



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENETICA

RENDIMIENTO, CALIDAD DE GRANO Y CAMBIOS ADAPTATIVOS EN MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO A VALLES ALTOS

JUAN MARIEL ARCOS MÉNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis, titulada: **RENDIMIENTO, CALIDAD DE GRANO Y CAMBIOS ADAPTATIVOS EN MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO A VALLES ALTOS**, realizada por el alumno: **JUAN MARIEL ARCOS MENDEZ**, 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

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



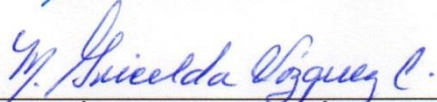
DR. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA

ASESOR



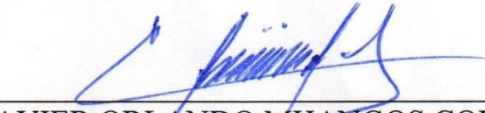
DR. GILBERTO ESQUIVEL ESQUIVEL

ASESOR



DRA. MARÍA GRICELDA VÁZQUEZ CARRILLO

ASESOR



DR. JAVIER ORLANDO MIANGOS CORTÉS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2015

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo Mexicano y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado en el transcurso de mis estudios de Postgrado (Maestría en Ciencias).

*Al Colegio de Postgraduados, **PREGEP-Genética**, junto con el personal académico de este postgrado, que ayudó a mi formación profesional.*

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX), por proporcionarme el espacio en sus parcelas para el establecimiento de mi trabajo de tesis.

A los miembros de mi consejo particular: Dr. José Jesús García Zavala, Dr. Gilberto Esquivel Esquivel, Dra. Ma. Gricelda Vázquez Carrillo, y al Dr. Javier Orlando Mijangos Cortés. Por su muy valiosa enseñanza, orientación, sugerencias, motivación, dirección y correcciones emitidas durante la realización de esta investigación y que mejoraron este importante trabajo.

A los integrantes del Equipo de trabajo del Laboratorio de Calidad de Grano del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX), por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo.

A la Secretaria del Postgrado de Genética, la Señora Dalila, a mis compañeros y amigos que me apoyaron a la elaboración y conclusión de esta investigación.

DEDICATORIAS

A mis padres, Gaspar Arcos López y Micaela Mendez Guzmán.

A mis hermanos (as) y sobrinos (as)

A toda mi familia, por su incondicional apoyo moral para concluir este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN GENERAL.....	VII
GENERAL SUMMARY.....	IX
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Literatura citada.....	6
II. RENDIMIENTO DE GRANO Y CAMBIOS MORFOLOGICOS DE MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO A VALLE ALTOS DE MÉXICO.....	9
2.1 Resumen.....	9
2.2 Summary.....	10
2.3 Introducción.....	11
2.4 Materiales y métodos.....	14
2.5 Resultados y discusión.....	17
2.6 Conclusiones.....	22
2.7 Literatura citada.....	23
III. CALIDAD DE GRANO Y TORTILLAS DE MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO EN VALLES ALTOS DE MÉXICO.....	25
3.1 Resumen.....	25
3.2 Summary.....	26
3.3 Introducción.....	27
3.4 Materiales y métodos.....	30
3.5 Resultados y discusión.....	34
3.6 Conclusiones.....	47
3.7 Literatura citada.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento, sus componentes y caracteres agronómicos de maíz Nal-Tel seleccionado para adaptación en Valles Altos de México. Montecillo, Edo. de México.	18
Cuadro 2. Comparación de medias de 19 variables de compuestos de maíz Nal-Tel y Chalqueño evaluados en Santa Lucía de Prías y Montecillo, Edo. de Mex. 2013.	21
Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y características físicas de grano en maíz Nal-Tel adaptado en Valles Altos de México producidas en dos localidades Santa Lucia de Prias y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.	35
Cuadro 4. Comparación de medias para las características físicas de grano en maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.	39
Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística para las características de nixtamalización y tortillas del maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.	41
Cuadro 6. Comparación de medias para las características de nixtamalización y tortillas del maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.	45
Cuadro 7. Efecto localidad y genotipo sobre caracteres físicos del grano en maíz adaptado a clima templado de la raza Nal Tel.	46
Cuadro 8. Efecto localidad y genotipo en las características del nixtamal, masa y tortilla de maíz adaptado a clima templado de la raza Nal Tel.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Relación rendimiento e índice de flotación en las dos localidades.	36
Figura 2.	Luminosidad en grano y tortillas de los compuestos de selección Nal-Tel y Comp. Univ. (Chalqueño) producida en Colegio Postgraduados, Montecillos y Santa Lucia, Coatlinchán, Estado de México, PV 2013.	43
Figura 3.	Humedad y textura de las tortillas de los compuestos de selección Nal-Tel y Comp. Univ. (Chalqueño) producida en Colegio Postgraduados, Montecillos y Santa Lucia, Coatlinchán, Estado de México, PV 2013.	44

RESUMEN GENERAL

RENDIMIENTO, CALIDAD DE GRANO Y CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO A VALLES ALTOS

JUAN MARIEL ARCOS MENDEZ, M. C.

COLEGIO POSTGRADUADOS, 2015

En los Valles Altos de México, la obtención de variedades mejoradas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) se ha limitado al uso de variedades de las razas locales Cónico y Chalqueño, principalmente. La introducción y posterior adaptación de germoplasma exótico es una opción valiosa para ampliar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento genético de maíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico y comparar las propiedades físicas de grano y la calidad de masa-tortilla de maíz Nal-Tel adaptado por selección masal a Valles Altos. Tres genotipos exóticos de maíz Nal-Tel más uno local de Chalqueño: la variedad original de Nal-Tel Colección Yucatán-7 (C_0), los compuestos de ciclo doce (C_{12}) y veinte (C_{20}) de selección masal de Yucatán-7, y el Compuesto Universal SM12 PB (CU SM12 PB C9) de Chalqueño, usado como testigo local, fueron evaluados en el ciclo Primavera-Verano de 2013 en terrenos del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental tuvo 26 matas de dos plantas cada 50 cm en dos surcos de 6 m de largo separados a 0.80 m. Con la información obtenida en las dos localidades se realizó un análisis de varianza, combinando los dos ambientes. En dicho análisis se incluyeron la variedad original (C_0) y sus compuestos de selección (C_{12} y C_{20}), así como la variedad local (Chalqueño). Los caracteres estudiados fueron el rendimiento de los materiales y caracteres agronómicos; características físicas del grano; y calidad de nixtamal y tortilla. Los resultados indican que el compuesto C_{20} rindió 3.9 t ha⁻¹, superando significativamente a la variedad original (2.2 t ha⁻¹) pero no al testigo, y sus plantas fueron de menor altura y ciclo vegetativo corto. Las variables componentes del rendimiento longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y de granos por hilera tuvieron incrementos significativos en el C_{20} , mientras que altura de planta, número total de hojas, y el tamaño y número de ramas de la espiga tuvieron reducciones. Lo anterior evidencia incrementos en el rendimiento y la ocurrencia de cambios adaptativos morfológicos importantes en la población Yucatán-7 por efecto de la selección para adaptación. Por otra

parte el resultado de los caracteres físicos del grano, el peso hectolítrico y el índice de flotación mostraron un incremento significativo en la ganancia de la dureza del grano hasta el ciclo C₂₀. El tamaño del grano, inferido por el Peso de 100 Granos y el espesor del pericarpio, no mostró cambios con la selección; también el Nal-Tel original tuvo un menor % de pedicelo que el C₂₀, porcentajes que junto con los del pericarpio, se redujeron con el ciclo de selección; el color fue otra diferencia entre Nal-Tel y el Com Univ (Chalqueño), el primero es una mezcla de granos blancos y amarillos, en tanto que en el segundo todos sus granos son de color cremoso uniforme. El mejoramiento genético ayuda a obtener materiales con tortillas recién hechas más suaves, es decir que se requiere menor fuerza de ruptura, y esto se observó en el compuesto Nal-Tel (C₂₀). La selección masal visual fue efectiva en modificar positivamente el rendimiento y sus componentes, logrando adaptar a condiciones de clima templado a la raza de maíz Nal-Tel del trópico de México; y también permite modificar las características físicas del grano y calidad de masa y tortilla a partir de un maíz original (Criollo), para obtener maíces mejorados de mayor rendimiento y que cumplan con las determinaciones de calidad de la norma comercial destinado al proceso de nixtamalización.

Palabra clave: *Zea mays* L., Adaptacion, maíz exótico, selección, características físicas de grano, masa y tortilla.

GENERAL SUMMARY

YIELD, GRAIN QUALITY AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN NAL-TEL MAIZE ADAPTED TO HIGH VALLEYS

JUAN MARIEL ARCOS MENDEZ, M. C.

COLEGIO POSTGRADUADOS, 2014

In the High Valleys of Mexico, obtaining improved varieties and hybrids of maize (*Zea mays* L.) has been limited to the use of varieties of the local races Chalqueño and Conico mainly. The introduction and subsequent adaptation of exotic germplasm is a valuable option to broaden the genetic variability in maize breeding programs. The aim of this study was to evaluate the agronomic performance and compare the physical properties of grain and quality of dough-tortilla of Nal-Tel maize adapted by mass selection to High Valleys. Three exotic maize genotypes of Nal-Tel plus one local genotype of Chalqueño: the original variety of Collection Yucatan-7 Nal-Tel (C0), the compounds of cycles twelve (C12) and twenty (C20) of mass selection of Yucatan-7, and the Universal Composite SM12 PB (CU SM12 PB C9) of Chalqueño, used as a local check were evaluated in the cycle Spring-Summer 2013 on the fields of the Colegio de Postgraduados and the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock, both located in the municipality of Texcoco, State of Mexico, under a randomized complete block design with three replications. The experimental plot had 26 hills of two plants each every 50 cm in two rows of 6 m in length and 0.80 m apart. With the information obtained in the two locations, an analysis of variance was performed by combining the two environments. The original variety (C0) and their selection composites (C12 and C20) and the local variety (Chalqueño) were included in this analysis. The studied traits included the yield of the materials and some agronomic traits, plus physical characteristics of grain and quality of masa and tortilla. Results indicated that composite C20 yielded 3.9 t ha⁻¹ and it was significantly higher than the original variety (2.2 t ha⁻¹) but did not surpass the yield of the local check. Also, C20 had plants of low height and short growing season. Yield components traits such as length and ear diameter, number of rows per ear and kernels per row had significant increases in C20, while plant height, total number of leaves, and the size and number of branches of the tassel had reductions. These results provide evidence of increases in yield and occurrence of important morphological adaptive changes in the population Yucatan-7 by effects of selection for adaptation. Moreover, results of the physical characteristics of the grain, hectolitre weight and floating rate showed a significant increase in gaining grain hardness in C20 cycle. Grain size, which was inferred from the PCG and pericarp thickness, showed no changes by effect of selection; Nal-Tel Original also had a

minor percentage of pedicel than C20, percentage that along with that one of the pericarp were reduced with the cycles of selection; the grain color was another difference between Nal-Tel and Com Univ (Chalqueño), the first one is a mixture of white and yellow grains, while in the second one all grains are uniformly creamy in color. Selection in Nal-Tel improves the quality of tortillas, as the materials obtained freshly made were softer, and lower breaking force was required to tear them apart. This result was observed in the tortillas made with composite C20. It can be concluded that visual mass selection was effective to increase yield and its components in Nal-Tel maize. Mass selection was also effective to adapt Nal-Tel to temperate climate conditions and to modify the physical characteristics of the grain and quality of dough and tortillas from an original corn (landrace). This result helps to obtain improved adapted maize with higher yields that meets quality determinations of commercial standards to use it in processing for flour, dough and tortilla production.

Key words: *Zea mays*, adaptation, exotic maize, selection, physical characteristics of grain, mass, and tortilla.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

México es considerado como centro de origen, de domesticación y de diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.), pues se han reportado 59 razas y cientos de subrazas distribuidas en todo el territorio nacional (Kato *et al.*, 2009). Es uno de los cultivos más importantes de México por su volumen de producción y superficie cultivada. Cada año se produce alrededor de 22.6 millones de toneladas en una superficie de 7.1 millones de hectáreas con un rendimiento 3.19 t ha⁻¹; 95 % de esta producción es de grano blanco (SIAP, 2014).

La diversidad genética del maíz que se conocen en la actualidad son productos de su evolución bajo domesticación en la gran variedad de condiciones ambientales contrastante que presenta la geografía mexicana; y de la selección humana, lo cual alcanzó crear y mantener esta riqueza genética mediante sus conocimientos y habilidades (Cervantes y Castillo, 1985; Márquez, 2008). Por otra parte, la intervención del hombre también contribuyeron la diversidad de climas y edáficas en los que se cultiva el maíz, el intercambio de la semilla, la dimensión de usos, y el sistema de producción cruzada (Bellon *et al.*, 2009; Boege, 2009; Sánchez, 2011).

En la actualidad los maíces nativos como polos fitogenéticos de biodiversidad se ven amenazados por varios factores entre las que destacan los bióticos, abióticos, socioeconómicos, la urbanización acelerada, la erosión de hábitat, y el cambio climático (Vidal *et al.*, 2010; Prasanna, 2012). Las alternativas para reducir lo anterior es la ampliación de la base genética a través de metodologías eficientes para incorporar alelos favorables que enriquezcan la expresión fenotípica de las variedades locales; esto se ha convertido en un objetivo primordial de los programas de mejoramiento genético, la variación genética de las poblaciones depende el éxito en la obtención de variedades de alto rendimiento, adaptables a diversas condiciones agroecológicas (Prasanna, 2012).

A pesar de la amplia variabilidad genética en el germoplasma mexicano de maíz, su utilización ha sido limitada a un reducido número de variedades localmente adaptadas dentro de las razas endémicas de cada región agrícola, debido quizá al rendimiento bajo que algunas variedades presentan y a la alta inversión en tiempo y recursos que implica mejorarlas. Sin embargo, Castillo (1994), menciona que su aprovechamiento se ha practicado en proporciones limitada por la falta de evaluación exhaustiva de las colecciones existentes en los bancos de plasma germinal. Debido a la amplia variación racial, únicamente se han derivado materiales

mejorados de las razas Tuxpeño en el trópico húmedo, de Celaya y Cónico Norteño en el bajío, y de Chalqueño y Cónico en los Valles Altos (Castillo, 1993; 1994). Esto indica que el aprovechamiento de la variación genética en la obtención de variedades mejoradas e híbridos de alta productividad ha ocurrido especialmente en germoplasma local, por lo tanto, es necesario buscar otras alternativas para ampliar la variabilidad genética en una zona determinada en los programas de mejoramiento genético del maíz, tales como la introducción y adaptación de germoplasma exótico (Goodman, 1985).

