre y dentro de grupos (4 de los 6 grupos de diversidad), mientras que las de grano azul fueron las más uniformes (3 grupos); las poblaciones de grano amarillo (3 grupos) tuvieron un comportamiento uniforme en fenología y porte de planta entre y dentro de grupos, y difirieron en algunos componentes de rendimiento. Las poblaciones de grano blanco del grupo I de diversidad, manifestaron el mayor potencial de rendimiento; se aplicó el 20% de selección en ese grupo y se identificaron siete poblaciones élite (39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31) con rendimientos de 3.0 a 3.5 t.ha⁻¹, cuyo promedio superó en 23% al rendimiento medio del grupo I en ese color de grano. En los otros grupos de diversidad y color de grano, también se identifican poblaciones con potenciales agronómicos buenos. Se proponen esas poblaciones sobresalientes como primer paso para construir estrategias de desarrollo del cultivo de maíz en la comunidad a fin de incrementar la producción y fomentar el bienestar de las comunidades.

Palabras clave: *Zea mays*, componentes de rendimiento, poblaciones nativas, precocidad.

AGRONOMIC POTENTIAL OF NATIVE MAIZE POPULATIONS IN AN OAXACAN MIXTEC VILLAGE: SANTA MARÍA TATALTEPEC

SUMMARY

Aim of this research was the study of variation for agronomic traits and detection of elite local landraces for productivity and agronomic attributes, as a way of increasing maize's production and promotion of farmer's welfare in Santa Maria Tataltepec, Oaxaca. 69 maize local populations were characterized and evaluated in the rainy season of 2010, separating experiments by grain color: white, blue and yellow, in a randomized complete block design and four reps each. Life cycle (flowering time), plant size, grain yield and yield components (ear and kernel attributes) were recorded. The populations were arranged by the cluster analysis in six diversity groups (I, II, III, IV, V and VI), mainly race Bolita and Bolita-Pepitilla. Analysis of variance was applied following the randomized complete block design for each experiment. White maize populations showed greater variation (four of the six diversity groups) among and within groups, while the blue maize populations were more uniform (three groups); the yellow maize populations (three groups) were uniform in plant size and phenology, between and within groups, but with some differences for yield components. Group I of the white maize populations showed greater yield potential and the better ones were identified; the top 20% of this group I was integrated by seven elite populations (39, 18, 27, 16, 26, 1 and 31) with grain yield between 3.0 and 3.5 t.ha⁻¹, whose mean overyielded by 23% the global mean of such group. In the other diversity groups and by grain color, outstanding populations were also identified. These better populations are proposed as first step for the development of maize crop in the village, with potential for improving grain production and promote the welfare of the community.

Key words: *Zea mays*, yield components, landraces, production cycle.

3.1 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las plantas cultivadas más importantes en el mundo y la más importante en México. La producción de maíz en el mundo fue de 818 millones de toneladas de grano en el 2009; México, con 22 millones de toneladas aproximadamente (FAO, 2009; SIAP, 2011), figuró como cuarto país productor, superado por Estados Unidos, China y Brasil (FAO, 2009).

En México la producción de maíz es afectada por causas diversas; entre ellas, fenómenos meteorológicos como heladas, golpes de calor y sequía o inundaciones son los que mayor efecto han tenido en los últimos años a consecuencia del cambio climático (Ruiz *et al.*, 2000; Muñoz, 2005).

En el 2009, se presentó sequía intra-estival (canícula) intensa en gran parte del territorio donde prevalece la agricultura tradicional y redujo los rendimientos de cultivos anuales, con mayor impacto en el maíz; en el ciclo de maíz O-I 2010-2011, hubo afectaciones por heladas atípicas en regiones de agricultura tecnificada como el estado de Sinaloa, e igualmente afectó la producción nacional de maíz; la Secretaría de Agricultura en el 2011 reportó que, en general, la temporada de lluvias se atrasó en al menos un mes de lo común y en algunas regiones del altiplano ocurrieron heladas tempranas (primera semana de septiembre) que afectaron el desarrollo de la planta, por lo que se pronosticó baja de la producción de maíz (SIAP, 2011). Escenarios como este son cada vez más frecuentes y no se formaliza alguna política nacional, con el firme objetivo de mejorar la producción de maíz y garantizar el abasto nacional de forma sustentable; esta política debe integrar la participación de científicos, todos los niveles de gobierno y los productores de maíz, sobre todo aquellos que practican la agricultura tradicional y conforman el sector más vulnerable.

En el estado de Oaxaca, el maíz también es el principal alimento humano y por tanto la planta más cultivada (INEGI, 2007); en el verano del 2010 se sembraron 544 mil ha (93.7% de temporal y 6.3% de riego) con producción de 645 mil toneladas y un rendimiento promedio de 1.18 t.ha⁻¹. La semilla que se sembró en temporal fue de maíz nativo y en riego semilla nativa y mejorada (INEGI, 2007; SIAP, 2011). Esta información indica la predominancia de agricultura de temporal en el estado de Oaxaca y el uso prácticamente exclusivo de semillas nativas para el cultivo de maíz, que en conjunto con las innumerables condiciones agro-ecológicas conforman un complejo particular maíz-microclima.

Los rendimientos de maíz en el estado de Oaxaca son bajos al compararlos con estados como Sinaloa y Jalisco; sin embargo en Oaxaca los sistemas de cultivo de maíz son tradicionales y se basan principalmente en la “milpa” (agro-sistema tradicional con más de una especie anual en la misma parcela) en donde además del grano de maíz se obtienen otros productos que sustentan la alimentación de toda una familia, particularidad que le da plusvalía al cultivo.

Dada la problemática de la producción de maíz, es necesario construir estrategias que consideren la variación entre poblaciones nativas para productividad y otros atributos agronómicos, con la factibilidad de detectar a las poblaciones sobresalientes dentro de todo el patrimonio de maíces de los productores y en cada una de sus condiciones agroecológicas. Precocidad y componentes de rendimiento son características agronómicas importantes para seleccionar las mejores poblaciones *in situ* al emprender acciones para su conservación y desarrollo (López y Muñoz, 1984; Muñoz, 2005; Ángeles *et al.*, 2010).

Los antecedentes sobre el estudio agronómico de poblaciones de maíz nativo a nivel de comunidad son pocos, comparados con la extensa diversidad del maíz y de ambientes en México; se ha encontrado diversidad en el comportamiento agronómico

de maíces nativos en grados de precocidad y rendimiento como en el Sur-Este del estado de México (Herrera, 2004; González, 2007), en Puebla (Hortelano *et al.*, 2008; Ángeles *et al.*, 2010).

Ante el interés de incrementar la producción de maíz en Santa María Tataltepec se consideró conveniente valorar la diversidad genética y potencial agronómico de las poblaciones nativas de la comunidad. Una vez valorada la diversidad (Muñozcano *et al.*, 2011) se aborda el estudio del potencial agronómico en la perspectiva de que al haber variación entre las poblaciones de maíz como la reportada, detectar a las de mayor potencial productivo.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron 65 poblaciones de maíz en Santa María Tataltepec, Oaxaca, en el 2010; las muestras se obtuvieron en las “trojes” (almacenes) de 46 hogares (74.2% del total); se colectaron 44 poblaciones de grano blanco, 11 de azul y 10 de amarillo, representadas por 25 a 30 mazorcas cada una. Para evaluar su potencial agronómico se agregaron cuatro poblaciones testigo², codificadas como 45 y 46 (de grano blanco), 58 (azul) y 69 (amarillo) provenientes de San Andrés Dinicuiti (1620 m), Santo Domingo Yodohino (1,720), Santo Domingo Tonalá (1360 m) en el Distrito de Huajuapán de León, respectivamente, y la población 69 de San Juan Teita, Distrito de Tlaxiaco (1310 m). De esta forma se sembraron 69 poblaciones el 13 de junio de 2010 en condiciones de temporal en la localidad de Tataltepec; las labores culturales fueron las tradicionales en la comunidad, y se aplicaron 150 gramos de lombri-composta por mata para la fertilización.

