

SELECCIÓN PARA CONTENIDO DE ACEITE EN EL GRANO DE VARIEDADES DE MAÍZ DE LA RAZA COMITECO DE CHIAPAS, MÉXICO

SELECTION FOR OIL CONTENT IN KERNELS OF MAIZE VARIETIES OF THE COMITECO RACE FROM CHIAPAS, MÉXICO

Braulio Torres-Morales^{1*}, Bulmaro Coutiño-Estrada², Abel Muñoz-Orozco¹, Amalio Santacruz-Varela¹, Apolinar Mejía-Contreras¹, Sergio O. Serna-Saldivar³, Silverio García-Lara³, Natalia Palacios-Rojas⁴

¹Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (btorres@colpos.mx). ²Programa Mejoramiento Genético de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. km 3 carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. ³Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. Departamento de Biotecnología y Alimentos, División de Biotecnología y Alimentos. Monterrey, México. ⁴Programa Global de Maíz, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 56120. Vía México-Veracruz, km 45. Texcoco, Estado de México.

RESUMEN

En el estado de Chiapas hay regiones con índices altos de desnutrición humana porque la dieta de la mayoría de sus habitantes se basa en el grano de maíz. Para el consumo humano y la industria se requieren maíces con mayor contenido de aceites y un mejor balance de ácidos grasos (AG). El objetivo de este trabajo fue evaluar en tres ambientes: 1) los sintéticos de tres ciclos de selección recurrente por contenido de aceite en la variedad Teopisca-A C4; 2) el efecto de la selección en contenido de aceite en los granos y el comportamiento de algunos AG y caracteres agronómicos; 3) las heredabilidades y correlaciones. El contenido de aceite en los granos aumentó a través de los ciclos de selección. El aceite tuvo una correlación positiva ($r=0.51^{**}$) con el porcentaje de germen y negativo ($r=-0.43^{**}$) con la proporción de endospermo. No hubo relación entre contenido de aceite, rendimiento, días a floración femenina ni días a floración masculina. Los porcentajes de AG en el aceite no mostraron efecto en la selección, en cambio en cinco de los seis AG evaluados hubo efecto significativo de localidades. Los ácidos oleico y linoleico se presentaron en mayor proporción. Las heredabilidades más altas se observaron en porcentaje de germen (0.44) y en ácido linoléico (0.31); relativamente bajas en porcentaje de endospermo (0.16) y porcentaje de aceite en el grano (0.13). El efecto ambiental se manifestó en la mayoría de las variables estudiadas incluyendo rendimiento, tamaño de grano, contenido de aceite y AG.

ABSTRACT

In the state of Chiapas there are regions with high rates of human malnutrition because the diet of most of the people is based on maize grain. Maize with higher oil content and a better balance of fatty acids (FA) is required for industry and human consumption. The objective of this study was to evaluate in three environments: 1) the synthetics of three cycles of recurrent selection for oil content in Teopisca-A C4 variety; 2) the effect of selection on the oil content in kernels and the behavior of some FA and agronomic traits; 3) heritabilities and correlations. The oil content in kernels increased through the selection cycles. The oil had a positive correlation ($r=0.51^{**}$) with the germ percentage and negative ($r=-0.43^{**}$) with the endosperm percentage. There was no relationship among yield, days to female flowering or days to male flowering. Percentages of FA in oil showed no effect from the selection, whereas in five of the six FA tested there was a significant effect of locations. Oleic and linoleic acids were present in a higher proportion. The highest heritabilities were observed in germ percentage (0.44), and linolenic acid (0.31); relatively low in endosperm percentage (0.16) and oil percentage in kernel (0.13). The environmental effect was manifested in most of the variables studied including yield, grain size, oil content, and FA.

Key words: *Zea mays* L., synthetics, fatty acids, recurrent selection.

INTRODUCTION

Breeding programs have given more emphasis to the increase of agricultural productivity (Poehlman and Allen, 2003). However,

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Enero, 2010. Aprobado: Junio, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 679-689. 2010.