En México, los trabajos de cruza interracial de Barrientos (1962), Castro (1964) y Molina (1964) fueron el inicio de la introducción de germoplasma exótico a germoplasma local, sin embargo no se ha dado continuidad al aprovechamiento de la alta heterosis mostrada en estas cruza (Castillo, 1994).

Hallauer y Miranda (1988) definen al material exótico como germoplasma sin selección para adaptación que no tiene un uso inmediato, definición muy parecida a la de Goodman (1985). Holland (2004) señala que dentro del germoplasma exótico se incluyen variedades no adaptadas a un ambiente dado, y las considera un recurso importante para el mejoramiento de los cultivos, debido a que poseen genes que protegen al cultivo contra estreses abióticos y bióticos, y que puedan tener alelos únicos para incrementar la productividad y que no se encuentran en el germoplasma local.

Además, su aprovechamiento del material exótico de maíz en los programas de mejoramiento son lo siguiente: 1) utilización de la F_1 de cruza interracial; 2) uso de material genético que contiene germoplasma exótico en dosis superiores al 25%; y 3) combinaciones híbridas entre material local y germoplasma exótico previamente adaptado (Hallauer, 1996). Por parte ha sido destacado por diferentes autores (Wellhausen, 1965; Goodman, 1965, Lonquist, 1974; Brown, 1975; Hallauer, 1978; Albrecht y Dudley, 1987); mencionaron que una de las principales aportaciones del germoplasma exótico es el incremento de la variabilidad genética, logrando con ello lo siguiente: 1) incrementar la diversidad genética para evitar riesgos biológicos y ambientales impredecibles; 2) disponer de una fuente de genes para caracteres específicos, tales como resistencia a estrés, enfermedades y plagas; y 3) disponer de una fuente de alelos favorables para rendimiento e incremento de la heterosis.

Existen desventajas para la utilización inmediata del germoplasma exótico; como son la desadaptación, bajo rendimiento en relación con el germoplasma local (Bridges y Gardner, 1987), alta susceptibilidad a enfermedades, alteración del ciclo vegetativo y arqueotipo de plantas indeseable (Cervantes y Castillo, 1985). Por tal razón, el material introducido no es recomendable el uso en forma *per se*, una de las alternativas para el uso del material exótico con problemas agronómicos y de adaptación, es someterlo en una suave presión de selección a largo plazo; una vez resuelto el problema de adaptación del material exótico, puede combinarse con el material local sin que su complejo genético esté en desventaja con el de éste o bien se puede continuar mejorando utilizarse directamente (Lonnquist, 1974; Compton *et al.*, 1979; Ponce *et al.*, 2002). Respecto, la selección masal es un método antiguo y simple utilizado en maíz, volvió a ser de gran interés, después que Gardner (1961), sugirió y desarrolló la metodología de selección masal estratificada como un procedimiento simple para controlar el efecto ambiental en el rendimiento individual de la población. Molina (1983), viendo que existen limitaciones de tipo práctico en la aplicación de Gardner 1961, propuso y desarrolló la selección masal visual estratificada. Existen trabajos utilizando esta metodología como son el método para mejorar el rendimiento y sus componentes (Pandey y Gardner, 1992), para modificar caracteres agronómicos de importancia económica (Hallauer, 1985), y para adaptar germoplasmas exóticos a áreas específicas (Hallauer y Sears, 1972; Genter, 1976; San Vicente y Hallauer, 1993; Ponce *et al.*, 2002; Perez *et al.*, 2000, 2002, 2007; Gómez, 2014).

Por otra parte existen pocos trabajos donde el fitomejoramiento considere los factores de calidad de las variedades nativas para manifestar la potencialidad de las diferentes razas de maíz y poder brindar valor agregado a la riqueza genética que poseen los agricultores. Hasta hace algunos años el objetivo principal de mejoramiento genético era el rendimiento de grano; sin embargo, la apertura comercial, la competencia de productores nacionales con productores extranjeros tecnificados y las necesidades propias de las industrias nacionales han favorecido que los programas de mejoramiento incluyan aspectos de calidad industrial. En este contexto Antuna *et al.*, (2008) evaluaron el potencial que tienen las razas nativas de maíz para usos potenciales. Actualmente, se ha aumentado la demanda del maíz destinado al proceso de nixtamalización industrial, lo que ha promovido el estudio de las características de calidad del grano tanto en los programas de mejoramiento genético como en el proceso industrial de fabricación de productos de maíz nixtamalizado.

El maíz Nal-Tel es considerado como una de las razas antiguas de México y se caracteriza por sus mazorcas pequeñas de granos cristalinos y semidentados en los que predominan los colores amarillo y blanco; es una de las razas más precoces por su maduración (62 días en promedio a exposición de estigmas), lo que le permite evadir la sequía intraestival (Wellhausen *et al.*, 1951). Este tipo de maíz rinde poco, de 0.8 a 0.9 t ha⁻¹ y es cultivado en el trópico seco y sub-húmedo de la península de Yucatán, pero también se encuentra en zonas de condiciones similares en Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, sus formas típicas se estiman escasamente cultivadas en la actualidad y están poco representadas en los bancos de germoplasma (CONABIO, 2010).

En la raza Nal-Tel se encuentra una tendencia decreciente y restringida geográficamente debido a la entrada de maíces mejorados, ocasionando un decremento en la siembra, los cuales causan signos de erosión genética y reducción en su conservación *in situ* para la zona maicera de Yucatán (Arias *et al.*, 2007); y es considerada en peligro extinción, ya que presentan de forma preliminar homogenización en muchos de sus caracteres morfológicos, lo que es un indicativo de reducción en la diversidad genética, esto debe ser confirmado mediante la evaluación sistematizadas en campo y estudios moleculares de ADN (Mijangos, 2010).

En cuanto a la introducción o adaptación de maíz Nal-Tel en Valles Altos Centrales de México, los trabajos reportados en la literatura son muy escasos (Pérez *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2007), por lo que los resultados de este trabajo pueden considerarse como una contribución al estudio del grado de adaptación del maíz Nal-Tel a Valles Altos, medido éste por su rendimiento, y al estudio de los cambios morfológicos adaptativos generados en planta y mazorca, por efecto de la selección que se le practicó durante varios ciclos para adaptación (Pérez *et al.*, 2000).

El presente trabajo tiene como objetivos: a) Estudiar el comportamiento agronómico y los cambios morfológicos que ocurrieron en una variedad de maíz de la raza Nal-Tel del trópico húmedo de México sometida a selección masal visual en Valles Altos de México; b) Comparar las propiedades físicas de grano y la calidad de masa y tortillas, de los compuestos de selección Nal-Tel (C₀, C₁₂ y C₂₀) y compuesto universal (Chalqueño) adaptados en Valles Altos de México.

Se planteó la hipótesis de que el maíz Nal-Tel se ha adaptado favorablemente a las condiciones de clima templado de los Valles Altos de México por efecto de la selección, incrementándose su rendimiento y manteniéndose las características vegetativas y de mazorca de la variedad original; y también que las propiedades físicas de grano y la calidad de masa y tortillas de compuestos de maíz Nal-Tel originales y seleccionados no cambiaron con el proceso de selección que se les practicó para su adaptación a las condiciones de clima templado de Valles Altos.

1.1. LITERATURA CITADA

- Albrecht B, J W Dudley (1987)** Evaluation of four maize population containing different proportions of exotic germplasm. *Crop Science*. 27:480-486.
- Antuna G O, S A Rodríguez H, G Arámbula V, A Palomo G, E Gutiérrez A, A Espinoza B, E F Navarro O, E Andrio E (2008)** Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(Especial 3):23-27.
- Arias L M, L Latournerie M, S Montiel, E Sauri (2007)** Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Rev. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*. 23 (1): 69-74.
- Barrientos P F (1962)** Aprovechamiento de cruzas interraciales en el programa de mejoramiento del maíz en la Mesa Central. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Castro G M (1964)** Rendimiento y heterosis con cruzas interraciales de maíz en México. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bellon M R (2009)** Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. En: *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México. 355-382 pp.
- Boege K (2009)** Centro de origen, pueblos indígenas y diversidad del maíz. *Ciencias* 92-93: 18-28.
- Bridges W C and C O Gardner (1987)** Foundation population for adapted by exotic crosses. *Crop Science*. 27: 501-506.
- Brown W L (1975)** A broader germplasm base in corn and sorghum. *Proc. Annu. Corn and Sorghum Res. Conf.* 30: 81-89.
- Castillo G F (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos. *In: Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica*. México. Núm. Especial 69-70 pp.
- Castillo G F (1994)** Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. *In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética*. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N. L. México 78-98 pp.
- Cervantes S. T, F. Castillo G (1985)** Comportamiento de cruzas F2 interraciales de maíz de México evaluadas en ambientes contrastados. *Revista Chapingo*. 47-49:52-58.
- Compton W A, R F Mumm, B Mathema (1979)** Progress from adaptative mass selection in incompletly adapted maize population. *Crop Scien*. 19:531-533.
- CONABIO (2010)** Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F.

- Gardner C O (1961)** An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Science* 1:241-245.
- Genter C F (1976)** Mass selection in a composite of Mexican Races of Maize. *Crop Sci.* 16:556-558.
- Goodman M M (1965)** Estimates of genetics variance in adapted and exotic populations of maize. *Crop Science.* 5: 87-90.
- Goodman M M (1985)** Exotic maize germplasm: Status prospects and remedies. *Iowa State J. Res.* 59(4): 497-527.
- Gómez E A L (2014)** Adaptación a clima templado de poblaciones exóticas de maíz mediante selección masal visual. Tesis de M. C. Colegio de postgraduados Campus Montecillo, Estado de México.
- Hallauer A R, J H Sears (1972)** Integrating exotic germplasm into Corn Belt maize breeding programs. *Crop Sci.* 12:203-206.
- Hallauer A R (1978)** Potential of germplasm for maize improvement. In: Walden, D. B (ed). *Maize breeding and genetics.* John Wiley and Sons. New York. 229-247 pp.
- Hallauer A R (1985)** Compendium of recurrent selection methods and their application. *Crit. Rev. Plant Sci.* 3:1-33.
- Hallauer A R, J B Miranda F (1988)** *Quantitative Genetics in Maize Breeding.* 2^{da}. Ed. Iowa State Univ. Press/Ames. 469 p.
- Hallauer A R (1996)** Potential of exotic germplasm in maize population and breeding germplasm. In: *Advances Maize Improvement Course.* CIMMYT. El Batán, México. 1-3 pp.
- Holland J B (2004)** Breeding: Incorporation of exotic germplasm. In: *Encyclopedia of Plant and Crop Science.* Marcel Dekker Eds. 222-224 pp.
- 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 Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pp.
- Lonnquist J H (1974)** Consideration and experiences with recombination of exotic and corn belt maize germplasm. In: *Proceeding 29th Annual Corn and Sorghum industry Research Conference.* Chicago American Seed Assotiation. Washintong D.C. 102-117 pp.
- Márquez S F (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo.* 5 (2): 151-166.
- Mijangos C J O (2010)** Colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la península de Yucatán. CONABIO. 39 p.

- Molina G J D (1964)** Comportamiento de razas de maíz y sus cruzas con Tuxpeño, Vandeno y Stiff Stalk Shnthetic, en Cotaxtla, Veracruz. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Molina G J D (1983)** Selección masal visual estratificado en maíz. Folleto Técnico. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 36 p.
- Pandey S, C O Gardner (1992)** Recurrent selection for population, variet and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48:1-87.
- Ponce A, D D, J D Molina G, J A Mejía C, T Cervantes S, J J López R (2002)** Comportamiento de variedades de maíz de razas exóticas originales y adaptadas y de sus cruzas con variedades de razas locales. *Nota Científica. XIX Congreso Nacional de Fitotecnia* 133 p.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (2014)** Cierre de la Producción Agrícola por Estado. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Septiembre 2014).
- Sanchez G J J (2011)** Diversidad de maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito 2.
- San Vicente F M, A R Hallauer (1993)** Mass selection for adaptation in antigua maize (*Zea mays* L.) Composite. *Jour. Iowa Acad. Sci.* 100:9-12.
- Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G (2000)** Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G (2002)** Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25 (4): 435 – 441.
- Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G, P García M, D Reyes L (2007)** Selección masal para la adaptación a clima templado de razas tropicales y sub-tropicales de maíz de México. *Bioagro* 19(3): 133-141.
- Prasanna B M (2012)** Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal Biosciences.* 37: 843-855.
- Vidal M V A, F Herrera C, B Coutiño E, J J Sanchez G, J Ron P, A Ortega C, M de J Guerrero H (2010)** Identificación y localización de una nueva especie de *Tripsacum* spp. En Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 33(4): 27-30.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernandez X, P C Mangelsdorf (1951)** Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. In: *Xolocatzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Tomo II, Revista de Geografía Agrícola de México, edición1987:* 609-732 p.
- Wellhausen E J (1965)** Exotic germplasm for improvement of corn belt maize. In: *Proc 20th Ann. Hybrid Corn Ind. Res. Conf.* 31-50 pp.

II. RENDIMIENTO DE GRANO Y CAMBIOS MORFOLÓGICOS DE MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO A VALLES ALTOS DE MÉXICO

GRAIN YIELD AND MORPHOLOGIC CHANGES IN NAL-TEL MAIZE ADAPTED TO THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

2.1. RESUMEN

La introducción y adaptación de maíz (*Zea mays* L.) tropical exótico a regiones de clima templado como los Valles Altos de México constituye una estrategia para incorporar nuevos y útiles alelos para el mejoramiento de los materiales locales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de maíz Nal-Tel adaptado por selección masal a Valles Altos. Tres genotipos exóticos de maíz Nal-Tel más uno local de Chalqueño: la variedad original de Nal-Tel Colección Yucatán-7 (C₀), los compuestos de ciclo doce (C₁₂) y veinte (C₂₀) de selección masal de Yucatán-7, y el Compuesto Universal SM12 PB (CU SM12 PB C₉) de Chalqueño, usado como testigo local fueron evaluados en el ciclo Primavera-Verano de 2013 en terrenos del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental tuvo 26 matas de dos plantas cada 50 cm en dos surcos de 6 m de largo separados a 0.80 m. Se evaluó el rendimiento de los materiales y otras características agronómicas. Los resultados indican que el compuesto C₂₀ rindió 3.0 t ha⁻¹, superando significativamente a la variedad original (2.2 t ha⁻¹) pero no al testigo, y sus plantas fueron de menor altura y ciclo vegetativo corto. Las variables componentes del rendimiento longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y de granos por hilera tuvieron incrementos significativos en el C₂₀, mientras que, altura de planta, número total de hojas, y el tamaño y número de ramas de la espiga tuvieron reducciones. Lo anterior evidencia incrementos en el rendimiento y la ocurrencia de cambios adaptativos morfológicos importantes en la población adaptada por efecto de la selección para adaptación.