Se estableció un experimento por cada color de grano (blanco, azul y amarillo), en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de

² Poblaciones proporcionadas por el Dr. José Luis Chávez Servia del CIIDIR-Oaxaca, como parte de su proyecto de estudio de diversidad genética del maíz en la Región Mixteca

dos surcos de 5.5m de longitud y 0.80m de ancho con un área de 8.8m² y 0.50m de distancia entre matas; se establecieron dos plantas por mata y 44 plantas por unidad experimental.

De forma simultánea a la valoración de la diversidad genética se estudió la variación de las poblaciones en su potencial agronómico durante el 2010, mediante las siguientes características: altura de planta (APT) y a la mazorca (AMZ) en cm; número de plantas con acame de raíz y tallo (PAR y PAT, respectivamente) y plantas jorras o sin mazorca (PJR); como indicador de precocidad se cuantificaron días a floración masculina (DFM); en cinco mazorcas por población se determinaron los componentes de rendimiento: longitud (LMZ) y diámetro de mazorca (DMZ) en cm y se cuantificaron las hileras por mazorca (NHL) y granos por hilera (GRH), se midieron longitud, ancho y grosor de 10 granos (LGR, AGR y GGR, respectivamente) en cm; se obtuvieron los pesos de mazorca (PMZ) y grano en gramos y se calculó la proporción grano/mazorca (RGM) en porcentaje. Se estimó el rendimiento de grano en t.ha⁻¹ con la siguiente ecuación.

$$\text{Rendimiento por hectárea} = (\text{No. U.E.})(\text{Rend. U.E.})\left(\frac{\text{PGR}}{\text{PMZ}}\right)/1000$$

Donde:

(No. U.E.) = Número de unidades experimentales por hectárea (1,136).

(Rend. U.E.)= Rendimiento de mazorca a la cosecha en kg de cada unidad experimental.

La información se analizó de acuerdo con el hecho de haber sembrado un experimento por cada color de grano y considerando a los grupos de poblaciones por su diversidad dentro de cada experimento (Muñozcano *et al.*, 2011), para realizar análisis de varianza por experimento de acuerdo al diseño de bloques completos al azar, y la descomposición de la variación de poblaciones en grupos de diversidad y

poblaciones dentro de grupos. Se aplicó la prueba de Tukey para la comparación entre grupos y entre poblaciones dentro de grupo.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la diversidad agro-ecológica de Santa María Tataltepec, se trató de establecer los experimentos para valorar agronómicamente las poblaciones de maíz nativo en una misma condición agro-ecológica dentro de la comunidad, por lo que se eligió una parcela homogénea en relieve y tipo de suelo y con disponibilidad de riego, a fin de garantizar la buena producción del cultivo y estudiar las variables con la mayor precisión posible.

La siembra se realizó con buena humedad del suelo el 13 de junio, ya establecido el temporal 2010; sin embargo, durante las etapas de hoja bandera y floraciones, que comúnmente coinciden con la canícula, se presentaron lluvias más frecuentes e intensas de lo usual, que afectaron de manera diferencial a sectores del área experimental; la pendiente, aunque mínima, favoreció la inundación de algunas parcelas, aunado a que la fertilidad del suelo tuvo variación, dado que los productores aplican materia orgánica (estiércol de ganado) como abono en algunas partes de la parcela y en ciclos distintos, lo que genera niveles diferentes de fertilidad, aun considerando que al establecer el diseño experimental de bloques completos al azar, se trató de ubicar a las parcelas de cada repetición en un área lo más compacta posible.

Condiciones como esta son frecuentes en la experimentación agrícola al trabajar en terrenos de las comunidades, pero se puede considerar admisible debido a que son las condiciones locales y se pudieran subsanar en experiencias siguientes en esa comunidad. Esta situación, en la valoración agronómica de las poblaciones,

determinó errores experimentales más altos de lo esperado, sobretodo en el rendimiento de grano.

No obstante, la información permitió valorar de manera razonable las diferencias entre grupos de poblaciones, que representan variantes de la diversidad genética del maíz, patrimonio de los agricultores y de la comunidad; y las diferencias de poblaciones dentro de cada grupo, se observan tendencias aunque en varios casos la prueba de comparación de medias no fue significativa dada la heterogeneidad mencionada.

3.3.1 Potencial agronómico de las poblaciones

El análisis de varianza en cada experimento por color de grano indicó: diferencias significativas entre los grupos de diversidad para todas las variables de los maíces de grano blanco (Cuadro 3.1), excepto en número de plantas con acame de raíz; mientras que a nivel de poblaciones dentro de grupos, las diferencias se presentaron en el número de plantas con acame de raíz, diámetro de mazorca, y las diferencias mayores fueron en ancho y grosor de grano y la proporción grano/mazorca con $P \geq 0.01$, esto indica que las poblaciones de maíz de grano blanco son diferentes en cuanto a forma de grano y grosor de mazorca y está relacionado con la proporción de grano/mazorca; además, estas poblaciones presentaron diferentes niveles de resistencia al acame de raíz.

Cuadro 3.1. Significancia estadística para características agronómicas de poblaciones nativas de maíz de acuerdo al análisis de varianza por color de grano. Sta. María Tataltepec, Oax. 2010-PV.

Característica	blancos		azules		Amarillos	
	Grupo	Pob. (grupo)	Grupo	Pob. (grupo)	Grupo	Pob. (grupo)
Altura de planta (cm)	*	ns	*	ns	ns	ns
Altura a mazorca (cm)	*	ns	ns	ns	ns	ns
Plantas acame de raíz	ns	*	ns	ns	ns	ns
Plantas acame de tallo	*	*	ns	ns	ns	ns
Plantas jorras (sin mazorca)	*	ns	ns	ns	ns	ns
Días a floración masculina	**	ns	**	ns	ns	*
Longitud de mazorca (cm)	**	ns	*	ns	ns	ns
Diámetro mazorca (cm)	**	*	*	ns	**	*
Hileras por mazorca	*	ns	ns	ns	*	ns
No. de granos por hilera	**	ns	*	ns	*	*
Longitud 10 granos (cm)	**	ns	ns	ns	*	ns
Ancho 10 granos (cm)	**	**	**	ns	*	ns
Grosor 10 granos (cm)	**	**	ns	ns	**	ns
Peso de mazorca (g)	*	ns	*	ns	*	*
Proporción grano / mazorca (%)	**	**	ns	ns	**	*
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	*	ns	ns	ns	ns	ns

*, **: significancia con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente; ns: no significativo

1 Los grupos se presentan y describen en el Capítulo II, en el dendrograma correspondiente

Los grupos de poblaciones de maíces azules difieren fuertemente ($P \geq 0.01$) en precocidad y ancho de grano, principalmente, y en otras características ($P \geq 0.05$) como altura de planta, longitud, diámetro y peso de mazorca (Cuadro 3.1). Las poblaciones de grano azul dentro de cada grupo no mostraron diferencias en cuanto a comportamiento agronómico.

Los grupos de maíces de grano amarillo tuvieron diferencias altamente significativas ($P \geq 0.01$) en el diámetro de mazorca, grosor de grano y la proporción de

grano/mazorca, además de diferencias ($P \geq 0.05$) en el número de hileras, granos por hilera, longitud y ancho de grano y el peso de mazorca; esto indica que son grupos con formas de mazorca y grano diferentes. A nivel de poblaciones dentro de grupos las diferencias estuvieron en floración, diámetro y peso de mazorca y la proporción de grano/mazorca.