Palabras clave: *Zea mays* L., sintéticos, ácidos grasos, selección recurrente.

INTRODUCCIÓN

Los programas de mejoramiento genético dan más énfasis al aumento de la productividad agrícola (Poehlman y Allen, 2003). Sin embargo, la mala nutrición y las necesidades de la industria han propiciado un reenfoque en los programas incluyendo aspectos de calidad nutricional (Ortiz-Monasterio *et al.*, 2007) e industrial (Serna-Saldivar *et al.*, 2008; Coutiño *et al.*, 2008a). Así se requiere maíces con mayor contenido de aceites (Coutiño *et al.*, 2008b) y con mayor proporción de ácido oleico, para disminuir el nivel de colesterol y dar mayor estabilidad oxidativa (Velasco y Fernández-Martínez, 2002).

En el estado de Chiapas los maíces criollos de la raza Comiteco se siembran en aproximadamente 128 mil ha, con un rendimiento de 4 a 4.7 t ha⁻¹ (Coutiño *et al.*, 2008a). En Chiapas hay regiones con índices altos de desnutrición humana (Coutiño-Estrada y Vázquez-Carrillo, 2007) porque la dieta se basa en grano de maíz consumido como tortillas, pozol, atoles, etc., con poco acceso a hortalizas, carnes y otros cereales. El desarrollo de maíces con mayor contenido de aceites y mejor balance de ácidos grasos (AG) puede ayudar a solucionar este problema y generar valor agregado en la industria de concentrados para alimentación animal (Lambert, 1994).

El grano de maíz tiene 3 a 5 % de aceite, del cual 25-30 % está en el germen. De los AG en el grano de maíz, el oleico (24 %) mono-insaturado y el linoleico de la familia Omega 3 (62 %) son los mayoritarios (Duffus y Slaugther, 1985). Estos AG ayudan a mantener bajos niveles de grasas en las arterias y son importantes en el crecimiento infantil y desarrollo neurológico (Weber, 1991; Ronayne de Ferrer, 2000).

Los objetivos del presente estudio fueron evaluar en tres ambientes los sintéticos de tres ciclos de selección recurrente por contenido de aceite de familias de medios hermanos; estudiar el efecto de la selección en contenido de aceite en el grano, porcentaje de algunos AG, rendimiento, floración femenina y masculina; y determinar la heredabilidad en algunas características y las correlaciones.

malnutrition and requeriments from the industry have led to a refocus in the programs including aspects of nutritional (Ortiz-Monasterio *et al.*, 2007) and industrial (Serna-Saldivar *et al.*, 2008; Coutiño *et al.*, 2008a) quality. Thus, maize with higher oil content (Coutiño *et al.*, 2008b) and greater proportion of oleic acid is required to decrease the cholesterol level and provide greater oxidative stability (Velasco and Fernández-Martínez, 2002).

In the state of Chiapas, the native maize of Comiteco race is sown in approximately 128 000 ha with an yield of 4 to 4.7 t ha⁻¹ (Coutiño *et al.*, 2008a). In Chiapas there are regions with high rates of human malnutrition (Coutiño-Estrada and Vázquez-Carrillo, 2007) because the diet is based on maize grain consumed as tortilla, pozol, atoles, etc., with little access to vegetables, meat and other cereals. The development of maize with higher oil content and better balance of fatty acids (FA) can help to solve this problem and generate aggregate value in the industry of concentrates for animal feeding (Lambert, 1994).

The maize kernel contains between 3 and 5 % oil, from which 25-30 % is in the germ. From the FA in maize kernel, the monounsaturated oleic (24 %) and the Omega 3 family linoleic acid (62 %) are the major (Duffus and Slaugther, 1985). These FA help to maintaining low levels of fat in the arteries and are important in infant growth and neurological development (Weber, 1991; Ronayne de Ferrer, 2000).