Palabras clave: *Zea mays* L., adaptación, clima templado, maíz exótico, maíz tropical, selección.

2.2. SUMMARY

The introduction and adaptation of exotic tropical maize (*Zea mays* L.) to temperate regions like the Highlands of Mexico is a strategy for incorporating new and useful alleles for the improvement of local materials. The aim of this study was to evaluate the agronomic performance of maize Nal-Tel adapted by mass selection to high valleys. Three exotic maize genotypes of Nal-Tel and one of the local maize Chalqueño: the original variety of Collection Yucatan-7 Nal-Tel (C₀), the compounds of cycle twelve (C₁₂) and twenty (C₂₀) of mass selection of Yucatan-7, and the Universal Compound PB SM12 (SM12 CU PB C₉) of Chalqueño, used as the local check were evaluated in the spring-summer of 2013 on the grounds of the Colegio de Postgraduados and the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), both located in the municipality of Texcoco, Estado de Mexico, under a randomized complete block design with three replications. The experimental plot had 26 hills of two plants every 50 cm in two rows of 6 m length and 0.80 m apart. The yield of the materials and other agronomic characteristics were measured. The results indicate that the compound C₂₀ yielded 3.0 t ha⁻¹, significantly outperforming the original variety C₀ (2.2 t ha⁻¹) but not the check, and its plants were smaller and earlier. The yield components length and ear diameter, number of rows per ear and kernels per row had significant increases in C₂₀, while plant height, total number of leaves, and the size and number of branches of the tassel had reductions. This is evidence of increases in grain yield and the occurrence of major adaptive changes in the adapted population due to the selection effects for adaptation.

Key words: *Zea mays*, adaptation, exotic maize, tropical maize, selection, temperate climate.

2.3. INTRODUCCIÓN

México es considerado como centro de origen, de domesticación y de diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.), pues se han reportado 59 razas y cientos de subrazas distribuidas en todo el territorio nacional (Kato *et al.*, 2009). El maíz es el cultivo más importante de México por su volumen de producción y superficie cultivada. Cada año se producen alrededor de 22.6 millones de toneladas en una superficie de 7.1 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio nacional de 3.19 t ha⁻¹ (SIAP, 2013).

La enorme diversidad genética presente en el cultivo de maíz en México ofrece una gama de oportunidades para su mejora genética, ya que la existencia de alelos favorables en tan diverso germoplasma posibilita, mediante selección, la generación de genotipos con mayor rendimiento, tolerancia y adaptación a estrés abiótico, resistencia a plagas y enfermedades e inclusive de mejor calidad nutricional (Prasanna, 2012).

A pesar de la amplia variabilidad genética en el germoplasma mexicano de maíz, su utilización ha sido limitada a un reducido número de variedades localmente adaptadas dentro de las razas endémicas de cada región agrícola, debido quizá al rendimiento bajo que algunas variedades presentan y a la alta inversión en tiempo y recursos que implica mejorarlas. Sin embargo, Castillo (1994), menciona que su aprovechamiento se ha practicado en proporciones limitada por la falta de evaluación exhaustiva de las colecciones existentes en los bancos de plasma germinal.

En los Valles Altos Centrales de México, el mejoramiento genético del maíz se realiza principalmente a partir de las razas locales Chalqueño y Cónico, con la introducción de un poco de material exótico de las razas Celaya y Tuxpeño (Castillo, 1994). Esto indica que el aprovechamiento de la variación genética en la obtención de variedades mejoradas e híbridos de alta productividad ha ocurrido especialmente con germoplasma local; por lo tanto, es necesario buscar otras alternativas para ampliar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento genético del maíz de una zona determinada, y una alternativa es la introducción y adaptación de germoplasma exótico (Goodman, 1985).

El germoplasma exótico es todo genotipo disponible en otras regiones que se introduce a una zona determinada (De la Cruz *et al.*, 2003), y la adaptación de materiales exóticos a una nueva región es importante para garantizar futuros avances genéticos en el maíz de la región.

La introducción de maíz exótico a los programas de mejoramiento aporta genes de resistencia a plagas y enfermedades, así mismo para incrementar el rendimiento y para generar heterosis en cruzamientos de maíz local con exótico adaptado.

La introducción de material genético en otras regiones responde principalmente a la necesidad de generar variedades con características muy específicas, las cuales no se encuentran en el germoplasma existente en un área en particular, por lo que, mediante la adaptación de maíz exótico es posible transferir y aprovechar estos nuevos alelos en las variedades, líneas e híbridos generados (Goodman, 1985; Albrecht y Dudley, 1987).

Debido a que el rendimiento es una medida de la capacidad reproductiva (Hallauer *et al.*, 2010), se infiere que el grado de adaptación del maíz exótico está relacionado con su capacidad de producir una descendencia robusta en la zona donde éste se introdujo. Así, desde el punto de vista agronómico, Lin y Binns (1994) indican que la adaptabilidad es la capacidad de las plantas para producir un buen rendimiento en una región diferente a la de su lugar de origen y a la cual se han introducido; así, un cultivar se considera bien adaptado o con cierto grado de adaptación a una región si su rendimiento es alto en relación con el resto de los cultivares locales o desadaptados.

El maíz Nal-Tel es considerado como una de las razas antiguas de México y se caracteriza por sus mazorcas pequeñas de granos cristalinos y semidentados en los que predominan los colores amarillo y blanco; es una de las razas más precoces por su maduración (62 días en promedio a exposición de estigmas), lo que le permite evadir la sequía intraestival (Wellhausen *et al.*, 1951). Este tipo de maíz rinde poco, de 0.8 a 0.9 t ha⁻¹ y es cultivado en el trópico seco y sub-húmedo de la península de Yucatán, pero también se encuentra en zonas de condiciones similares en Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, sus formas típicas se estiman escasamente cultivadas en la actualidad y están poco representadas en los bancos de germoplasma (CONABIO, 2010).

En cuanto a la introducción o adaptación de maíz Nal-Tel en Valles Altos Centrales de México, los trabajos reportados en la literatura son muy escasos (Pérez *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2007), por lo que los resultados de este trabajo pueden considerarse como una contribución al estudio del grado de adaptación del maíz Nal-Tel a Valles Altos, medido éste por su rendimiento, y al estudio de los cambios morfológicos adaptativos generados en planta

y mazorca, por efecto de la selección que se le practicó durante varios ciclos para adaptación (Pérez *et al.*, 2000).

El objetivo del presente estudio fue estudiar el comportamiento agronómico y los cambios morfológicos que ocurrieron en una variedad de maíz de la raza Nal-Tel del trópico húmedo de México sometida a selección masal visual en Valles Altos de México. Se planteó la hipótesis de que el maíz Nal-Tel se ha adaptado favorablemente a las condiciones de clima templado de los Valles Altos de México por efecto de la selección, incrementándose su rendimiento y manteniéndose las características vegetativas y de mazorca de la variedad original.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En este trabajo se evaluaron tres genotipos exóticos de maíz Nal-Tel más uno local Chalqueño: la variedad original de Nal-Tel colección Yucatán-7 del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (C_0), los compuestos de ciclos doce (C_{12}) y veinte (C_{20}) de selección masal de la misma población Yucatán-7, y el compuesto de ciclo nueve de selección masal para planta baja del Compuesto Universal SM12 PB (CU SM12 PB C_9), usado como testigo local.

La selección para adaptación en Valles Altos del maíz Nal-Tel se inició en el ciclo de Primavera-Verano de 1989 en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México, donde prevalecen condiciones de clima templado. Se aplicó un programa de selección masal visual usando como criterios de selección el buen aspecto de planta y mazorca. De esta manera se obtuvieron 20 ciclos de selección masal en Montecillo bajo condiciones de riego.

La selección se realizó en una parcela de 15 surcos de 10 m de longitud y separación de 80 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, con un total de 510 plantas por parcela. En cada parcela se hicieron cruzamientos fraternales entre las plantas de mejor aspecto. Al momento de la cosecha se seleccionaron las mazorcas más grandes y sanas, desechando las podridas y fuera de tipo, seleccionando un total de 200 mazorcas (39.2%). Con las mazorcas seleccionadas se formó un compuesto balanceado con igual número de semillas de cada mazorca para la siembra y recombinación siguientes. Este procedimiento se repitió varios años hasta obtener 20 ciclos de selección masal visual y nueve ciclos en Chalqueño.

Sitios experimentales

La evaluación de los materiales genéticos (C_0 , C_{12} , C_{20} , y CU SM12 PB C_9) se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2013, en dos sitios experimentales; uno en el Campo Agrícola Experimental del Colegio Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N y 98° 53' O), a una altitud de 2250 msnm, con clima C (wo)(w)b(i)g, templado húmedo con precipitación media anual de 645 mm en el verano y una temperatura media anual de 15 °C que varía entre 12 y 18 °C. El suelo tiene textura migajón arcillo limoso, de origen aluvial y lacustre, salitroso, moderadamente drenado, y clasificado como

Fluvaquentic Endoaquoll (Gutiérrez y Ortiz, 1999). El otro sitio fue el Campo Agrícola Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlínchan, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 51' O), a una altura de 2240 msnm con clima similar al de Montecillo. En este sitio predominan los suelos cambrisoles de textura migajón arcillo-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica y con pH ácido, altamente inundables.

Diseño experimental

El diseño experimental usado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones en las dos localidades anteriormente descritas. La unidad experimental estuvo conformada por una parcela de dos surcos de 6 m de largo separados a 0.80 m. A la siembra se depositaron dos semillas cada 0.50 m. Finalmente, la parcela útil quedó constituida por dos surcos de 26 plantas cada uno, dando una densidad de población de 54, 000 plantas por hectárea.

Manejo agronómico experimental

La siembra de los materiales en Montecillo se realizó el día 21 de Mayo de 2013. Se fertilizó con 120 kg N, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹, aplicando todo el P₂O₅ y la mitad del N al momento de la siembra, y el resto del N en la segunda escarda (30 días después de la siembra, dds), dándose riegos de auxilio cuando era necesario. La maleza se controló con el herbicida Gesaprim Calibre 90 GDA®, aplicado 15 dds en una dosis de 3 L ha⁻¹; antes de la floración se aplicó Gramoxone® a una dosis de 2 L ha⁻¹.

En la localidad INIFAP la siembra de los materiales se hizo el día 28 de Mayo. La fertilización se realizó con la fórmula 140-40-00 kg ha⁻¹, aplicando todo el P₂O₅ y la mitad del N al momento de la siembra, y el resto del N en la segunda escarda, a los 30 dds. La maleza se controló con el herbicida Primagram® Gold, aplicado 15 dds en una dosis de 3 L ha⁻¹ y antes de la floración se controló con Marvel®, a una dosis de 2 L ha⁻¹.

Variables evaluadas

Las variables estudiadas fueron: rendimiento (REND), longitud de mazorca (LM, cm), diámetro de mazorca (DM, cm), número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por hilera (NGH), peso de 200 granos (P200G), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP, cm), altura de mazorca (AM, cm), diámetro de tallo (DT, cm), número de hojas arriba de la mazorca (NHAM), número de hojas debajo de

la mazorca (NHDM), total de hojas por planta (THP), longitud del pedúnculo de la espiga (LP, cm), longitud del tramo ramificado de la espiga (LTR, cm), longitud de la rama central de la espiga (LRC, cm), longitud total de la espiga (LT, cm) y número de ramificaciones primarias de la espiga (NRP). Con excepción de REND, DFM y DFF, los caracteres se midieron en una muestra aleatoria de 10 plantas ó 10 mazorcas en cada parcela y se registró el promedio por planta o por mazorca. El carácter DFM se registró como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que la mitad de las plantas en cada parcela se encontraban en anthesis. El DFF se registró como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que la mitad de las plantas en cada parcela presentan estigmas visibles. El REND se evaluó como lo describe Vázquez *et al.* (2012), expresado en $t\ ha^{-1}$.

Análisis estadísticos

El análisis de varianza combinado de las dos localidades se realizó en dos formas: 1) con base en el total de materiales genéticos: compuestos de Nal-Tel más el testigo (Chalqueño), y 2) Considerando solamente a la variedad original de Nal-Tel más sus compuestos de selección doce y veinte. La prueba de F para cada factor de variación, incluyendo las interacciones, se realizó utilizando el cuadrado medio del error del modelo general, ya que éste se consideró como de efectos fijos. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico SAS 9.1 (SAS, 2003).

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Varianza. El análisis de varianza combinado de las dos localidades (Cuadro 1) detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre Localidades para las variables DFF, AP, AM, THP y LT, en tanto que para DFM, NHAM, NHDM, DT, LTR, LRC, NRP y NGH hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y para las variables LP, REND, LM, DM, y NHM no hubo diferencia alguna. Estos resultados pueden atribuirse a que las condiciones climáticas y edáficas de los dos sitios fueron contrastantes y afectaron de manera diferencial al promedio general de los genotipos para algunas variables, aunque esto no resultó así para el rendimiento.

Por otra parte, se observó significancia ($P \leq 0.01$) entre Genotipos para las variables REND, P200G, DFM, AP, AM, NHDM, THP, LP, LTR, LT, NRP, LM, DM, NHM, NGM, y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para DFF, DT, LRC; para la variable NHAM no hubo significancia. Estos resultados indican que los materiales experimentales tuvieron diferente expresión genotípica y fenotípica, esto debido a sus diferencias genéticas intrínsecas.

La partición del factor Genotipos en compuestos de selección de Nal-Tel y en el contraste Nal-Tel vs Compuesto Universal confirmó la existencia de diferencias significativas entre los compuestos de selección de Nal-Tel en diversas características agronómicas, incluido el rendimiento. Se observó que hubo significancia estadística entre los compuestos de Nal-Tel para la mayoría de las variables, con excepción de NHAM, DT, LP. El contraste Nal-Tel vs Comp. Univ. fue significativo para todas las variables evaluadas, excepto para la variable NHAM. Estos resultados indican que hubo diferencias en el rendimiento y comportamiento agronómico de los compuestos de selección de Nal-Tel, y que igualmente las hubo entre los genotipos de Nal-Tel y el Compuesto Universal, lo cual es atribuible a que los materiales genéticos son genéticamente diferentes entre sí y además tuvieron niveles desiguales de mejoramiento genético y de adaptación.