3.3.2 Comparación de medias por grupos de diversidad

Las diferencias estadísticas a nivel de grupos de diversidad y poblaciones dentro de grupos, sugirieron realizar la prueba de comparación de medias Tukey. Las plantas con los portes más altas estuvieron en el grupo I (Cuadro 3.2), mientras que las poblaciones más precoces, con mazorcas y granos más grandes estuvieron en el grupo V; las poblaciones 45 y 46 integraron el grupo V y son típicas de la raza Bolita, originarias del distrito de Huajuapán y que fueron sobresalientes en experimentos previos, por esta razón fueron poblaciones con rendimiento bueno (Chávez-Servia, 2010³). comunicación personal); en contraste las mazorcas y granos más chicos las presentó el grupo II y menor rendimiento; las poblaciones del grupo II en su mayoría fueron de grano azul y las más afectadas por inundación, lo que puede explicar la baja productividad. Los grupos II y IV, presentaron mayor número de plantas con acame de tallo y raíz, respectivamente, comparados con el grupo I. El grupo IV tuvo las poblaciones con los menores ancho y grosor de grano, diámetros y peso de mazorca más bajos, sin embargo se tuvo la mayor proporción grano mazorca, esto se debe a que fueron poblaciones con olotes delgado y granos más largos que anchos, características distintivas de la raza Pepitilla (Cuadro 3.2).

En las poblaciones de grano blanco, los grupos más contrastantes fueron el V y IV, que corresponden a formas más típicas de las razas Bolita y Bolita-Pepitilla; los grupos más parecidos fueron el I con V y el II con IV, esto indica que los grupos I y II

³ Comunicación personal.

tuvieron formas intermedias o variantes de la raza Bolita y Pepitilla, respectivamente (Cuadro 3.2).

Los grupos de poblaciones de grano azul (II, III y VI) presentaron diferencias fuertes en días a floración y ancho de grano, debidas a la población 58 que integró el grupo VI; esta población fue muy precoz y tuvo los granos más anchos; mientras que en altura de planta, longitud de mazorca, número de granos por hilera y el peso de mazorca registró los valores más bajos diferenciándola de los grupos II y III. Debe considerarse que las poblaciones de grano azul fueron afectadas por inundación lo que pudo influir en la expresión de sus potenciales en esas condiciones.

Cuadro 3.2. Características agronómicas en promedio de los grupos¹ de diversidad genética de maíces nativos por cada color de grano en Santa María Tataltepec, 2010-PV.

Caracter	Blancos					Azul (negros)				Amarillos			
	I (37) ²	II (4)	IV (3)	V (2)	DMS	II (9)	III (2)	VI (1)	DMS	I (7)	II (1)	IV (3)	DMS
ALP (cm)	227.3	205.8	207.9	201.6	26.5	180.4	185.8	162.6	21.3	201.5	194.0	200.9	18.2
ALM (cm)	138.1	122.1	123.3	120.5	18.3	104.8	106.4	93.3	16.2	122.9	119.9	118.6	10.3
No. PAR	3.3	2.9	3.3	2.6	3.0	2.9	2.5	2.3	2.2	2.8	3.0	2.6	2.1
No. PAT	5.4	6.6	7.7	5.6	2.9	7.0	4.5	6.0	4.9	8.1	8.8	6.3	4.1
No. PJR	7.8	11.3	11.0	7.9	4.4	12.0	10.0	16.0	7.2	8.6	5.8	7.8	4.5
DFM (días)	82.7	83.6	82.8	73.4	1.8	84.7	84.3	79.0	1.7	80.7	80.5	80.5	1.3
LMZ (cm)	12.9	11.6	11.6	12.7	1.1	12.2	13.3	10.2	1.7	12.5	12.0	12.2	0.9
DMZ (cm)	4.1	4.1	3.8	4.5	0.2	3.9	4.0	4.2	0.2	4.1	4.0	3.8	0.2
NHL (cm)	11.3	11.6	11.0	10.2	0.7	10.9	10.4	10.1	0.9	12.1	10.4	11.1	1.0
No. GRH	26.6	22.1	26.3	29.6	3.6	23.6	25.7	19.9	4.7	26.6	24.0	28.7	2.8
LGR (cm)	11.4	11.1	11.5	12.4	0.6	10.7	11.1	11.3	0.7	11.6	11.0	11.9	0.6
AGR (cm)	8.9	8.6	8.2	10.3	0.3	9.0	9.5	10.3	0.5	8.6	9.2	8.4	0.4
GGR (cm)	3.6	3.8	3.3	3.5	0.2	3.8	3.8	3.9	0.2	3.5	3.6	3.2	0.2
PMZ (g)	99.8	81.1	79.2	115.4	22.5	80.2	95.1	71.6	22.4	101.6	87.0	90.7	12.6
RGRMZ (%)	0.862	0.847	0.889	0.873	0.010	0.863	0.863	0.875	0.03	0.864	0.836	0.898	0.020
Rto. (t.ha ⁻¹)	2.68	1.81	2.39	3.51	1.09	1.89	1.95	2.01	0.85	2.66	2.16	2.52	0.78

1. Los grupos corresponden a los obtenidos en el dendrograma por análisis de conglomerados en capítulo II; DMS: Diferencia mínima significativa, Tukey (p≤0.05).

2. el número entre paréntesis de los encabezados corresponde al número de poblaciones que integraron cada grupo.

Las poblaciones de maíz de grano amarillo fueron muy uniformes en desarrollo fenológico y morfología de planta, dado que las diferencias estadísticas se

presentaron en los componentes de rendimiento, especialmente en el diámetro de mazorca, grosor de grano y la proporción grano/mazorca. Los grupos II y IV contrastaron en tamaño de grano y la proporción grano/mazorca; mientras que los grupos I y II fueron contrastantes en atributos de mazorca (Cuadro 3.2). El hecho de que las poblaciones de grano amarillo fueran uniformes en cuanto a fenología y morfología de planta, indica el grado de adaptabilidad a condiciones agro-ecológicas específicas (solares) y las diferencias en componentes de rendimiento pudieron deberse más al grado de diferenciación entre variantes de diversidad genética.

3.3.3. Comparación de medias de poblaciones dentro de grupos

La comparación entre poblaciones dentro de grupo en la correspondiente prueba de Tukey no detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para rendimiento de grano; pero permitieron identificar las poblaciones sobresalientes para otros atributos de mazorca y grano, principalmente, en los experimentos de maíces blancos y amarillos. Las poblaciones de grano blanco fueron las de mayor variación (Cuadro 3.3), mientras que las amarillas y azules fueron más homogéneas. Esto puede explicar la disponibilidad de poblaciones de grano blanco para todas las condiciones agro-ecológicas presentes en los terrenos de cultivo en Santa María Tataltepec, dado que son las de mayor frecuencia y preferencia; este proceso de adaptabilidad se relaciona con la plasticidad fenotípica que presentan algunas poblaciones de maíz, ante diversas condiciones ecológicas (Gil *et al.*, 2004; López y Muñoz, 1984) en contraste las poblaciones de grano amarillo y azul son cultivadas en condiciones muy específicas (en esta comunidad en solares).

Las poblaciones de maíz de grano blanco del grupo I fueron uniformes en cuanto a porte y fenología de planta, mientras que difirieron entre sí, en atributos de grano (ancho y grosor) y consecuentemente en la proporción grano/mazorca. También mostraron diferentes niveles de resistencia al acame de raíz, en este

aspecto la población 10 se descarta como potencial para el desarrollo del cultivo de maíz, debido a que mostró un alto acame de raíz, mientras que la población 1 fue la de mayor resistencia a este fenómeno.

El grano de las poblaciones 35, 38, 19 y 31 fue el más angosto en comparación con las poblaciones 20 y 18, que fueron de grano más ancho. En cuanto al grosor de grano, las diferencias se debieron a la población 20 con el mayor valor y las poblaciones 35, 14, 19 y 38, 31 y 32 con los menores valores. En la proporción de grano/mazorca las diferencias fueron entre las poblaciones de mayor proporción (35, 14 y 27) y las poblaciones 7, 20, y 22 que presentaron menor proporción de grano/mazorca; esta característica está ligada a que entre más largo y delgado esté el grano, la proporción será mayor, dado que el olote también es delgado.