The objectives of this study were to evaluate in three environments the synthetics of three cycles of recurrent selection for oil content of half-sib families; to study the effect of selection for oil content in kernel, percentage of some FA, yield, female and male flowering; and determine the heritability in some traits and correlations.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

The initial material was the Teopisca-A C4 variety, in which three cycles of recurrent selection of half-sib families (HSF) were carried out for oil content in kernel. In each cycle 200 families were derived where the oil content was determined by selecting the best 50 families, which were sown in Teopisca, state of Chiapas, in an isolated lot for recombination by open pollination. A 5 m row per family with 22 plants was sown, using

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material inicial fue la variedad Teopisca-A C4, en la cual se realizaron tres ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos (FMH) por contenido de aceite en el grano. En cada ciclo se derivaron 200 familias donde se determinó el contenido de aceite seleccionando las mejores 50, las cuales se sembraron en Teopisca, estado de Chiapas, en un lote aislado para su recombinación por polinización libre. Se sembró un surco de 5 m por familia con 22 plantas, usando como polinizador un compuesto mecánico balanceado de las 50 familias. Dentro de cada familia se seleccionaron las mejores cuatro mazorcas para generar las nuevas 200 FMH.

Una variedad comercial (V-231A), la variedad original y los tres compuestos de los tres ciclos de selección se evaluaron durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2008, en tres localidades: 1) Teopisca, municipio de Teopisca (16° 32' N, 92° 29' O; altitud 1742 m); 2) Diamante (16° 20' N, 92° 12' O; altitud 1789 m); 3) Chacaljocom (16° 17' N, 92° 11' O; altitud 1816 m); las dos últimas en el municipio de Comitán. La precipitación en el 2008 para Teopisca fue 1296 mm y 1264 mm en Comitán. La siembra se realizó el 4 de junio en las tres localidades. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La parcela útil fue de dos surcos centrales de una parcela experimental de cuatro surcos (5 m longitud y 0.8 m ancho). En la cosecha se tomaron 2 kg de grano de la parcela para los análisis de contenido de aceite y del perfil de AG.

Determinación del contenido de aceite en grano completo y germen

La selección en las 200 familias se realizó por evaluación individual del contenido de aceite usando un NIT (Near Infrared Transmittance) en 200 semillas de cada familia. Después se usó un carrusel de 23 receptáculos para examinar semillas individuales y obtener las mejores 50 familias para su recombinación. De cada variedad se usaron 30 granos para los análisis de extracción de aceite en grano completo; para embrión y separación de las estructuras del grano se usaron 100 granos; y 10 granos para medir largo, ancho y espesor. La determinación de aceite se hizo con la metodología descrita por Galicia *et al.* (2009).

Determinación del porcentaje de estructuras de los granos de maíz

Para determinar el porcentaje de germen (PGE), endospermo (PEN), pericarpio (PPE) y el peso de 100 granos (PCG) se usaron 100 granos por muestra, según el procedimiento de Salinas y Vásquez (2006).

as pollinator a mechanical balanced composite of 50 families. Within each family the best four ears were selected to generate the new 200 HSE.

A commercial variety (V-231A), the original variety and the three composites for the three cycles of selection were evaluated during the Spring-Summer 2008 cycle, at three localities: 1) Teopisca, municipality of Teopisca (16° 32' N, 92° 29' W; 1742 m altitude); 2) Diamante (16° 20' N, 92° 12' W; 1789 m altitude); 3) Chacaljocom (16° 17' N, 92° 11' W; 1816 m altitude); the last two in the Comitán municipality. Precipitation in 2008 for Teopisca was 1296 mm and 1264 mm for Comitán. Sowing was carried out on June 4 at the three localities. The experimental design was a randomized complete blocks with four replications. The used plot was two central rows of an experimental plot of four rows (5 m long and 0.8 m wide). At harvest 2 kg of grain from the plot were taken for the analysis of oil content and FA profile.