La interacción genotipo x ambiente (Gen x Loc) solo fue significativa ($P \leq 0.05$) para las variables AP, AM, THP, DT, LP, LRC y LT; el resto de variables no presentó significancia. Esto indica que para rendimiento y sus componentes, junto con otras variables agronómicas, hubo cierta estabilidad a través de los ambientes de prueba. Por otro lado, la interacción significativa de altura de planta y características de la espiga indica que al menos uno de los

genotipos presentó un comportamiento agronómico diferente para esas variables al ser evaluado en ambientes diferentes (Cuadro 1).

Los coeficientes de variación del análisis fueron bajos en general, oscilando entre 1.53 a 9.28 %, lo cual es un indicador de la confiabilidad de la información y de que la desviación estándar de las mediciones en los genotipos resultó menos del 20 % de la media poblacional de la variable en estudio.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento, sus componentes y caracteres agronómicos de maíz Nal-Tel seleccionado para adaptación en Valles Altos de México. Montecillo, Edo. de México.

F.V.	Loc.	Rep.(Loc.)	Genotipo	Nal-Tel	Nal-Tel vs Comp. Univ.	Loc x Gen	E. Exp.	CV (%)
G.L.	1	4	3	2	1	3	12	
REND	0.36*	0.14*	10.77**	4.52**	23.29**	0.021	0.028	4.5
P200G	23.58	9.96	884.36**	26.63*	2599.8**	10.09	17.58	9.28
LM	0.96	0.39	16.44**	2.1*	45.14**	0.33	0.61	6.45
DM	0.015	0.043	1.72**	0.185*	4.8**	0.038	0.035	4.78
NHM	0.0002	0.367	15.26**	8.15*	29.47*	0.19	0.25	3.64
NGM	18.32*	1.75	55.89**	17.73*	132.22**	0.41	2.18	5.71
DFM	30.37*	1.08	34.48**	8.38*	86.68**	3.81	1.52	1.57
DFF	80.66**	2.29	20.27*	15.72*	29.38*	4.55	1.79	1.62
AP	6420.31**	17.82	983.85**	840.23**	1271.08*	179.73*	14.47	2.34
AM	7613.77**	210.57*	1377.85**	1267.44**	1598.66*	273.75*	16.79	4.3
NHAM	1.51*	0.15	0.1	0.033	0.24	0.13	0.13	8.24
NHDM	6.22*	0.78	4.62**	2.16*	9.54*	0.38	0.24	8.36
THP	13.89**	0.48	5.92**	2.43*	12.88**	0.87*	0.2	4.36
DT	0.14*	0.03	0.13*	0.0087	0.39*	0.08*	0.018	5.61
LP	4.6	1.96	46.91**	0.307	140.14**	12.31*	0.98	4.97
LTR	19.91*	0.33	39.43**	34.77**	48.74*	2.43	0.76	7.6
LRC	4.3*	0.758	105.25*	9.21*	297.35**	3.05*	0.49	3.14
LT	21.18**	0.94	196.87**	79.34**	431.93**	10.57*	0.67	1.53
NRP	55.75*	0.6	112.78**	28.67*	281**	0.22	2.8	11.36

* , ** Significativa al 5 y 1 % de probabilidad; G.L.= Grado de Libertad; REND=Rendimiento (t ha⁻¹); P200G=Peso de 200 granos (g); LM= Longitud de mazorca (cm); DM= Diámetro de mazorca (cm); NHM= Número de hileras por mazorca; NGH=Número de granos por hilera; DFM= Días a floración masculina; DFF=Días a floración femenina; AP=Altura de planta (cm); AM=Altura de mazorca (cm); NHAM=Número de hojas arriba de la mazorca; NHDM= Número de hojas debajo de la mazorca; THP=Total de hojas por planta; DT= Diámetro de tallo (cm); LP=longitud del pedúnculo de espiga (cm); LTR=Longitud del tramo ramificada (cm); LRC=Longitud de la rama central (cm); LT=Longitud total (cm); NRP= Número de ramificaciones primarias.

Comparación de Medias. En la comparación de medias se observa que los compuestos de selección de Nal-Tel C₁₂ y C₂₀ tuvieron un incremento significativo en REND y en sus variables componentes LM, DM, NHM y NGM con respecto a la variedad original C₀ durante el proceso de selección; se observa también que se redujo significativamente la expresión promedio en caracteres vegetativos tales como DFM, DFF, AP, AM, NHAM, NHDM, THP, DT, LP, LRC, LTR, LT y NRP (Cuadro 2). Estos resultados demuestran que mediante la selección masal de las plantas y mazorcas de mejor aspecto practicada en los compuestos de ciclos más avanzados de Nal-Tel, éstos lograron incrementar la frecuencia de alelos favorables para rendimiento y adaptación, lo cual también incrementó su capacidad reproductiva (Hallauer *et al.*, 2010) y por lo tanto su grado de adaptación (Lin y Binns, 1994).

En cuanto al rendimiento de la variedad original (Nal-Tel) y de los compuestos de selección C₁₂ y C₂₀, sin incluir al testigo, se observó que los compuestos del ciclo 12 y 20 superaron significativamente en rendimiento a la variedad original (C₀), pues se tuvo un incremento de 78 % en el rendimiento de C₂₀ (3.92 t ha⁻¹) con respecto al de C₀ (2.20 t ha⁻¹), mientras tanto Pérez *et al.* (2002), quienes señalan un incremento de 68 % en rendimiento, una reducción en el ciclo vegetativo, y un incremento en la altura de planta.

Por otro lado, los compuestos de selección avanzados no superaron el rendimiento de la variedad local, ya que el maíz Nal-Tel es proveniente de clima tropical a nivel del mar donde prevalecen condiciones restrictivas como sequía y suelos pobres, es más precoz que el Chalqueño, por lo que rinde menos que éste, y se presume que tiene poca adaptabilidad al clima templado de los Valles altos de México (Pérez *et al.*, 2002). No obstante, el rendimiento del compuesto de ciclo veinte (C₂₀) en esta evaluación resultó muy elevado (3.04 t ha⁻¹) en comparación con los rendimientos promedio registrados en la Península de Yucatán (0.8 a 0.9 t ha⁻¹), lo cual es algo bueno, pues demuestra que mediante mejoramiento genético y buenas prácticas de cultivo es posible incrementar el rendimiento de grano y adaptar el maíz Nal-Tel a condiciones tan diferentes a las de su lugar de origen, como lo son las de los Valles Altos.

El incremento significativo en rendimiento por efecto de la selección para adaptación, de acuerdo con Pérez *et al.*, (2000) se debió fundamentalmente al aumento de sus componentes LM, DM, NHM y NGH, debido a que en la selección se tomaron mazorcas de buen aspecto (sanas, mayor tamaño, uniformes, con caracteres típicos de la raza), proveniente de plantas precoces y vigorosas.

También hubo cambios significativos en la precocidad de los compuestos. El C₂₀ fue tres días más precoz que el C₀, y con la adaptación también se produjeron cambios significativos en AP y AM, pues el C₂₀ fue 24 y 29 cm menor que el C₀, respectivamente. De manera similar, Pérez *et al.* (2007) observaron una reducción de 5 días del ciclo avanzado con respecto al C₀, pero su altura de planta aumentó 26 cm; asimismo, concluyen que las plantas más precoces fueron las mejor adaptadas en el proceso de selección.

De manera concomitante al incremento del rendimiento y del grado de adaptación del maíz Nal-Tel, hubo algunos cambios morfológicos adaptativos interesantes en los compuestos avanzados de selección, tales como reducciones en altura de planta, número total de hojas, y en el tamaño y el número de ramas de la espiga, cambios que hacen suponer que ocurrió un ajuste genotípico y fenotípico de las plantas de la variedad original durante su proceso de adaptación a las condiciones de clima y de altitud de los Valles Altos (Pérez *et al.*, 2007). Al respecto, Pandey y Gardner (1992) señalan que estos cambios en las estructuras vegetativas y reproductivas de la planta se deben a que la selección natural y artificial actuó hacia la adaptación de plantas que son típicas a los maíces templados, donde éstas tienen espiga pequeña y poco ramificada. Por su parte, Fisher *et al.* (1987) indican que maíces tropicales redujeron el número de ramas de la espiga y el área foliar arriba de la mazorca como resultado de un incremento en el rendimiento de grano.

Los resultados de este trabajo indican que la selección masal visual es un método efectivo para adaptar variedades exóticas tropicales a clima templado, donde los indicadores de la adaptación son: aumento progresivo del rendimiento, mayor sanidad de planta, y reducción del ciclo vegetativo, lo que coincide con Pérez *et al.*, (2002), quienes consideran que la selección masal incrementa la frecuencia de alelos favorables en loci que favorecen el rendimiento.

Cuadro 2. Comparación de medias de 19 variables de compuestos de maíz Nal-Tel y Chalqueño evaluados en Santa Lucía de Prías y Montecillo, Edo, Mex. 2013.

Variables	Genotipos				Promedio Gral.	DMS
	Nal_Tel (C ₀)	Nal_Tel (C ₁₂)	Nal_Tel (C ₂₀)	Comp. Univ.		
REND	2.20d	3.27c	3.92b	5.40a	3.69	0.28
P200G	40.45b	36.71b	40.27b	63.18	45.15	7.18
LM	10.6b	11.7b	11.6b	14.5a	12.14	1.34
DM	3.4c	3.6cb	3.8b	4.68a	3.9	0.32
NHM	12c	13.5b	14.2b	15.8a	13.91	0.87
NGH	22.5c	25.6b	25.3b	29.9a	25.86	2.53
DFM	80.8a	79.3ab	78.5b	75.1c	78.45	2.11
DFF	84.8a	82.6ab	81.6b	80.5b	82.41	2.29
AP	178.8a	165.7b	155.2c	149.7c	162.4	6.52
AM	115.6a	97b	86.9c	81c	95.19	7.02
NHAM	4.4a	4.5a	4.4a	4.2a	4.44	0.62
NHDM	6.8a	6.4ab	5.6bc	4.8c	5.92	0.84
THP	11.3a	11a	10.07b	9.1c	10.36	0.77
DT	2.3b	2.3b	2.2b	2.62a	2.4	0.23
LP	18.4b	18.4b	18.8b	24.15a	19.96	1.70
LTR	15a	10.6b	11.1b	9c	11.48	1.49
LRC	21.3b	20.5b	18.9c	28.4a	22.3	1.20
LT	54.8b	49.5c	47.8d	60.5a	53.18	1.40
NRP	19.1a	16b	14.9b	8.8c	14.74	2.87

REND=Rendimiento (t ha⁻¹); P200G=Peso de 200 granos (g); LM= Longitud de mazorca (cm); DM= Diámetro de mazorca (cm); NHM= Número de hileras por mazorca; NGH=Número de granos por hilera; DFM= Días a floración masculina; DFF=Días a floración femenina; AP=Altura de planta (cm); AM=Altura de mazorca (cm); NHAM=Número de hojas arriba de la mazorca; NHDM= Número de hojas debajo de la mazorca; THP=Total de hojas por planta; DT= Diámetro de tallo (cm); LP=longitud del pedúnculo de espiga (cm); LTR=Longitud del tramo ramificada (cm); LRC=Longitud de la rama central (cm); LT=Longitud total (cm); NRP= Número de ramificaciones primarias. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.

2.6. CONCLUSIONES

Los ciclos avanzados (C_{12} y C_{20}) de las poblaciones de Nal-Tel tuvieron un rendimiento mayor que la variedad original (C_0); además de manera concomitante al proceso de selección para aumentar su rendimiento y adaptación, éstos fueron más precoces, y sus alturas de planta y mazorca disminuyeron; su espiga resultó menos ramificada, y la longitud ramificada, longitud de la rama central, y longitud total fueron más cortas, tendiendo a parecerse a los fenotipos del material local. Se infiere que la selección para adaptación produjo incrementos significativos en el rendimiento del maíz Nal-Tel debido a que este proceso aumentó la frecuencia de genes favorables al carácter, y por consiguiente también aumentó el grado de adaptación de las mismas.

Los compuestos de maíz Nal-Tel adaptado a Valles Altos de México constituyen una fuente de nuevos alelos útiles para ser usados en el mejoramiento genético del maíz local Chalqueño y Cónico, o para ser usados en forma *per se* como una nueva variedad precoz y resistente a la sequía.

2.7. LITERATURA CITADA

- Albrecht B, J. W. Dudley (1987)** Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germoplasm. *Crop Science*. 27:480-486.
- Castillo G F (1994)** Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. En: Memoria del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N.L. México. pp 78-98.
- CONABIO (2010)** Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf.
- De la Cruz L L, J Ron P, J L Ramírez D, J J Sánchez G, M M Morales R, M Chuela B, S A Hurtado de P, S Mena M (2003)** Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de Maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26 (1): 1-9.
- Goodman M M (1985)** Exotic maize germplasm: Status prospects and remedies. *Iowa States J. Res.* 59(4): 497-527.
- Hallauer A R, M J Carena, F J B Miranda (2010)** *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer, New York, USA. 663 p.
- Kato Y T A, C Mapes S, L M Mera O, J A Serratos H, R A Bye B (2009)** Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F.116 pp.
- Lin C S, Binns M R (1994)** Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12: 271-297.
- Gutiérrez C M C, C A Ortiz S (1999)** Origen y evolución de los suelos del ex lago de Texcoco, México. *Agrociencia*. 33:199–208.
- Fischer K S, G O Edmeades, E C Johnson (1987)** Recurrent selection for reduced tassel branch number and reduced leaf area density above the ear in tropical maize populations. *Crop Sci.* 27: 1150-1156.
- Pandey S, C Gardner O (1992)** Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48: 1-87.
- Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G (2000)** Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G (2002)** Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25 (4): 435 – 441.

Pérez C A A, J D Molina G, A Martínez G, P García M, D Reyes L (2007) Selección masal para la adaptación a clima templado de razas tropicales y sub-tropicales de maíz de México. *Bioagro* 19(3): 133-141.

Prasanna B M (2012) Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal Biosciences*. 37: 843-855.

SIAP Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesca (2013) Cierre de la Producción Agrícola por Estado. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Septiembre 2014).

SAS Institute (2003) SAS/IML Software: Usage and reference. Version 9.1. Its. Ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernandez X, P C Mangelsdorf (1951) Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. In: *Xolocatzia*. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Tomo II, *Revista de Geografía Agrícola de México*, edición 1987: 609-732 p.