El grupo V, conformado por las poblaciones 45 y 46 provenientes de comunidades del distrito de Huajuapán en la Mixteca, mostró diferencias en el número de hileras y ancho de grano, dado que las estas poblaciones son típicas de raza Bolita: grano grande y pocas hileras por mazorca (Wellhausen *et al.*, 1951; Benz, 1986).

Las poblaciones de grano azul, manifestaron homogeneidad dentro de cada grupo, sin embargo las pequeñas diferencias numéricas permiten identificar poblaciones sobresalientes y sembrarlas en otras condiciones dentro la localidad para estudiar su desarrollo.

Las poblaciones de grano amarillo presentaron diferencias en los días a floración masculina, debidas a las poblaciones 63 y 68, en el grupo IV existieron diferencias en el diámetro de mazorca y el número de hileras, por tanto el peso de mazorca también mostró diferencias.

Cuadro 3.3 Potencial agronómico promedio de poblaciones de maíz nativo en cada grupo¹ de diversidad y por color de grano.

Pob.	ALP	ALM	PAR	PAT	PJR	DFM	LMZ	DMZ	NHL	GRH	LGR	AGR	GGR	PMZ	RGM	Rto.
<i>Poblaciones de grano blanco</i>																
<i>Grupo I</i>																
1	252.9	157.3	1.0	2.8	6.8	83.0	13.2	4.2	11.6	26.2	11.4	9.0	3.8	103.9	0.9	3.11
2	224.0	139.5	6.5	3.3	8.0	81.0	13.4	4.0	10.8	27.0	11.4	9.2	3.8	99.6	0.9	2.78
3	232.3	144.7	3.8	6.0	9.3	83.5	13.1	4.0	11.3	27.1	11.5	8.8	3.7	104.3	0.9	2.83
4	225.3	138.1	2.5	6.8	8.3	82.3	13.6	3.9	10.9	29.0	11.1	8.8	3.6	99.7	0.9	2.50
5	212.4	129.7	1.8	7.0	6.0	82.8	12.3	3.9	11.1	26.3	11.5	8.8	3.5	88.8	0.9	2.21
6	211.1	128.5	6.5	4.8	7.3	81.5	12.5	4.2	11.7	25.9	11.8	9.0	3.5	98.3	0.9	2.35
7	231.9	138.2	4.0	4.8	8.5	80.0	13.7	4.3	11.6	27.9	11.4	9.3	4.0	121.2	0.8	3.02
8	224.8	133.9	2.0	4.5	7.8	84.3	13.1	4.0	10.9	26.8	10.7	9.1	3.7	91.2	0.8	2.14
9	225.3	136.7	2.0	3.8	7.0	83.5	12.5	3.9	11.1	26.9	11.6	8.5	3.5	92.1	0.9	2.69
10	211.3	125.9	5.5	4.5	8.8	82.5	13.2	4.0	11.2	25.7	10.9	9.1	3.8	96.6	0.9	2.02
11	214.1	129.7	10.3	6.5	9.3	83.0	12.9	4.2	10.8	24.8	11.2	9.3	3.8	93.4	0.9	2.31
12	220.3	137.7	4.3	2.8	8.8	83.5	12.3	4.2	11.8	24.9	11.2	8.7	3.6	98.2	0.9	2.65
13	209.4	125.1	2.8	8.8	10.3	83.8	11.2	4.1	11.7	20.8	11.3	8.5	3.9	76.8	0.9	1.81
14	207.0	124.7	5.8	5.8	6.8	84.5	12.6	4.0	11.0	28.2	11.7	8.5	3.4	95.2	0.9	2.82
15	232.7	143.5	2.0	4.3	9.8	81.8	13.4	4.2	11.9	27.3	11.0	8.7	3.7	111.3	0.9	2.80
16	247.5	153.9	2.0	4.3	6.8	81.5	14.0	4.2	11.4	31.3	12.0	9.0	3.5	117.9	0.9	3.24
17	249.9	156.1	2.3	6.5	9.0	81.8	12.9	4.2	12.0	27.0	11.3	8.6	3.7	106.8	0.9	2.98
18	232.2	139.9	3.3	4.8	8.3	82.5	13.7	4.2	10.5	28.3	11.5	9.5	3.8	116.7	0.9	3.47
19	235.7	142.8	2.3	4.5	7.8	83.3	12.7	4.0	11.3	27.2	11.8	8.5	3.4	94.9	0.9	3.02
20	219.9	132.7	1.3	5.3	8.8	83.0	13.4	4.4	10.5	25.4	11.4	9.9	4.0	107.8	0.8	2.66
22	200.0	119.9	6.8	2.5	8.0	84.5	12.7	4.0	11.3	24.3	10.8	8.5	3.6	84.8	0.8	1.80
23	215.7	130.4	4.3	5.8	12.8	82.8	12.2	4.1	11.6	23.8	10.9	8.6	3.7	84.4	0.9	1.92
24	244.2	134.3	3.8	6.8	5.3	83.0	13.3	4.2	11.4	28.0	11.4	9.0	3.6	108.1	0.9	2.28
26	229.3	144.0	2.8	10.3	7.0	84.0	13.0	4.2	12.2	25.5	11.3	9.0	3.7	106.8	0.8	3.18
27	241.9	150.2	0.8	4.0	6.0	81.8	13.0	4.0	11.5	28.0	12.0	8.6	3.5	98.0	0.9	3.38
29	223.5	133.9	2.3	6.0	10.3	83.3	13.2	4.2	11.1	25.9	11.2	8.9	3.8	100.8	0.9	2.38
30	229.2	138.2	3.3	2.8	6.5	83.0	13.0	4.1	10.8	25.3	11.7	8.9	3.7	100.9	0.9	2.85
31	223.9	134.9	1.5	3.5	9.3	83.3	12.0	4.0	11.4	25.5	11.3	8.5	3.5	88.3	0.9	3.09
32	231.2	135.6	3.3	9.8	10.0	82.5	11.9	3.9	11.0	25.9	11.5	8.6	3.5	87.4	0.9	2.13
33	229.2	136.0	3.0	9.0	4.8	82.3	12.8	4.3	11.9	26.2	11.8	8.9	3.7	112.4	0.9	2.75
34	230.7	137.3	2.3	5.5	6.5	80.8	12.9	4.1	11.1	27.5	11.7	8.6	3.5	104.0	0.9	2.93
35	230.8	143.2	1.8	6.8	2.8	82.3	12.9	3.9	10.8	28.7	12.1	8.5	3.2	91.7	0.9	2.91
37	230.7	139.5	3.8	4.5	10.0	83.5	12.7	4.0	11.2	27.5	11.2	8.7	3.7	95.9	0.9	2.53
38	235.8	148.5	1.5	6.5	8.8	83.3	12.7	4.1	12.2	26.5	11.3	8.5	3.4	94.2	0.9	2.59
39	250.9	156.4	2.3	7.5	5.3	83.3	13.7	4.2	11.0	27.6	11.6	9.2	3.6	110.4	0.9	3.54
41	222.5	130.1	2.5	3.0	5.0	82.8	13.2	4.1	11.3	25.9	11.1	8.7	3.8	101.7	0.8	3.00

Pob.	ALP	ALM	PAR	PAT	PJR	DFM	LMZ	DMZ	NHL	GRH	LGR	AGR	GGR	PMZ	RGM	Rto.
43	223.6	135.1	1.8	7.3	7.8	82.8	12.2	4.0	11.1	25.8	11.4	8.8	3.5	91.3	0.8	2.19
44	206.2	127.0	6.5	4.3	9.5	83.3	13.2	4.0	11.1	25.5	10.8	8.9	3.7	94.4	0.9	2.24
DMS	74.8	52.8	8.8	8.6	11.9	5.4	3.2	0.6	2.1	9.5	1.6	.9	.5	62.2	0.04	3.03
Grupo II																
21	218.2	131.8	1.3	6.3	8.8	83.0	11.5	4.1	11.3	22.0	11.3	8.8	3.8	81.6	0.9	2.26
40	207.0	120.2	3.8	5.3	14.8	84.0	12.1	4.2	11.7	22.5	10.9	8.8	3.8	88.4	0.8	1.43
42	188.8	111.2	3.8	6.0	11.5	83.8	11.6	4.0	11.5	23.1	10.8	8.5	3.7	77.8	0.8	1.74
DMS	62.4	38.1	6.4	6.5	11.4	2.8	3.0	0.4	1.3	10.6	1.2	0.7	0.38	49.8	0.03	1.68
Grupo IV																
25	213.1	122.8	1.3	6.5	15.5	84.0	11.4	3.9	11.3	25.0	11.4	8.3	3.5	85.5	0.9	2.29
28	202.4	122.6	6.3	8.0	10.3	84.0	11.7	3.7	10.4	25.7	11.3	8.3	3.2	72.3	0.9	2.31
36	208.3	124.6	2.5	8.5	7.3	80.5	11.7	3.7	11.3	28.2	11.7	8.0	3.2	79.7	0.9	2.57
DMS	72	45.4	8.7	7.2	11.2	5.41	2.4	0.6	2.4	8.0	1.6	0.87	0.3	55.1	0.03	2.59
Grupo V																
45	205.4	121.6	4.3	6.5	9.8	73.8	13.0	4.5	9.5	29.6	12.5	10.6	3.6	113.7	0.9	3.36
46	197.9	119.4	1.0	4.8	6.0	73.0	12.4	4.5	10.9	29.6	12.2	10.0	3.5	117.1	0.9	3.62
DMS	9.3	7.4	1.5	6.1	8.8	0.8	1.0	0.2	1.2	4.4	1.2	0.4	0.1	15.59	0.03	3.35
Poblaciones de grano azul																
Grupo II																
48	176.0	107.6	0.8	6.5	10.0	84.8	12.4	3.8	11.1	24.5	10.7	9.0	3.8	83.1	0.9	1.92
49	169.3	98.1	3.3	4.8	11.8	84.5	11.4	3.8	10.5	22.2	10.6	9.1	3.8	72.4	0.9	1.70
50	179.9	105.3	4.5	5.5	5.5	83.3	12.5	4.0	11.1	24.8	10.8	9.1	3.9	90.3	0.9	2.74
51	179.3	106.0	2.3	10.0	12.5	84.3	12.1	3.7	10.4	23.7	10.6	9.1	3.7	77.2	0.9	1.68
52	179.2	98.2	2.0	8.8	14.0	85.8	12.6	3.9	10.9	23.4	10.6	8.9	3.9	81.2	0.8	1.36
53	189.3	107.4	3.3	7.3	13.3	84.0	12.7	3.9	10.6	25.7	10.9	9.2	3.8	89.4	0.9	2.06
54	169.9	99.0	4.5	7.3	12.5	85.8	11.7	3.8	11.0	21.2	10.5	8.7	4.0	72.7	0.9	1.60
55	187.5	114.8	2.8	5.8	12.8	84.5	11.8	3.8	11.0	24.0	11.1	8.8	3.7	78.7	0.9	2.11
56	193.3	106.6	2.5	7.5	15.8	85.8	12.5	4.0	11.4	22.8	10.6	8.8	3.7	77.6	0.8	1.87
DMS	38.6	31.8	4.4	9.4	14.1	3.3	3.7	0.4	1.8	9.9	1.3	0.9	0.5	44.1	.05	1.61
Grupo III																
47	181.2	104.8	1.5	3.8	10.8	84.0	13.0	4.0	10.5	25.2	11.1	9.4	3.8	92.5	0.9	1.64
57	190.3	108.1	3.5	5.3	9.3	84.5	13.6	4.0	10.2	26.2	11.0	9.6	3.8	97.7	0.9	2.25
DMS	23.4	24	3.4	4.9	7.0	3.0	2.0	0.5	2.1	5.7	1.5	0.8	0.13	37.9	0.02	1.38
Grupo VI																
58	162.6	93.3	2.3	6.0	16.0	79.0	10.2	4.2	10.1	19.9	11.3	10.3	3.9	71.6	0.9	2.01
Poblaciones de maíz amarillo.																
Grupo I																
62	202.9	122.8	3.0	9.3	7.3	79.8	12.5	4.1	11.9	29.7	12.0	8.5	3.3	105.6	0.9	2.71
63	197.6	117.3	2.5	6.3	11.0	82.0	12.2	4.1	12.3	24.1	11.1	8.6	3.7	92.4	0.9	2.41
64	208.5	126.0	2.5	8.0	6.5	80.0	12.8	4.2	11.6	26.8	11.6	8.8	3.5	101.8	0.9	2.47

Pob.	ALP	ALM	PAR	PAT	PJR	DFM	LMZ	DMZ	NHL	GRH	LGR	AGR	GGR	PMZ	RGM	Rto.
65	195.9	116.1	2.0	7.5	4.8	81.5	12.1	4.2	12.9	25.2	11.4	8.5	3.5	101.0	0.9	2.71
66	197.1	123.9	3.8	7.8	9.5	81.0	12.8	4.3	12.7	26.4	11.7	8.6	3.7	111.6	0.9	2.95
67	202.7	126.9	2.0	10.0	13.8	81.5	12.3	3.9	12.2	25.3	11.2	8.3	3.5	91.8	0.9	2.29
68	205.3	127.0	3.5	8.0	7.5	79.3	12.9	4.0	11.1	28.6	12.1	8.9	3.4	106.7	0.9	3.08
DMS	25.7	19.5	4.0	5.4	9.1	2.3	1.7	0.4	2.2	4.9	1.1	0.9	0.5	27.5	0.03	1.67
Grupo II																
69	194.0	119.9	3.0	8.8	5.8	80.5	12.0	4.0	10.4	24.0	11.0	9.2	3.6	87.0	0.8	2.16
Grupo IV																
59	192.6	121.3	1.5	6.5	3.8	79.8	12.6	3.9	11.2	30.5	11.9	8.5	3.2	99.5	0.9	2.95
60	205.9	113.9	3.5	5.5	11.5	80.8	12.0	3.7	10.9	29.5	11.9	8.4	3.2	82.9	0.9	2.16
61	204.0	120.6	2.8	6.8	8.0	81.0	11.9	3.9	11.3	26.2	11.9	8.4	3.3	89.9	0.9	2.45
DMS	47.7	21.9	3.6	6.8	9.4	1.7	1.2	0.2	1.1	5.1	0.9	0.5	0.3	15.92	0.01	1.10

1. Los grupos corresponden a los seis determinados por conglomerados en el capítulo II.

En general las poblaciones de maíz nativo en Santa María Tataltepec mostraron un comportamiento agronómico diferente, en la fenología (floración) y algunos componentes de rendimiento (forma de mazorca y tamaño de grano), resultados similares se obtuvieron en Molcaxac Puebla (Ángeles, 2010). Los rendimientos potenciales de cada población fueron muy variables, y aunque estadísticamente no fueron diferentes, en realidad estas diferencias pueden ser de utilidad para seleccionar el 20% de las poblaciones más sobresalientes del grupo con mejores potenciales, en este caso las de grano blanco del grupo I de diversidad.

La distribución del rendimiento de las poblaciones del grupo I de grano blanco de Tataltepec sigue la distribución normal (Figura 3.1) con una variación de 1.9 hasta 3.5 toneladas por hectárea. Al seleccionar el 20% mejor de este grupo de 37 poblaciones, se tendrían 7 poblaciones élite en rendimiento (39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31), las que se pueden promover en primera instancia para aumentar la productividad del cultivo en la comunidad; se trabajaría en ciclos siguientes para mejorar la producción por otras vías de mejoramiento participativo como se ha sugerido para el municipio de Ayapango en el Estado de México (González, 2007).