III. CALIDAD DE GRANO Y TORTILLAS DE MAÍZ NAL-TEL ADAPTADO EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

3.1. RESUMEN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es utilizado principalmente para consumo humano, pues con él se elaboran diferentes alimentos, como las tortillas. El grano que va ser nixtamalizado para la elaboración de tortillas debe producir masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia al corte de las tortillas. En esta investigación se determinaron las propiedades físicas del grano, y la calidad de masa y tortillas, de los compuestos de selección Nal-Tel (C₀, C₁₂ y C₂₀) y compuesto universal (Chalqueño) adaptados en Valles Altos de México. La variedad original de Nal-Tel Colección Yucatán-7 (C₀), los compuestos de ciclo doce (C₁₂) y veinte (C₂₀) de selección masal de Yucatán-7, y el Compuesto Universal SM12 PB (CU SM12 PB C₉) de Chalqueño, usado como testigo local fueron evaluados en el ciclo Primavera-Verano de 2013 en terrenos del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. En granos se evaluó la humedad, peso hectolítrico, índice de flotación, color y proporciones de pico, pericarpio y germen; en la masa: humedad; en tortillas, color, humedad y fuerza de ruptura. Se encontró que el peso hectolítrico y el índice de flotación hubo un incremento significativo en la ganancia de la dureza del grano hasta el ciclo C₂₀. El Nal-Tel original, tuvo un menor % de pedicelo que el C₂₀, porcentajes que junto con los del pericarpio, se redujeron con el ciclo de selección. En la textura de tortilla en el compuesto Nal-Tel (C₂₀) se requirió 170.33 gf, las tortillas recién hechas con la variedad original Nal-Tel (C₀) se requirieron la mayor fuerza de ruptura con 239 gf. El mejoramiento genético por selección masal visual modificó las características físicas del grano y la calidad de masa y de las tortillas, siendo la mejor el C₂₀.

Palabras clave: *Zea mays* L., rendimiento, características físicas de grano, masa, tortilla.

QUALITY OF GRAIN AND TORTILLA OF NAL-TEL MAIZE ADAPTED TO THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

3.2. SUMMARY

In Mexico, maize (*Zea mays* L.) is used primarily for human consumption, because different foods such as tortillas are made with it. Grain that will be nixtamalized for making tortillas should produce mass with high humidity, good extensibility and shear strength of the tortillas. In this study the physical properties of grain were determined as well as the quality of dough and tortilla of selection compounds Nal-Tel (C₀, C₁₂ and C₂₀) and Universal Compound (Chalqueño) adapted to the High Valleys of Mexico. Three exotic maize genotypes of Nal-Tel and one of the local maize Chalqueño: the original variety of Collection Yucatan-7 Nal-Tel (C₀), the compounds of cycle twelve (C₁₂) and twenty (C₂₀) of mass selection of Yucatan-7, and the Universal Compound PB SM12 (SM12 CU PB C9) of Chalqueño, used as the local check, were evaluated in the spring-summer of 2013 on the grounds of the Colegio de Postgraduados and the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), both located in the municipality of Texcoco, Estado de Mexico, under a randomized complete block design with three replications. The experimental plot had 26 hills of two plants every 50 cm in two rows of 6 m length and 0.80 m apart. In samples of harvested grain, moisture, test weight, flotation index, color and peak proportions, pericarp and germ were evaluated; in dough moisture was measured; in tortillas we measured color, moisture and breaking strength. It was found that the test weight and the flotation index had a significant increase, and the gain of grain hardness increased in cycle C₂₀. The Nal-Tel Original had a lower percentage of pedicel than the C₂₀, and this percentage along with that one of pericarp decreased with advancing in selection. As for the tortilla texture, in the compound Nal-Tel (C₂₀) it was required 170.33 gf for rupture, and freshly made tortillas from the original variety Nal-Tel (C₀) required a 239 gf force for rupture. Genetic improvement by visual mass selection changed the physical characteristics of the grain and the quality of dough and tortillas, being the best that one of the material C₂₀.

Keywords: *Zea mays* L., yield, physical characteristics of grain, mass, and tortilla.

3.3. INTRODUCCIÓN

México es considerado como centro de origen, de domesticación y de diversidad genética del maíz (*Zea mays L.*); pues se han reportado 59 razas y cientos de subrazas distribuidas en todo el territorio nacional (Kato *et al.*, 2009). De ellas 25 son utilizadas para consumo humano, las cuales difieren en características físicas y funcionales (USDA ARS, 2005). En éstas se han hecho múltiples cruzamientos para obtener mejores características genéticas, (Wellhausen *et al.*, 1951) la mayoría de ellas son de tipo agronómico, botánico, genético, citológico y taxonómico, sobre todo con base en descriptores fenotípicos de la mazorca o grano. Existen pocos trabajos donde el fitomejoramiento considere los factores de calidad de las variedades nativas para manifestar la potencialidad de las diferentes razas de maíz y poder brindar valor agregado a la riqueza genética que poseen los agricultores. Hasta hace algunos años el objetivo principal de mejoramiento genético era el rendimiento de grano; sin embargo, la apertura comercial, la competencia de productores nacionales con productores extranjeros tecnificados y las necesidades propias de las industrias nacionales han favorecido que los programas de mejoramiento incluyan aspectos de calidad industrial. En este contexto Antuna *et al.*, (2008) evaluaron el potencial que tienen las razas nativas de maíz para usos potenciales. Actualmente se ha aumentado la demanda del maíz destinado al proceso de nixtamalización industrial, lo que ha promovido el estudio de las características de calidad del grano tanto en los programas de mejoramiento genético como en el proceso industrial de fabricación de productos de maíz nixtamalizado.

La producción de maíz amarillo en México es baja ya que de las 22.6 millones de toneladas de maíz producidas en 2013, solamente un millón corresponde a grano amarillo (SIAP, 2014). Se requieren para el sector pecuario alrededor de 15 millones de toneladas de este grano, por lo que la diferencia entre lo producido y lo demandado se resuelve mediante la importación (CANAMI, 2007). Además, la creciente deficiencia de “vitamina A” en niños y adultos, es otro flagelo presente en la sociedad mexicana. Esta carencia se asocia con la susceptibilidad a las infecciones, ceguera nocturna, piel áspera y escamosa, y disminución en el desarrollo de los dientes y huesos (Wong, Lambert, Wurtzel, y Rocheford, 2004). Por lo que el consumo de maíz amarillo se ve como una posible solución si se incorpora en la dieta. Aunque la deficiencia de vitamina A se pueden abordar de manera efectiva a través de los programas de suplementación, estas intervenciones son costosas y pueden ser difíciles de sostener. Por lo que es preferible promover la ingesta de alimentos de fácil acceso y que

contengan precursores de esta vitamina. Tal es el caso de maíz Nal-Tel, cuyo color se debe a la presencia de carotenoides en el endospermo del grano. El contenido de carotenoides en el grano de maíz es influenciado por el genotipo, en maíces criollos mexicanos el rango informado es de 4.3 a 23.6 mg kg⁻¹ de muestra húmeda y de 9.8 a 22.5 mg kg⁻¹ en maíces híbridos (Lozano *et al.*, 2007). Para ello se espera que la producción de maíz amarillo en México se incremente en los próximos años, y sin duda será necesario conocer sus propiedades para adaptarlos al uso más conveniente.

En el pasado, se liberaron algunas variedades mejoradas de grano amarillo en Valles Altos de México con adaptaciones a condiciones específicas, como fueron V-26 A (Cuapiaxtla) con rango de adaptación los Valles Altos de Tlaxcala y Puebla; V-31 A (Victoria) para los Valles Altos de Puebla, ambas liberadas en 1980 por el Instituto Nacional de Investigadores Agrícolas (Gámez, *et al.*, 1996). De estos genotipos no se incrementan ni se distribuye semillas comercialmente, lo que se debe al cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), quien abastecía de esta semilla a los productores de maíz (Espinosa *et al.*, 2008).

Adaptar germoplasma exótico en Valles Altos de México, tales como la raza Nal-Tel para temporales limitativos, lo que representa una oportunidad de abastecer de maíz de grano amarillo para su uso pecuario y en comunidades rurales. El maíz adaptado en valles altos es de ciclo precoz (78 días a exposición de estigmas), posee tolerancia a acame, rinde 3.9 t ha⁻¹, presenta ventajas por su precocidad y se puede sembrar a fines de mayo y junio, considerando fechas de siembra retrasadas.

En México los subproductos elaborados a partir del maíz son tortillas, totopos, tostadas, pinole, atole, tamales, elotes, entre otros alimentos, de los cuales la tortilla es uno de los principales componentes en la dieta de la población mexicana. En 2011, el consumo per cápita fue de 80 kg de tortillas según el Consejo Regulador de la Masa y la Tortilla (CRMT). Sin embargo, se consumen 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortillas, de las cuales el 64 % es a través del método tradicional (maíz, masa y tortilla) y el 36 % es a través de la industria de la harinización (SAGARPA, 2008).

La calidad del grano de maíz para el procesamiento alcalino está determinada por sus características físicas y su composición química. Debido a lo anterior es importante para los procesadores de grano a nivel industrial, aunque no para las amas de casa de las áreas rurales,

quienes seleccionan el maíz de acuerdo a sus costumbres y usan cierta cantidad de cal para un proceso de nixtamalización conforme a sus gustos (Rangel *et al.*, 2004). Del mismo modo, la calidad de la tortilla es respaldada por las características del grano y por las condiciones de su elaboración (Salinas *et al.*, 2011). Para producir tortillas de calidad se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena cohesividad y adhesividad (Arámbula *et al.*, 2004). Como propiedades de la tortilla de buena calidad son las siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto, olor, sabor, textura y plasticidad (Antuna *et al.*, 2008). Debido lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue comparar las propiedades físicas de grano y la calidad de masa y tortillas, de los compuestos de selección Nal-Tel Yucatán-7 (C₀, C₁₂ y C₂₀) y compuesto universal (Chalqueño) adaptados en Valles Altos de México.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

La evaluación de los materiales genéticos (C_0 , C_{12} , C_{20} , y CU SM12 PB C_9) se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2013, en dos sitios experimentales; uno en el Campo Agrícola Experimental del Colegio Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México ($19^\circ 29' N$ y $98^\circ 53' O$), a una altitud de 2250 msnm, con clima C (wo)(w)b(i)g, templado húmedo con precipitación media anual de 645 mm en el verano y una temperatura media anual de $15^\circ C$ que varía entre 12 y $18^\circ C$. El suelo tiene textura migajón arcillo limoso, de origen aluvial y lacustre, salitroso, moderadamente drenado, y clasificado como Fluvaquentic Endoaquoll (Gutiérrez y Ortiz, 1999). El otro sitio fue el Campo Agrícola Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México ($19^\circ 29' N$, $98^\circ 51' O$), a una altura de 2240 msnm con clima similar al de Montecillo. En este sitio predominan los suelos cambrisoles de textura migajón arcillo-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica y con pH ácido, altamente inundables.

Material genético

En este trabajo se evaluaron tres genotipos exóticos de maíz Nal-Tel más uno local de Chalqueño: la variedad original de Nal-Tel colección Yucatán-7 del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (C_0), los compuestos de ciclos doce (C_{12}) y veinte (C_{20}) de selección masal de la misma población Yucatán-7, y el compuesto de ciclo nueve de selección masal para planta baja del Compuesto Universal SM12 PB (CU SM12 PB C_9), usado como testigo local.

La selección para adaptación en Valles Altos del maíz Nal-Tel se inició en el ciclo de Primavera-Verano de 1989 en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México, donde prevalecen condiciones de clima templado. Se aplicó un programa de selección masal visual usando como criterios de selección el buen aspecto de planta y mazorca. De esta manera se obtuvieron 20 ciclos de selección masal en Montecillo bajo condiciones de riego.

La selección se realizó en una parcela de 15 surcos de 10 m de longitud y separación de 80 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, con un total de 510 plantas por parcela. En cada

parcela se hicieron cruzamientos fraternales entre las plantas de mejor aspecto. Al momento de la cosecha se seleccionaron las mazorcas más grandes y sanas, desechando las podridas y fuera de tipo, seleccionando un total de 200 mazorcas (39.2 %). Con las mazorcas seleccionadas se formó un compuesto balanceado con igual número de semillas de cada mazorca para la siembra y recombinación siguientes. Este procedimiento se repitió varios años hasta obtener 20 ciclos de selección masal visual y nueve ciclos en Chalqueño.

Las muestras se limpiaron manualmente y se dejaron secar a temperatura ambiente, hasta alcanzar una humedad entre 11 y 12%, para posteriormente proceder su caracterización.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones en las dos localidades anteriormente descritas. La unidad experimental fue conformada por una parcela de dos surcos de 6 m de largo separados a 0.80 m. A la siembra se depositaron dos semillas cada 0.50 m. Finalmente, la parcela útil quedó constituida por dos surcos de 26 plantas cada uno, dando una densidad de población de 54, 000 plantas por hectárea.

Manejo agronómico experimental

La siembra de los materiales en Montecillo se realizó el día 21 de Mayo de 2013. Se fertilizó con 120 kg N, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} , aplicando todo el P_2O_5 y la mitad del N al momento de la siembra, y el resto del N en la segunda escarda (30 días después de la siembra, dds), dándose riegos de auxilio cuando era necesario. La maleza se controló con el herbicida Gesaprim Calibre 90 GDA®, aplicado 15 dds en una dosis de 3 L ha^{-1} ; antes de la floración se aplicó Gramoxone® a una dosis de 2 L ha^{-1} .

En la localidad INIFAP la siembra de los materiales se hizo el día 28 de Mayo. La fertilización se realizó con la fórmula 140-40-00 kg ha^{-1} , aplicando todo el P_2O_5 y la mitad del N al momento de la siembra, y el resto del N en la segunda escarda, a los 30 dds. La maleza se controló con el herbicida Primagram® Gold, aplicado 15 dds en una dosis de 3 L ha^{-1} y antes de la floración se controló con Marvel®, a una dosis de 2 L ha^{-1} .

Rendimiento, caracterización física del grano

El rendimiento se evaluó como lo describe Vázquez *et al.* (2012), expresado en t ha⁻¹. Las evaluaciones físicas hechas en los granos fueron: humedad, peso de 100 granos, índice de flotación (IF), que es una medida indirecta de la dureza del grano (Vázquez *et al.*, 2011); peso hectolítrico (Método 84-10 (AACC, 2000); grosor de pericarpio; y color del grano con el colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus® Modelo 45/0-L (Reston, VA, USA), según la técnica descrita por Vázquez *et al.*, (2012). Las proporciones de pico (pedicelo), pericarpio, germen y endospermo, se obtuvieron siguiendo la metodología descrita por Salinas y Vázquez (2006). Los análisis se realizaron por séxtuplo.