Las poblaciones de maíz blanco del grupo I de diversidad, rindieron en promedio 2.66 t.ha^{-1} , mientras que el promedio del 20% mejor, fue de 3.29 t.ha^{-1} , lo cual indica una diferencia de 23% de rendimiento de grano; se debe considerar que esta superioridad es mayormente de origen genético, y que en el siguiente ciclo las poblaciones pueden rendir menos o más, dadas las condiciones ambientales en las que se desarrollen, así mismo de la interacción entre ambos elementos, pero la superioridad de las poblaciones elegidas por su buen rendimiento se espera que sea consistente. Si en ciclos agrícolas siguientes se apoyara técnicamente en la selección de semilla, se pudiera desplazar el rendimiento medio poblacional un 2% cada ciclo, ganancias aceptables y que pueden significar otra fase en el proceso de mejoramiento participativo.

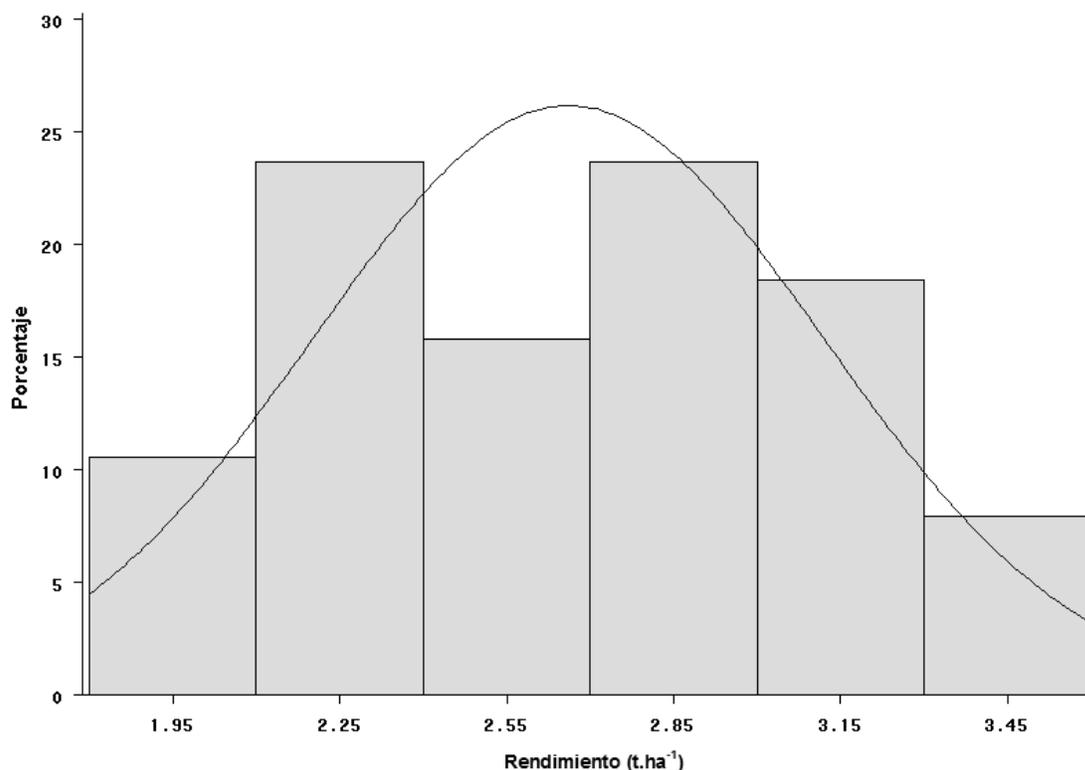


Figura 3.3. Rendimiento de las poblaciones de grano blanco del grupo de diversidad I, en Santa María Tataltepec, 2010 P-V.

En Santa María Tataltepec, la expresión de las poblaciones nativas durante el experimento, pudo ser afectada negativamente, dado que fue un año con lluvias en exceso durante las floraciones masculina y femenina de la planta, esto pudo afectar la polinización por afectar el periodo entre floraciones o incluso por las temperaturas frescas atrasar los ciclos, además de que en algunas unidades experimentales hubo afectaciones por inundación como fue el caso de las poblaciones de grano azul, las que posiblemente no expresaron su potencial debido a este fenómeno.

Por una parte, los niveles de precocidad distintos permiten identificar y seleccionar poblaciones precoces, tardíos o intermedios en condiciones agro-ecológicas diferentes y de esta forma hacerle frente a la inestabilidad del temporal y los fenómenos climatológicos extremos como heladas tempranas o sequías intensas (Muñoz, 2005; Ángeles *et al.*, 2010;).

Las acciones que se propongan deben involucrar selección de semilla en la parcela y manejo agronómico sustentable adecuado, para aprovechar al máximo el potencial de las poblaciones.

Así pues, se puede mejorar la producción de maíz y cada ciclo incrementar el rendimiento en al menos 2%; conservar y acrecentar la diversidad de las poblaciones o tipos de maíces locales que conlleven las particularidades de interés de los productores y los mejores potenciales agronómicos en cada condición agro-ecológica que se tenga en la comunidad.

Se propone este trabajo como referencia para valorar la diversidad del maíz en cada comunidad, y con ello tomar decisiones que involucren la participación del agricultor en beneficio de la producción de maíz, y de esta forma desarrollar la agricultura del maíz en el 85% del área cultivada con maíces nativos que sustenta la alimentación de millones de familias mexicanas.

La aplicación de la metodología pudiera ser factible en toda el área del país donde se practique la agricultura tradicional y exista diversidad de nichos ecológicos, como el Occidente, Centro y Sur de México.

3.4 CONCLUSIONES

Las poblaciones de maíces blancos fueron los de mayor variación dentro de cada grupo, con diferentes niveles de precocidad y formas de grano y mazorca, mientras que las poblaciones de grano azul fueron las más homogéneas en cuanto a comportamiento agronómico.

Las poblaciones élites de grano blanco en cuanto a rendimiento fueron siete (39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31) con rendimiento promedio de 3.29 t.ha⁻¹, las cuales representan una presión de selección del 20%, aunque su ciclo es tardío comparadas con las poblaciones de grano amarillo.

Las población de grano azul élites para rendimiento fueron la 50 y 47 con 2.7 y 2.3 t.ha⁻¹, respectivamente y de ciclo ligeramente tardío.

Las poblaciones élite de grano amarillo en rendimiento y precocidad fueron la 68, 66 y 59 con 2.9 a 3.0 t.ha⁻¹.

3.5 BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles G., E., E. Ortiz T., P. A. López y G. López R. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla.. Revista Fitotecnia Mexicana 33:287-296.
- Benz, B. F. 1986. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Ph. D. Dissertation University Wisconsin, Madison. 433 p.
- FAO. 2009. Base de Datos de Estadísticas Agropecuarias. (Disponible en www.faostat.fao.org, noviembre 2011).
- 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: J L Chávez S, J Tuxill y D I Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en

los Agroecosistemas Tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:18-25

- González G., M. 2007. Diversidad del maíz: potencial agronómico y perspectivas para su conservación y desarrollo *in situ* en el sureste del estado de México. Tesis D.C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 137p.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. A. Ortega P. and M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hortelano S. R., R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C., y L. Córdova T. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (disponible en www.inegi.org.mx, noviembre 2011).
- López R., G., A. Santacruz V., A. Muñoz O., F. Castillo G., L. Córdova T., y H. Vaquera H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284-290.
- López H., A. de J. y A. Muñoz O. 1984. Relación de la coloración del grano con la precocidad y la producción en maíces de Valles Altos. *Revista Chapingo* 9:31-37.
- Muñoz O., A. 2005. Descifrando la diversidad del maíz de los nichos ecológicos de México. *In: A. Muñoz O. (Director). 2005. Centli Maíz. Ed. América. 2da ed. México, D. F. pp:133-143.*
- Muñozcano R. M., F. Castillo G., S. Miranda C. y J. L. Chávez S. 2010. Diversidad genética del maíz en una comunidad Mixteca de Oaxaca: Santa María Tataltepec. *Revista Fitotecnia Mexicana*. (en proceso de edición).
- Ruiz C., J. A., J. L. Ramírez D., F. J. Flores M. y J. J. Sánchez G. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 169-182.
- SIAP. 2011. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (disponible en www.siap.gob.mx, noviembre 2011).
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernandez X. and P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 237 p.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL

4.1 Diversidad genética del maíz en Santa María Tataltepec

El estudio de diversidad permitió diferenciar a las poblaciones que se incluyeron como testigos (45 y 46 de grano blanco y 58 de grano azul) procedentes de municipios del distrito de Huajuapán León, en la región Mixteca del mismo estado de Oaxaca, con altitud semejante pero distantes en al menos 70 km en línea recta, con separación por el sistema montañoso Nudo Mixteco, funcionando como barrera natural. Esto puede indicar que las formas de diversidad se constituyen de manera específica (Anderson, 1946), en función de las condiciones agroecológicas del sitio y la modificación que imprimen las culturas locales en el proceso consuetudinario de selección de semilla (Brush y Perales, 2007, Muñoz, 2005; Hortelano *et al.*, 2008). La población de maíz amarillo (69) del municipio de San Juan Teita, colindante con Tataltepec, se ubicó en el Grupo II con las del conjunto de estudio, porque las condiciones agro-ecológicas son semejantes y es común el intercambio de grano con fines alimenticios, pero en determinado momento, por alguna preferencia, pueden sembrarla los productores de ambas comunidades; así se inicia el proceso de adaptación de poblaciones nativas de maíz a condiciones locales, que junto con la selección por preferencias del productor conforman paulatinamente el patrimonio de diversidad genética del maíz.

Las poblaciones de maíz de Santa María Tataltepec, Oaxaca, muestran diversidad que se pueden catalogar como variantes de la raza Bolita y formas intermedias entre Bolita y Pepitilla. Tal diversidad genética del maíz puede indicar que las poblaciones evolucionan en base al patrimonio genético de origen y mantienen cierto grado de independencia y evolución de forma continua, de manera tal que se han conformado conjuntos de poblaciones que presentan algunas diferencias entre esos grupos, algunos con semejanza a lo que se ha descrito como

típico de la raza Bolita, y otras con morfología de grano y mazorca, principalmente, que sugieren influencia de la raza Pepitilla.

Las formas intermedias de mazorcas (Bolita-Pepitilla) de las poblaciones actuales describe la selección que algunos productores han hecho al preferir poblaciones de olote y grano delgados, características de la raza Pepitilla.

La existencia de diversidad en precocidad manifiesta la adaptabilidad que las poblaciones han desarrollado para cada una de las condiciones agro-ecológicas de la comunidad, dado que existen variación en tipos de suelo y microclimas que en conjunto se asocian a particularidades a algunos maíces, como la duración del ciclo de cultivo, en donde es notorio el ciclo precoz de los maíces de grano amarillo.

Los grupos obtenidos por el análisis de conglomerados (capítulo I) se integraron con poblaciones de características semejantes en formas de mazorca y grano, así el Grupo I incluyó poblaciones de grano blanco y amarillo, presentándose sub-grupos que difieren por otras características, como la precocidad en el caso de las de grano amarillo, lo cual sugiere un análisis más detallado dentro de grupos.

Los colores de grano prevalecientes fueron blanco, azul y amarillo, cada uno con sus propios atributos; el maíz de grano blanco por ser el de mayor preferencia por su uso más frecuente en la alimentación y especialmente en la elaboración de tortillas (“Tlayudas”, “Totopos” y “Blandas”), ha presentado también mayor exposición a los factores que pueden modificar a las poblaciones, lo que parece haber llevado a mayor diferenciación entre poblaciones, en cuanto a formas de grano, mazorca y planta, así como precocidad y productividad. La presencia de poblaciones de maíz blanco con diferente grado de precocidad, indica que se han consolidado poblaciones específicamente adaptadas a condiciones de planicies, cañadas, lomeríos y montaña, a diferencia de las poblaciones de grano azul y

amarillo, que se cultivan en determinadas condiciones (solares, principalmente) lo que las ha uniformizado en cuanto a ciclo productivo y características físicas y morfológicas de planta, mazorca y olote.

Además, el maíz amarillo es un indicador claro que se han perpetuado características muy particulares, como los colores púrpura dominantes de tallos, hojas de la mazorca (totomoxtle) y espiga durante el desarrollo de la planta, y después de la cosecha en el color del olote, aunque existen plantas de grano amarillo con formas y características diferentes pero su frecuencia es muy baja, lo cual explica dos posibles vías: una es que desde su origen las poblaciones de maíz amarillo presentaban esas características y con el paso del tiempo han adquirido formas de otras poblaciones tales como las de grano blanco; o bien que en su origen las poblaciones de maíz amarillo fueron diversas en cuanto a la coloración de esas estructuras y con el paso del tiempo y su cultivo en condiciones muy específicas, se ha alcanzado algún grado de purificado las poblaciones. Además de lo anterior, estas poblaciones difieren en la época de floración con las poblaciones de grano blanco y azul, pues son más precoces, lo cual funciona como barrera natural del intercambio de información genética mediante la polinización cruzada.

Es más común, observar algunos granos amarillos o azules en mazorcas de grano blanco (localmente llamadas “pintas”) al momento de la cosecha, que granos blancos en mazorcas amarillas o azules, esto se explica por la disponibilidad de polen en el momento que los estigmas estén expuestos y perceptibles de ser polinizados, donde las poblaciones de grano amarillo son precoces y sólo aprovechan el polen de sus mismas poblaciones; de forma muy similar ocurre con las poblaciones de grano azul.

La liberación de polen (antes de la anthesis) de las poblaciones de color blanco no coincide con la receptibilidad de los estigmas de las poblaciones de grano amarillo, indicando que no hay sincronía floral entre poblaciones de granos de diferente color.

También es importante mencionar que las condiciones de cultivo restringidas del maíz amarillo y periodos de fechas de siembra muy cortos, pueden ser también barreras naturales y físicas que favorezcan cierto grado de pureza de la raza o variante racial.

La diversidad de preferencias (usos, resistencia a plagas y enfermedades, productividad, coloraciones, entre muchas otras) de los productores y familias campesinas, en general ha marcado las diferencias a nivel de plantas, mazorca y grano de las poblaciones actuales en Santa María Tataltepec, conformando así su patrimonio genético del maíz.

4.2 Potencial agronómico de las poblaciones nativas

Con respecto al potencial productivo y agronómico de las poblaciones nativas de maíz, se puede decir que existen poblaciones, en particular de grano blanco, que expresaron un potencial de rendimiento muy bueno (3.0 a 3.5 t.ha⁻¹), aún cuando las condiciones agro-ecológicas donde se estableció el experimento, fueron un poco limitantes y la temporada de lluvias excesiva.

Las siete poblaciones de maíz blanco identificadas como élite, rindieron de forma semejante a las poblaciones testigo (45 y 46) que fueron poblaciones élite en experimentos previos; esto es muy importante, ya que es muy común probar variedades de maíz mejoradas en alguna región y comparar su rendimiento con el de una población nativa, que se escogió al azar como población testigo. Los resultados de estas pruebas son válidas sólo para el productor que facilitó la población testigo, sí y sólo si las variedades mejoradas rindieron más que su maíz

nativo, en las condiciones agro-ecológicas de sus parcelas de cultivo. Para el resto de los productores de una misma localidad pueden ser inaplicables estos resultados, debido a que cada productor posee al menos dos tipos de maíces en particular y pueden rendir más o menos que las variedades mejoradas.