Nixtamalización y elaboración de tortillas

La nixtamalización se realizó a partir de 150 g de grano, utilizando 1 % de óxido de calcio y 300 ml de agua destilada. Se mezclaron los componentes en un vaso de precipitado de 600 ml y se calentaron en una parrilla para nixtamalización hasta ebullición, el tiempo de cocción para cada muestra se asignó de acuerdo con el IF, como sigue: granos con IF entre 0 a 12 % se dejaron 45 min en ebullición; de 13 a 37 %, 40 min; de 38 a 62 %, 35 min; y de 63 a 87 %, 30 min. Después del cocimiento, las muestras se dejaron en reposo por 14-16 h a temperatura ambiente para después enjuagar el nixtamal y molerlo en un molino de piedras (Salinas y Vázquez, 2006). Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica (comal). Una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos tapadas con una servilleta de manta.

Calidad de nixtamal y tortillas

En el licor de cocción (nejayote) se evaluaron los sólidos desprendidos durante la cocción, en el nixtamal se registró el porcentaje de pericarpio retenido y su humedad (Salinas y Vázquez, 2006). Se cuantificó la humedad del nixtamal, masa y tortillas con el método 44-10 (AACC, 2000). El rendimiento de masa y de tortilla, expresados como kg de masa y tortilla por kg de maíz procesado, respectivamente. La fuerza de punción requerida para romper la tortilla, se obtuvo en un texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems; Surrey, UK), con el método descrito por Arámbula *et al.* (2004), y se expresó en gramos-fuerza (gf). El color en tortillas a 2 y 24 h después de elaboradas y almacenadas a 4 °C en bolsas de polietileno, se obtuvo con el colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus® Modelo 45/0-L (Reston, VA, USA) en escala Cielab, con iluminante D/65 y un ángulo de 10°. En el colorímetro Hunter

Lab se obtienen los valores de luminosidad (L), a^* y b^* ; los de a^* y b^* sirven para determinar el ángulo de tono “hue” (h°) y la pureza de color “croma” (C), variables que ubican el color del material en el plano dentro de las diferentes tonalidades del color rojo, amarillo, verde y azul (Salinas *et al.*, 2012).

Análisis estadísticos

El análisis de varianza combinado de las dos localidades se realizó en dos formas: 1) con base en el total de materiales genéticos: compuestos de Nal-Tel más el testigo (Chalqueño), y 2) Considerando solamente a la variedad original de Nal-Tel más sus compuestos de selección doce y veinte. La prueba de F para cada factor de variación, incluyendo las interacciones, se realizó utilizando el cuadrado medio del error del modelo general, ya que éste se consideró como de efectos fijos. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico SAS 9.1 (SAS, 2003).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del grano

Análisis de Varianza. El análisis de varianza combinado de las dos localidades (Cuadro 3) demuestra las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre localidades para las variables peso hectolítrico, hue, pedicelo, germen y rendimiento, en tanto que para humedad hubo diferencia significativa ($P \leq 0.01$). Por otra parte, se encontraron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) entre Genotipos para las variables peso hectolitrico, índice de flotación, peso de 100 granos , Luminosidad, a*, b*, croma, pedicelo y rendimiento, y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para hue, grosor de pericarpio, pericarpio retenido, germen y endospermo; para la variable humedad no hubo significancia; diferencias que se deben a las condiciones climáticas de los dos sitios, similar a lo observado por (Zepeda *et al.*, 2009) y los efectos de los compuestos de selección del ciclo C₁₂ y C₂₀ adaptado en Valles Altos de México.

En los compuestos de Nal-Tel se observó que hubo significancia estadística para 8 variables (53 %). El contraste Nal-Tel vs Comp. Univ. fue significativo para todas las variables evaluadas, excepto para las variables humedad, índice de flotación y pericarpio.

La interacción genotipo x ambiente (Loc x Gen) fue altamente significativas ($P < 0.01$) para la variable peso de 100 granos y significativa ($P < 0.05$) en el peso hectolitrico, índice de flotación, L (Luminosidad), croma, pedicelo, pericarpio y germen; el resto de variables no presentó significancia.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y características físicas de grano en maíz Nal-Tel adaptado en Valles Altos de México producidas en dos localidades Santa Lucía de Prías, y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.

F.V.	Loc.	Rep.(Loc.)	Genotipo	Nal-Tel	Nal-Tel vs Comp. Univ.	Loc x Gen	E. Exp.	CV (%)
G.L.	1	4	3	2	1	3	12	
Rendimiento	0.36*	0.14*	10.77**	4.52**	23.29**	0.021	0.028	4.5
Humedad de grano	1.87**	0.049	0.051	0.06	0.031	0.2*	0.031	1.49
Peso hectolitrico	9.25*	1.4	27.92**	14.76**	54.25*	4.91*	0.46	0.9
Índice de flotación	30.37	2.33	1834.59**	2394.05**	715.68	72.93*	7.72	5.33
Peso de 100 granos	0.09	1.13	167.21**	0.72	500.17**	10.67**	0.58	3.59
Luminosidad	1.05	2.21	101.98**	7.05	291.85**	12.87*	2.16	2.27
a*	5.8	4.7	148.45**	0.27	444.81**	3.82	2.93	14.26
b*	1.72	29.98	813.84**	11.63	2418.25**	15.34	15.82	8.64
Hue	13.21*	0.04	25.22*	3.55*	68.58**	3.79	1.45	1.59
Croma	26.35	8.04	587.85**	21.09	1721.37**	41.47*	10.62	7.21
Grosor pericarpio	0.106	0.42	3.24*	1.62*	6.48*	0.45	0.23	0.44
Pedicelo	0.015*	0.0014	0.178**	0.06**	0.39**	0.017*	0.0011	2.87
Pericarpio	0.063	0.0162	0.406*	0.51*	0.18	0.142*	0.034	3.41
Germen	0.83*	0.047	0.243*	0.034	0.66*	0.141*	0.036	1.68
Endospermo	0.28	0.057	0.75*	0.61*	1.02*	0.038	0.09	0.36

*, ** Significancia al 5 y 1 % de probabilidad.

Comparación de Medias. En la comparación de medias se observa que el rendimiento promedio fue superior en Montecillos ($x = 3.8 \text{ t ha}^{-1}$), los cuatro genotipos, alcanzaron una mayor producción de grano en esta localidad, destacando el Compuesto Universal (Chalqueño), debido a que es un material local de Valles Altos de México (Wellhausen *et al.*, 1951), en contraposición Nal-Tel proviene de clima tropical y se presume que tiene poca adaptabilidad en Valles altos de México, no obstante el rendimiento registrado en el C₂₀, fue 78 % con respecto al de C₀ (Figura 1). En ambas localidades se observó que el avance en los ciclos de selección, mejoraron el rendimiento y la dureza del grano ($r = -0.77^{**}$), Vázquez *et al.* (2013) informaron una correlación de 0.81 entre el rendimiento y la dureza de los granos C₂₀ respecto a la variedad original (C₀). El rendimiento de los compuestos tendió a aumentar conforme avanzó el proceso de selección. Debido lo anterior el aumento del compuesto de selección se asoció con una mayor dureza de sus granos. Además el C₂₀ es rentable y superior a la media nacional (3.19 t ha^{-1}) (SIAP, 2014). El aumento en el rendimiento de grano es el

efecto positivo de la selección masal que están determinados por la variabilidad genética de la población, a sus frecuencias génicas y a la heredabilidad de las características bajo selección. Resultado similar fue informado por San Vicente y Hallauer (1993), después de evaluar seis ciclos de selección para adaptación de las variedades antiguas encontraron una positiva asociación genética entre rendimiento y sus componentes.

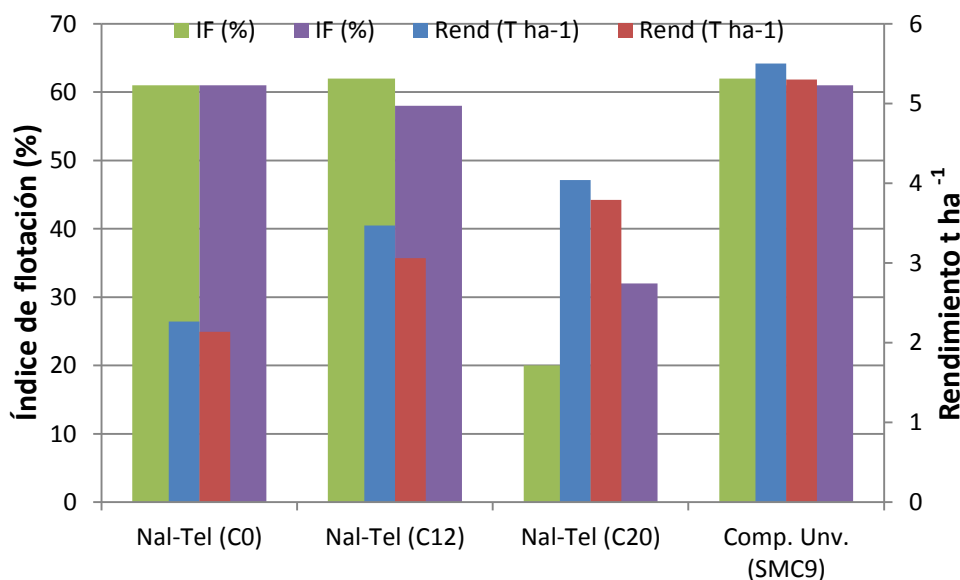


Figura 1. Relación rendimiento e índice de flotación en las dos localidades.

En ambas localidades el peso hectolítrico y el índice de flotación mostraron un incremento significativo en la ganancia de la dureza del grano hasta el ciclo C₂₀. El tamaño del grano, inferido por el peso de 100 granos y el espesor del pericarpio, no mostraron cambios por efecto del avance de selección. Nal-Tel original, tuvo un menor % de pedicelo que el C₂₀, porcentajes que junto con los del pericarpio, se redujeron con el ciclo de selección, resultados que podrían ser atractivos para la industria de harina nixtamalizada que demanda maíces con menos de 2.0 % de pedicelo y 5.5 de pericarpio (Vázquez *et al.*, 2010) (Cuadro 4). Por parte del pedicelo del grano es menor el porcentaje ya que es posible que el mejoramiento genético haya reducido el porcentaje relativo de esta estructura del grano, al ser granos más pequeños, que requieren un pedicelo menor para insertarse en el raquis u olote.

El color fue otra diferencia entre Nal-Tel y el Com. Univ. (Chalqueño), el primero es una mezcla de granos blanco y amarillo, en tanto que el segundo todos sus granos son de color cremoso uniforme. Así, los granos de Nal-Tel fueron menos luminosos y con mayores tonos

de rojo (+a) y amarillo (+b), lo que dio una mayor pureza del color (croma) y un menor ángulo de tono (hue) especialmente en Montecillos.

El índice de flotación de la variedad original C₀ fue 61 %, mostraron cambios por efectos de la selección que disminuyó a 26 %. Esta característica influye en el proceso de nixtamalización, porque los maíces duros requieren mayor tiempo de cocimiento que los intermedios y suaves, lo cual implica mayor gasto en combustible. Resultado similar lo obtuvieron Vázquez *et al.*, (2003), quienes evaluaron los maíces criollos y sus retrocruzas obtuvieron en la raza Nal-Tel con PH 76.6 a 77 kg hL⁻¹, IF 55.5 a 48 %. Así mismo, el tamaño del grano es otra variable de interés en el procesamiento alcalino, por su impacto en el grado de cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización. Granos de una misma dureza aunque de tamaño grande, alcanzan un menor cocimiento que granos pequeños en el mismo tiempo. De acuerdo con Salinas y Vázquez (2006), los granos grandes tienen un peso de 100 granos mayor a 38 g, los medianos entre 33 y 38 g, en tanto que los pequeños presentan valores menores a 33 g.

La IHN requiere maíces de grano intermedio, en tanto que IMT se favorece también con granos de este tamaño o menores, que se hidratan más fácilmente que los grandes y que favorece el rendimiento de los productos que comercializan que son de humedad elevada. De las muestras evaluadas, todas presentaron granos pequeños Nal-Tel C₀ con 18.59g Nal-Tel C₁₂ con 18.96g, Nal-Tel C₂₀ con 18.26g y Comp. Univ. (Chalqueño) 29.15g (Cuadro 4), similar a lo evaluado por Mauricio *et al.*, (2004) mencionan que las razas antiguas se distinguen por tener peso de 1000 granos con 216.5 g, ancho del grano y alta gravedad específica.

Respecto a las proporciones de pedicelo, pericarpio y germen de los genotipos evaluados se encuentran dentro de los solicitados por los molineros (Pedicelo máximo 2 %, pericarpio máximo 5.5 %, germen máximo 13 %, endospermo 78 %) (Cuadro 4). De Sinibaldí y Bressani (2001), mencionan que la industria prefiere bajos porcentajes de pericarpio debido a que éste se elimina con el lavado después de la nixtamalización, por lo que aumenta la pérdida de sólidos si el porcentaje de pericarpio es elevado; pero no afecta negativamente a la industria de la masa y la tortilla, ya que las gomas presentes en este componente del grano confieren calidad a la tortilla (Vázquez *et al.*, 2003). Así mismo, en el germen se encuentran la mayoría de los lípidos del grano, por esto, mientras mayor sea el porcentaje de germen mayor será su contenido de aceites, por lo que, no son aptos para la industria de productos

nixtamalizados debido a que reducen la vida de anaquel de los mismos (Salinas, 2004). El porcentaje de endospermo presentó el valor promedio 81.68 a 82.49 %. Esta variable es importante para la industria molinera, ya que el producto de las mismas es el endospermo pulverizado para la molienda en seco o refinado para la molienda en húmedo.

Salinas *et al.*, (2003) evaluaron el espesor del pericarpio de los maíces pigmentados en un intervalo de 91.5 a 112.5 μm , las muestras evaluadas el grosor del pericarpio estuvo comprendido entre 107.83 a 109.33 μm (Cuadro 4). Además el pericarpio, es una estructura formada de hemicelulosa (> 50%), celulosa (22%), ácidos fenólicos (5%) y lignina (1%) (Saulnier y Thibault, 1999). El componente principal (hemicelulosa) es hidrolizado por el álcali durante el proceso de nixtamalización y transformado en heteroxilanas asociadas con residuos de ácido ferúlico que poseen propiedades que favorecen la textura de la masa y la tortilla (Martínez *et al.*, 2001). Esto implica que el aumento del ciclo de selección son útiles para adaptar maíz de trópico a templado, además para modificar las características físicas y químicas del grano de maíces intermedios, en especial índice de flotación y las estructuras del grano (porcentaje de pico, pericarpio y germen), para que cumplan con las exigencias de calidad de la industria molinera - tortillera y harina; de aquí la importancia de conocer la respuesta del genotipo a través de la selección

Cuadro 4. Comparación de medias para las características físicas de grano en maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías, y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.

Variables	Genotipos				Promedio Gral.	DMS	IHN	IMT
	Nal-Tel (C ₀)	Nal-Tel (C ₁₂)	Nal-Tel (C ₂₀)	Comp. Univ.				
Rendimiento	2.20d	3.27c	3.92b	5.40a	3.69	0.28		
Hum. de grano	11.81a	11.8a	11.98a	11.78a	11.84	0.30		
Peso hectolitrico	75.26b	75.23b	77.96a	72.68c	75.28	1.16	≥74	≥74
Índice de flotación	61a	60a	26b	62a	52.04	4.76	≤25	≤40
Peso de 100 granos	18.59b	18.96b	18.26b	29.15a	21.24	1.31	36-40	30-35
Luminosidad	63.52b	61.4b	62.88b	70.65a	64.61	2.51	≥57	≥70
a*	14.53a	14.26a	14.68a	4.55b	12	2.93		
b*	53.18a	51.75a	50.4a	28.59b	45.98	6.81		
Hue	74.31b	75.6b	74.23b	78.62a	75.69	2.06		
Croma	52.19a	48.67a	49.31a	30.5b	45.17	5.58		
Grosor pericarpio	107.83b	108.73a	107.83b	109.33a	108.43	0.83		
Pedicelo	1.19b	1.18b	1.0c	1.42a	1.2	0.05	≤2	≤2
Pericarpio	5.8a	5.52ab	5.21b	5.31b	5.46	0.31	4.5-5.5	4.5-6
Germen	11.13b	11.16b	11.27ab	11.57a	11.28	0.32	≤12	≤13
Endospermo	81.86b	82.11ab	82.49a	81.68b	82.03	0.52		78

IHN= Industria Harinera Nixtamalizada; IMT= Industria Masa-Tortilla. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.

Calidad del nixtamal y tortillas

Análisis de Varianza. El análisis de varianza combinado (Cuadro 5) se detectó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre Localidades en los caracteres humedad tortilla 2h, fuerza ruptura 2h, luminosidad 2 y 24h, croma de tortilla 24h y rendimiento de tortillas frías, y algunas no hubo diferencias. Por otra parte, se observó diferencias significativas ($P < 0.01$) entre Genotipos en los caracteres pericarpio retenido en el nixtamal, pérdida de solido el en licor de cocción (Nejayote), humedad en tortillas de 24h, fuerza de ruptura de 2h, fuerza de ruptura de 24h, hue en tortillas de 2h, hue en tortillas de 24h, croma en tortillas en 2h y croma en tortillas 24h; en tanto que humedad del nixtamal, humedad de masa, humedad en tortillas de 2h, rendimiento de tortillas caliente y Rendimiento de tortillas frías hubo diferencias significativas ($P < 0.05$), y para las variables luminosidad de tortillas 2h, luminosidad de tortillas 24h y rendimiento de masa no hubo diferencia ninguna.

En el factor de compuesto de selección Nal-Tel se detectó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en Pérdida de pericarpio en nixtamal, pérdida de sólidos, croma en tortillas 2h, y croma en tortillas 24h y diferencias significativas ($P < 0.05$) para humedad de nixtamal, humedad de masa, humedad de tortillas 2h, humedad de tortillas 24h, fuerza de ruptura en tortillas de 2h, fuerza de ruptura en tortillas 24h y hue en tortillas 24h. Así mismo con la partición Nal-Tel vs Comp. Univ. fue altamente significativo ($P < 0.01$) para hue en tortillas 2h, hue en tortillas 24h, croma en tortillas 2h y croma en tortillas de 24h, excepto a la variable pérdida de pericarpio, pérdida de sólido humedad de tortillas de 24h, rendimiento de tortillas calientes y rendimiento de tortillas frías presentó significancia ($P < 0.05$).

La interacción genotipo x ambiente (Loc x Gen) fue altamente significativa ($P < 0.01$) para las variables pérdida de pericarpio, pérdida de sólidos, luminosidad de tortillas de 2h, croma de tortillas de 2h, croma de tortillas de 24h, excepto para la humedad de nixtamal, humedad de masa, humedad de tortillas de 2h, humedad de tortillas de 24h, fuerza de ruptura en tortillas de 2h, luminosidad de tortillas de 24h, hue en tortillas de 24h, rendimiento de tortillas frías que presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$); y otras no presentaron diferencia ninguna. Esto es, por lo menos un compuesto respondió de manera diferente a la adaptación en climas templado debido a los cambios de caracteres génicos particulares durante la selección para adaptación y por su respuesta al ambiente de producción agrícola.

Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística para las características de nixtamalización y tortillas del maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías, y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.

F.V.	Loc.	Rep.(Loc.)	Genotipo	Nal-Tel	Nal-Tel vs Comp. Univ.	Loc x Gen	E. Exp.	CV (%)
G.L.	1	4	3	2	1	3	12	
Pericarpio retenido	5.09	3.22	870.31**	574.03**	1462.86*	35.38**	1.92	3.23
Perdida de solido	0.0092	0.025*	0.67**	0.35**	1.3*	0.132**	0.0066	2.61
Hum. nixtamal	1.11	0.21	5.16*	7.73*	0.034	2.04*	0.32	1.25
Hum. masa	0.14	0.17	3.31*	3.81*	2.3	2.05*	0.19	0.77
Hum. tortillas 2h	2.19*	0.5	4.48*	4.41*	4.62	2.03*	0.37	1.43
Hum. tortillas 24h	0.075	0.33	4.06**	3.03*	6.11*	1.71*	0.1	0.76
Fza. ruptura 2h	266.66*	113.66	5817.55**	8390.22*	672.22	840*	56.11	3.76
Fza. ruptura 24h	1014	522.33	10931.77**	15028.66*	2738	948.66	419.22	7.34
Lumin. tort. 2h	3.57*	0.6	0.15	0.229	0.0068	7.75**	0.31	0.75
Lumin. tort. 24h	5.34*	0.41	0.69	0.94	0.193	1.01*	0.28	0.72
Hue en tort. 2h	0.74	0.07	4.69**	0.23	13.62**	0.0043	0.189	0.5
Hue en tort. 24h	0.058	0.033	7.027**	0.523*	20.03**	0.32*	0.051	0.26
Croma en tort. 2h	0.348	0.056	242.92**	5**	718.77**	4.47**	0.08	0.88
Croma en tort 24h	2.83*	0.23	208.82**	8.7**	609.06**	7.9483**	0.14	1.21
Rend. Tort. caliente	0.003	0.0061*	0.0068*	0.0028	0.014*	0.0033	0.001	2.25
Rend. Tort frías	0.004*	0.0061*	0.0065*	0.0024	0.014*	0.0033*	0.00079	2.04
Rend. de masa	0.018	0.041*	0.038	0.032	0.05	0.016	0.0155	6.27

*, ** Significativa al 5 y 1 % de probabilidad.

Comparación de Medias. En la comparación de las medias se observa que las pérdidas de sólidos en el agua de cocimiento (nejayote) marcaron menos pérdidas (pérdidas de solido menor al valor de 5 %) que las establecidas en la norma NMX-034 (2002). El nixtamal preparado con los compuestos de Montecillos retuvo más pericarpio (58.85%) que los INIFAP (53.97 %). Esto pudiera estar relacionado con la menor dureza del grano, puesto que el nixtamal y las tortillas de los compuestos de Montecillos registraron mayor porcentaje de humedad ($x= 45.9$ y 42.4%) (47.13 y 44.69%) que los de INIFAP (46.2 y 42.6%) (46.87 y 45.42%). Las industrias de la masa y la tortilla prefieren maíces cuyo nixtamal alcance humedades entre 42 y 48% (Zepeda *et al.*, 2007), por lo que todos los compuestos sembrados en los dos ambientes cumplen este requisito. No obstante, una humedad alta en el nixtamal no garantiza obtener una alta humedad en tortillas, ya que es influenciada por los caracteres de

los principales componentes de la masa, espesor de la tortilla, el tiempo y temperatura de cocimiento y capacidad de retención de agua de sus almidones.

La humedad de la masa es un factor importante, cuyo valor óptimo para elaborar tortillas de calidad y con buena vida de anaquel fluctúa entre 50 y 58 % (Antuna *et al.*, 2008). En este trabajo el contenido de humedad en la masa oscila entre 56.83 y 58.47 %; donde el Compuesto Nal-Tel C₁₂ sobresale con 58.59 % sembrada en Montecillo al igual que la localidad INIFAP con 58.35 % (Cuadro 8) también se asocia con la humedad del nixtamal.

El mayor porcentaje de humedad de las tortillas de 2 horas de Montecillos se asoció con su mayor rendimiento de masa (2), de tortillas calientes (1.49), y tortillas fría (1.44) de sí mismo requiere mayor fuerza de punción en tortillas recién hecha (259.33 gf) y para la tortilla de 24 h (309.33 gf) para romperse, también con el mismo comportamiento al de INIFAP (Cuadro 8). Un caso similar fue observado para maíces de alta calidad de proteína desarrollado en Valles altos de México por Vázquez *et al.*, (2012).

Así mismo las industrias de la masa y tortilla (IMT) prefieren maíces con un rendimiento de 1.5 kg de tortilla por kg de maíz, se requiere un contenido de humedad en las tortillas mínimo de 45.0 % (Salinas *et al.*, 2010); en este estudio la variedad original Nal-Tel (C₀) es la más cercana en rendimiento de tortilla con 1.46 kg, aun cuando la humedad de sus tortillas fue de 43.76 % (Cuadro 6), similar a lo obtenido por Mauricio *et al.*, (2004), quienes obtuvieron rendimiento de 1.57 kg de tortilla por kg de harina instantánea en la variedad Nal-Tel de altitud de 30 msnm. Debido lo anterior, los compuestos Nal-Tel (C₀) tuvo rendimiento de tortilla caliente ligeramente abajo del 1.5 kg requerido por la industria molinero-tortilla; pero al aumentar la selección del material para adaptación a clima templado disminuye el rendimiento de tortilla caliente a 1.42 kg; del mismo modo el rendimiento de la tortilla fría en lo general la pérdida es de 5 gramos.

El color del grano conserva una estrecha relación con la calidad de la tortilla en términos de la aceptación por parte del consumidor, que en general son mejor aceptadas las tortillas de color blanco o cremoso brillante, en el Cuadro 4 la luminosidad del grano del Comp. Univ. fue mayor que la de Nal-Tel, conforme aumenta el ciclo de selección disminuye la luminosidad del grano. También la luminosidad de las tortillas recién elaboradas (2 h) oscilaron entre 72.64 y 75.01 % en los materiales evaluadas en Montecillo caso contrario de INIFAP 73.87 y 76.6 %. Posterior al periodo de almacenamiento refrigerado (24 h) la

luminosidad de las tortillas disminuyó ligeramente (Figura 2), este fenómeno puede ser producido por mayor concentración de compuestos fenólicos en el pericarpio y endospermos de las mismas (Salinas *et al.*, 2007).

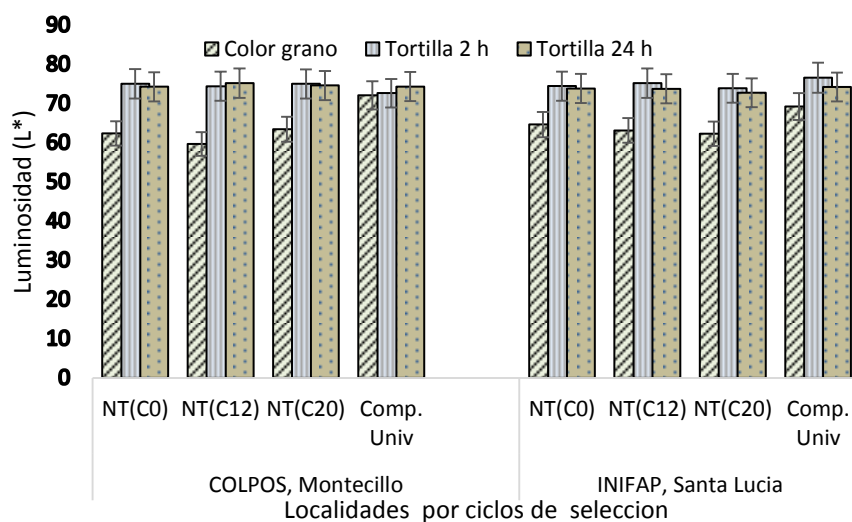


Figura 2. Luminosidad en grano y tortillas de los compuestos de selección Nal-Tel y Comp. Univ. (Chalqueño) producida en Colegio Postgraduados, Montecillos y Santa Lucia, Coatlinchán, Estado de México, PV 2013.

El mejoramiento genético ayuda a obtener materiales con tortillas recién hechas más suaves, es decir, que se requiere menor fuerza de ruptura, se observaron en el compuesto Nal-Tel (C₂₀) producidas en ambas localidades (Figura 3). Las tortillas recién hechas con el Nal-Tel (C₀) se requirieron la mayor fuerza de ruptura. Por otro lado, para el análisis combinado (Cuadro 4) se observaron claramente que en el compuesto Nal-Tel (C₂₀) se requirió 170.33 gf, las tortillas recién hechas con la variedad origina Nal-Tel (C₀) se requirieron la mayor fuerza de ruptura con 239 gf. Durante las 24 h de almacenamiento las tortillas perdieron suavidad, debido especialmente a la retrogradación del almidón (Figura 4), además aumentó una ligera parte de la humedad de las tortillas de 24 h. El aumento en el contenido de humedad se debió a la condensación del vapor de agua que liberan las tortillas dentro de la bolsa de polietileno al pasarlas de la temperatura ambiente a la temperatura de refrigeración durante el almacenamiento.