Por tanto, se sugiere como primer paso, antes de iniciar alguna estrategia de desarrollo del cultivo de maíz, más aún, si se busca introducir variedades mejoradas o poblaciones nativas de otras comunidades, valorar la diversidad del maíz en la comunidad, con una muestra poblacional, al menos del 50% del total de familias campesinas que cultiven maíz.

Dadas las condiciones ecológicas, económicas y políticas del país, de esta forma, puede garantizarse alguna mejora de la producción de maíz a nivel de comunidad o nicho ecológico, y al mismo tiempo favorecer el bienestar de las comunidades campesinas mediante la cosecha del cereal para su alimentación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

La diversidad del maíz en Santa María Tataltepec está integrada por variantes de la Raza Bolita y formas intermedias de Bolita-Pepitilla.

De las 65 poblaciones nativas se conformaron seis grupos de diversidad integrados por similitudes en forma de mazorca y grano principalmente; además por otras características como el porte y fenología de la planta. Los grupos de diversidad más amplios fueron el I, II y IV, integrados por 44, 14 y 6 poblaciones, respectivamente.

El grupo I de diversidad estuvo integrado por tres tipos de poblaciones: el *I-a* con poblaciones más típicas de la raza Bolita, el grupo *I-b* con poblaciones intermedias entre Bolita-Pepitilla, ambos grupos con poblaciones de grano blanco; y el grupo *I-c* por poblaciones intermedias de Pepitilla-Bolita pero todas de grano amarillo y más precoces que las de grano blanco.

El grupo II, concentró a las poblaciones de grano ancho, grueso y corto, típico de la raza Bolita con mazorcas cortas; se integró con nueve poblaciones de grano azul, cuatro de grano blanco y una de grano amarillo.

El grupo IV, fue el que englobó a las poblaciones más parecidas a la raza Pepitilla, tres de grano blanco y tres de grano amarillo, con ciclo precoz, mazorca, grano y olote delgados.

El grupo III, se integró por dos poblaciones de grano azul con características de la raza Bolita, grano grueso, ancho y pesado, así mismo olote grueso.

Los grupos V y VI se conformaron por dos y una población, respectivamente, las tres provenientes de otras comunidades de la Mixteca; y tuvieron las formas más

puras de la raza Bolita, de grano grande pero corto con bajo número de hileras y fueron las más precoces.

Las poblaciones 39, 18, 27, 16, 26, 1 y 31 de grano blanco, se identificaron como élites, con potenciales de rendimiento de 3.0 a 3.5 t.ha⁻¹.

Las poblaciones élite de grano amarillo fueron la 68, 66 y 59 con rendimientos entre 2.9 a 3.0 t.ha⁻¹.

Las poblaciones 50 y 57 de grano azul fueron las de mayor potencial de rendimiento con 2.7 y 2.3 t.ha⁻¹, respectivamente.

Se proponen 12 poblaciones de maíz élite en rendimiento, para construir estrategias encaminadas a incrementar la producción y al mismo tiempo conservar y acrecentar la diversidad genética del maíz en Santa María Tataltepec y este trabajo se sugiere como un modelo, abierto a retroalimentación, para aplicarlo en cada uno de los diversos nichos ecológicos del país, y así contribuir al descubrimiento y conocimiento de la diversidad del maíz, así mismo para comprender las formas en que se va formando la diversidad y la relación que hay con los grupos humanos que la desarrollan.

De esta manera se puede contribuir al rescate, protección, desarrollo y promoción de la agricultura tradicional que sustenta la alimentación de millones de familias mexicanas.

APÉNDICE

Origen de 69 poblaciones de maíz nativo para el estudio de diversidad genética en Santa María Tataltepec, Oaxaca.

Población	Nombre del Productor propietario	color de grano	Origen	Ciclo de cosecha
1	Prisciliano Cruz Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
2	Jesús José Miguel Pablo	blanco	Santa María Tataltepec	2009
3	Aquilino Pablo	blanco	Santa María Tataltepec	2009
4	Lucino Osorio Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
5	Hugo Cruz Velasco	blanco	Santa María Tataltepec	2009
6	Elid Donaciano Cruz Hernández	blanco	Santa María Tataltepec	2009
7	Antonio Cruz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
8	Ernestino Santiago Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
9	Hilario Cruz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
10	Laurencio Miguel Miguel	blanco	Santa María Tataltepec	2009
11	Jaime Paz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
12	Caritina Cruz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
13	Rubén Santiago Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
14	Eufemia Pablo Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
15	Fidelio Pablo Santiago (†)	blanco	Santa María Tataltepec	2009
16	Baldomero Cruz Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
17	Manuel Pablo Paz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
18	Cirino Silva Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
19	Rufina Martínez Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
20	Isaac Cruz Hernández	blanco	Santa María Tataltepec	2009
21	Wulfrano Hernández Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
22	Galdino Cruz Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
23	Adelina Paz Velasco	blanco	Santa María Tataltepec	2009
24	Luis Fulgencio Paz Velasco	blanco	Santa María Tataltepec	2009
25	Felix Cruz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
26	Felix Velasco Ayala	blanco	Santa María Tataltepec	2009
27	Leonides Santiago Velasco	blanco	Santa María Tataltepec	2009
28	Ysidro Santiago Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
29	José Antonio Cruz Velasco	blanco	Santa María Tataltepec	2009
30	Armando Cruz Ayala	blanco	Santa María Tataltepec	2009
31	Arturo Paz Pablo	blanco	Santa María Tataltepec	2009
32	Mario Pablo Paz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
33	Cenorina Alejandra Pablo Martínez	blanco	Santa María Tataltepec	2009
34	Maurilia Nicolasa Paz Hernández	blanco	Santa María Tataltepec	2009
35	Juan Santiago Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
36	Reynaldo Silva Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
37	Yolanda Cruz Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
38	Facundo Pablo Paz	blanco	Santa María Tataltepec	2009

Población	Productor	color de grano	origen	Ciclo de cosecha
39	Floriberto Pablo Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
40	Carlos Silva Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
41	Antonio Santiago	blanco	Santa María Tataltepec	2009
42	Adelfo Gómez Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
43	María Flor Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
44	Heladio Osorio Cruz	blanco	Santa María Tataltepec	2009
45	CIIDIR 285	blanco	San Andrés Dinicuiti	2009
46	CIIDIR 286	blanco	Santo Domingo Yodohino	2009
47	Elid Donaciano Cruz Hernández	azul	Santa María Tataltepec	2009
48	Yolanda Cruz Cruz	azul	Santa María Tataltepec	2009
49	Leonides Santiago Velasco	azul	Santa María Tataltepec	2009
50	Federico Edgar Pablo Santiago	azul	Santa María Tataltepec	2009
51	Rufina Martínez Cruz	azul	Santa María Tataltepec	2009
52	Juan Santiago Santiago	azul	Santa María Tataltepec	2009
53	Felix Cruz Cruz	azul	Santa María Tataltepec	2009
54	Guadalupe Cruz Cruz	azul	Santa María Tataltepec	2009
55	Ysidro Santiago Santiago	azul	Santa María Tataltepec	2009
56	Floriberto Pablo Santiago	azul	Santa María Tataltepec	2009
57	Hugo Cruz Velasco	azul	Santa María Tataltepec	2009
58	CIIDIR 369	azul	Santo Domingo Tonalá	2009
59	Juan Santiago Santiago	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
60	Fidelio Pablo Santiago	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
61	Ysidro Santiago Santiago	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
62	Leonides Santiago Velasco	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
63	Adelina Paz Velasco	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
64	Felix Cruz Cruz	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
65	Rufina Martinez Cruz	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
66	Cenorina Alejandra Pablo Martínez	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
67	Heladio Osorio Cruz	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
68	Floriberto Pablo Santiago	amarillo	Santa María Tataltepec	2009
69	CIIDIR 355	amarillo	San Juan Teita	2009