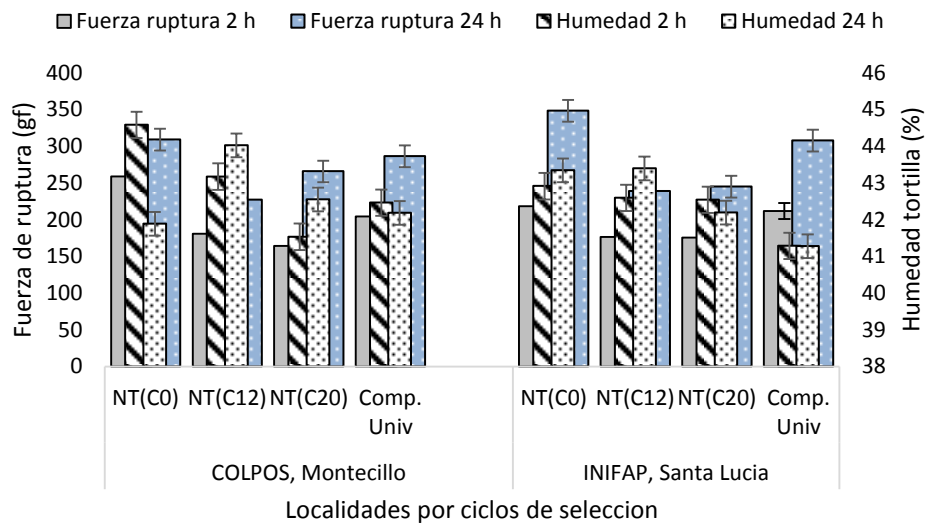


Figura 3. Humedad y textura de las tortillas de los compuestos de selección Nal-Tel y Comp. Univ. (Chalqueño) producida en Colegio Postgraduados, Montecillos y Santa Lucia, Coatlínchán, Estado de México, PV 2013.

Cuadro 6. Comparación de medias para las características de nixtamalización y tortillas del maíz Nal-Tel producidas en dos localidades Santa Lucia de Prías, y Colegio Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 2013.

Variables	Genotipos				Promedio Gral.	DMS	IHN	IMT
	Nal-Tel (C ₀)	Nal-Tel (C ₁₂)	Nal-Tel (C ₂₀)	Comp. Univ.				
Pericarpio retenido	28.24d	39.14c	47.76b	56.41a	42.88	2.37	≤30	≥30
Perdida de solido	3.28b	3.01c	3.49a	2.72d	3.12	0.14	≤5	≤5
Hum. nixtamal	44.98b	47a	45.1b	45.78b	45.71	0.98	36-42	42-45
Hum. masa	57.11b	58.47a	57.07bb	56.83b	57.37	0.76		
Hum. tortillas 2h	43.76a	42.89ab	42.04b	41.88b	42.64	1.04		≥43
Hum. tortillas 24h	42.62b	43.71a	42.38b	41.74c	42.61	0.56		
Fza. ruptura 2h	239a	179c	170.33c	208.33b	199.16	12.83		
Fza. ruptura 24h	329a	233.33b	255.67b	297.33a	278.83	35.09		
Lumin. tort. 2h	74.73a	74.81a	74.44a	74.62a	74.65	0.96	>70	
Lumin. tort. 24h	74.06a	74.47a	73.67a	74.27a	74.12	0.91		
Hue en tort. 2h	86.26b	86.62b	86.31b	88.14a	86.83	0.74		
Hue en tort. 24h	86.57b	86.64b	86.1c	88.55a	86.96	0.39		
Croma en tort. 2h	34.22c	35.08b	36.04a	22.48d	31.96	0.48		
Croma en tort 24h	32.98c	34.16b	35.39a	22.55d	31.27	0.65		
Rend. Tort. caliente	1.46a	1.43ab	1.42ab	1.38b	1.42	0.05		
Rend. Tort frías	1.41a	1.38a	1.37ab	1.33b	1.37	0.04		≥1.5
Rend. de masa	2.1a	1.98a	1.96a	1.91a	1.98	0.21		≥1.8

IHN= Industria Harinera Nixtamalizada; IMT= Industria Masa-Tortilla. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.

Cuadro 7. Efecto localidad y genotipo sobre caracteres físicos del grano en maíz adaptado a clima templado de la raza Nal Tel.

Localidad	Compuestos	Hum (%)	Peso de 100 granos (g)	Peso hectolítrico (KghL ⁻¹)	D	G-Peric (µm)	Pico	Per	Germen	Endosp	Color de grano			
											a*	b*	Crom	Hue
Colegio Postgraduados Montecillos, Edo, de Méx.	Nal-Tel (C0)	12.2b	19.03b	75.66b	I	108.06bc	1.26b	5.91a	10.95a	81.86ab	15.85a	52.76a	54.78a	73.01b
	Nal-Tel (C12)	11.93c	17.08b	73.56c	I	108.66ab	1.23b	5.52ab	10.99a	82.24ab	14.37a	50.56a	52.61a	74.13b
	Nal-Tel (C20)	12.46a	18.78b	77.86a	D	107.4c	0.95c	5.09b	11.26a	82.69a	15.62a	52.43a	48.43b	73.82b
	Comp. Univ. (SMC ₉)	11.9c	30.31a	71.63d	I	109.33a	1.46a	5.54ab	11.19a	81.8b	4.1b	27.1b	29.05c	78.84a
Santa Lucia, Edo, de Méx (INIFAP)	Nal-Tel (C0)	11.43a	18.16c	74.93b	I	107.6b	1.13b	5.69a	11.31b	81.86a	13.2a	53.6a	49.6a	75.62a
	Nal-Tel (C12)	11.66a	20.84b	76.9a	I	108.8ab	1.12b	5.53a	11.34ab	81.99a	14.15a	52.94a	44.73a	77.08a
	Nal-Tel (C20)	11.5a	17.74c	78.06a	D	108.26ab	1.06b	5.34ab	11.29b	82.30a	13.74a	48.36a	50.2a	74.64a
	Comp. Univ. (SMC ₉)	11.66a	27.98a	73.73b	I	109.33a	1.39a	5.08b	11.96a	81.56a	4.99b	30.09b	31.96b	78.4a

Hum=Humedad de grano; G-Peric=Grosor de pericarpio; Per=Pericarpio; Endosp=Endospermo.

Cuadro 8. Efecto localidad y genotipo en las características del nixtamal, masa y tortilla de maíz adaptado a clima templado de la raza Nal Tel.

Localidad	Compuestos	Humedad (%)		Color de Tortilla				Solido (%)	Pericarpio retenido (%)	Rendimiento		
		Nixtamal	Masa	Croma 2 h	Hue 2 h	Croma 24 h	Hue 24 h			kg masa/kg maiz	Kg tortillas Caliente	Kg tortillas fria
Colegio Postgraduados Montecillos, Edo Mex	Nal-Tel (C0)	44.03c	56.33c	34.14c	86.1b	32.76c	86.82b	3.39a	26d	2a	1.49a	1.44a
	Nal-Tel (12)	47.13a	58.59a	35.41b	86.48b	35.57b	86.5bc	2.81b	41.72c	1.97a	1.46ab	1.41a
	Nal-Tel (20)	44.69bc	56.82bc	36.66a	86.11b	36.59a	85.94c	3.41a	46.82b	1.93a	1.4b	1.35b
	Comp. Univ. (SMC ₉)	46.14ab	57.44b	21.13d	87.94a	21.55d	88.8a	2.82b	58.85a	1.93a	1.4b	1.35b
Santa Lucia, Edo, Mex (INIFAP)	Nal-Tel (C0)	45.92a	57.89a	34.3b	86.42b	33.21ab	86.32c	3.18b	30.48d	2.2a	1.44a	1.38a
	Nal-Tel (12)	46.87a	58.35a	34.76b	86.77b	32.76b	86.79b	3.21b	36.55c	1.99a	1.41a	1.36a
	Nal-Tel (20)	45.51a	57.32ab	35.43a	86.51b	34.2a	86.26c	3.58a	48.7b	1.99a	1.45a	1.4a
	Comp. Univ. (SMC ₉)	45.42a	56.23b	23.82c	88.33a	23.54c	88.3a	2.62c	53.97a	1.88a	1.37a	1.32a

3.6. CONCLUSIONES

Los compuestos de selección, no superó en rendimiento la variedad local, ya que el maíz Nal-Tel es procedente de clima tropical, además tiene poca adaptabilidad en Valles altos de México. El rendimiento de los compuestos tendió a aumentar conforme avanzó el proceso de selección con ganancia de 86 kg por ciclos de selección, debido al aumento en la dureza la del grano y reducción en tamaño, se reflejó en la reducción de porcentajes de pico (Pedicelo) y pericarpio, por parte del pedicelo del grano es menor el porcentaje ya que es posible que el mejoramiento genético haya reducido el porcentaje relativo de esta estructura del grano, al ser granos más pequeños, que requieren un pedicelo menor para insertarse en el olote.

La variedad original Nal-Tel C₀ destacó con granos intermedios (61 %), peso hectolítrico de 75.26 kg hL⁻¹, tuvo mayor proporción de pico, pericarpio (1.19 y 5.8 % respectivamente), grosor de pericarpio con (107.83 μm), color de grano Luminosidad, b* (63.52, 53.18, respectivamente), también con mayor porcentaje de humedad de las tortillas recién hechas, mayor rendimiento de masa, de tortillas calientes y frías (2, 1.49 y 1.44, respectivamente), pero se requirió mayor fuerza de punción en tortillas recién hechas y de tortillas 24 horas (259.33 y 309.33, respectivamente) para romperse; que sus compuestos de selección adaptadas en Valles altos de México.

El mejoramiento genético permite modificar las características físicas del grano y calidad de masa y tortilla a partir de un maíz original (Criollo) para obtener maíces mejorados de mayor rendimiento y que cumplan con las determinaciones de calidad de la norma comercial destinado al proceso de nixtamalización.

3.7. LITERATURA CITADA

- American Association of Cereal Chemists (AACC) (2000)** Approved methods of the AACC. 10th. edit. St. Paul MN. 425 p.
- Antuna G O, S A Rodríguez H, G Arámbula V, A Palomo G, E Gutiérrez A, A Espinoza B, E F Navarro O, E Andrio E (2008)** Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. Rev. Fitotec. Mex. 31(Especial 3):23-27.
- Arámbula V G, J A Méndez A, J González H, E Gutiérrez A, E Moreno M (2004)** Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). Arch. Latinoamericanos. Nutr. 54:216- 222.
- Cámara Nacional de Maíz Industrializado (CANAMI) (2007)** (consultado en <http://www.planetaazul.com.mx/www/2007/01/08/anticipan-para-maíz-producción-record/>. fecha: 25-nov. 2007).
- De Sinibaldi A C B, R Bressani (2001)** Características de la cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 51(1): 86- 94.
- Espinosa C A, Turrent F A, Tadeo R M, Gómez M N, Sierra M M, Caballero H F (2008)** importancia del uso de semillas de variedades mejoradas y nativas de maíz en México. En: Desde los colores del maíz, una agenda para el campo mexicano. Editor J. Luis Seefoó Luján. Volumen I, El colegio Michoacán, CONACYT, Zamora, Michoacán. Pp. 233-255.
- Gámez V A J, Ávila P M A, Ángeles A H, Díaz H C, Ramírez V H, Alejo J A, Terrón I A (1996)** Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación No. 16 INIFAP, Toluca, México, pp 16-18.
- Gutiérrez C M C, C A Ortiz S (1999)** Origen y evolución de los suelos del ex lago de Texcoco, México. Agrociencia. 33:199–208.
- 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 Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F.116 pp.
- Lozano A N, Vázquez C G, Pixley K, Palacios R N (2007)** Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. Innov. Food Sci. and Emer.Techn. 8:385-389
- Martínez B F, H E Martínez F, E SanMartín M, F Sánchez S, YK Chang, D Barrera A, E Ríos (2001)** Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81: 1455-1462.
- Mauricio S R A, J D Figueroa C, S Taba, M L Reyes V, F Rincón S, A Mendoza G (2004)** Caracterización de accesiones de maíz por calidad del grano y tortillas. Rev. Fitotec. Mex. 27:213-222
- Rangel M E, A Muñoz Orozco, G Vázquez Carrillo, J Cuevas Sánchez, J Merino Castillo, S Miranda-Colín (2004)** Nix- tamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. Agrociencia 38:53-61.
- SAGARPA (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Pesca y Alimentación) (2008)** Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera: Anuario estadístico de la producción agrícola de los estados unidos mexicanos. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

- Salinas M Y, P Pérez H, J Castillo M, L A Álvarez R (2003)** Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 115-121.
- Salinas M Y (2004)** Calidad de maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. Primer congreso nacional de nixtamalización, del maíz a la tortilla. Querétaro, Querétaro, México. 5-9 p.
- Salinas M Y, G. Vázquez C (2006)** Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico No. 22. INIFAP. Campo experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de México. México. 91p.
- Salinas M Y, J J López R, G B González F, G Vázquez C (2007)** Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41:295-305
- Salinas M Y, F J Cruz C, S A Díaz O, F Castillo G (2012)** Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 (1): 33 – 41.
- San Vicente F M, A R Hallauer (1993)** Mass selection for adaptation in antigua maize (*Zea mays* L.) Composite. *Jour. Iowa Acad. Sci.* 100:9-12.
- Saulnier L, J F Thibault (1999)** Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxilans. *J. Sci. Food Agric.* 79:396-402.
- SIAP Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesca (2014)** Cierre de la Producción Agrícola por Estado. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Septiembre 2014).
- USDA ARS (2005)** Races of Maize Collection. North Central Regional Plant nroduction Station. Iowa State University; Ames, Iowa. Digital compilation (<http://www.ars.usda.gov/pandp/people/publications.htm.personid=12358>).
- Vázquez C G, L Guzmán B, J L Andrés G, F Márquez S, J Castillo M (2003)** Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- Vázquez C G, S García L, Y Salinas M, D J Bergvinson, N Palacios R (2011)** Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods Human Nutr.* 66:203-208.
- Vázquez C G, H Mejía A, C Tut C, N Gómez M (2012)** Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 (1): 23 - 31.
- Vázquez C G, D Santiago R, Y Salinas M, I Rojas M, J L Arellano V, G A Velázquez C, A Espinosa C (2012)** Interacción Genotipo-Ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec, Mex.* Vol. 35(3) 229-237.
- Zepeda B R, A Carballo C, A Muñoz O, J A Mejía C, B Figueroa S, F V González C (2007)** Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33:17-24.
- Zepeda B R, A Carballo C, C Hernández A (2009)** Interacción genotipo- ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43:695-706.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernandez X, P C Mangelsdorf (1951)** Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. In: *Xolocatzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Tomo II, Revista de Geografía Agrícola de México, edición 1987: 609-732 p.*