Determination of oil content in whole kernel and germ

The selection in the 200 families was done by individual evaluation of oil content using the NIT (Near Infrared Transmittance) in 200 seeds of each family. Afterwards, a carousel of 23 containers was utilized to examine individual seeds and obtain the best 50 families for recombination. Of each variety 30 grains were used for analysis of oil extraction in whole grain; 100 grains were used for embryo and separation of kernel structures; and 10 grains were used for length, width, and thickness measurements. Oil determination was done with the methodology described by Galicia *et al.* (2009).

Determination of percentage of kernel maize structures

To determine percentage of germ (PGE), endosperm (PEN), pericarp (PPE) and 100 grains weight (PCG), 100 grains per sample were used according to the procedure of Salinas and Vásquez (2006).

Determination of the fatty acid profile

Profile of FA was analyzed in the synthetics C0, C3, and the control variety V-231A, in two replication per genotype and two localities. The extraction of lipids was done according to the AOAC (1990). The Goldfish method was used to extract lipids from the kernels (AOAC, 1990). The FA were identified and quantified using a gas chromatograph coupled with a mass spectrometer (GC/MS) and 37 FA standards according to the method reported by Rezanka *et al.* (1983). Palmitic (APA), stearic (AES), oleic (AOL), linoleic (LA), arachidonic (AAQ) and linolenic (ALN) acids were identified.

Determinación del perfil de ácidos grasos

El perfil de AG fue analizado en los sintéticos C0, C3 y la variedad testigo V-231A, en dos repeticiones por genotipo y dos localidades. La extracción de lípidos se realizó según la AOAC (1990). Se utilizó el método de Goldfish para extraer lípidos de los granos (AOAC, 1990). Los AG se identificaron y cuantificaron usando un cromatógrafo de gases acoplado con un espectrómetro de masas (GC/MS) y 37 estándares de AG según el método de Rezanka *et al.* (1983). Se identificaron los ácidos palmítico (APA), esteárico (AES), oleico (AOL), linoleico (AL), araquídico (AAQ) y linolénico (ALN).

Variables agronómicas

El rendimiento de grano (REN) se calculó usando el peso de la mazorca y del grano de la parcela útil, ajustado por el número de plantas; los datos se corrigieron al 14 % de humedad y se transformaron en $t\ ha^{-1}$. Además se evaluó días a la floración femenina (DFF) y la masculina (DFM), contados desde la siembra hasta la fecha en que 50 % de las plantas expusieron estigmas y polen.

Heredabilidad y correlaciones

La heredabilidad en sentido amplio (H2) se estimó con el método de estimación de componentes de varianza derivados del análisis de varianza de la prueba de variedades (Molina, 1992). Así se obtuvo estimadores de las varianzas del error (σ^2_e), interacción variedades por ambientes (σ^2_{vxe}), variedades (σ^2_v) y varianza fenotípica (σ^2_p) que es la suma de las tres varianzas anteriores. La heredabilidad estimada se obtuvo mediante la relación entre varianza de variedades sobre la varianza fenotípica por cien. Las correlaciones se calcularon con el procedimiento Corr de SAS versión 9.0.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron con un análisis de varianza combinado de localidades utilizando el procedimiento GLM de SAS versión 9.0. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de aceite

El grano de la variedad Teopisca-A C4 mostró 4.3 % inicial de aceite. Después de los tres ciclos de

Agronomic variables

Grain yield (REN) was calculated using the ear and grain weight of the used plot, adjusted for the number of plants; data was corrected to 14 % moisture and transformed into $t\ ha^{-1}$. Besides we evaluated were days to female (DFF) and male (DFM) flowering, counted from sowing up to the date on which 50 % of plants exposed stigmas and pollen.

Heritability and correlations

Heritability in a broad sense (H2) was estimated by the method of estimation of variance components derived from the variance analysis for the test of varieties (Molina, 1992). Thus, the following was obtained: estimators of the error variances (σ^2_e), interaction varieties by environments (σ^2_{vxe}), varieties (σ^2_v) and phenotypic variance (σ^2_p) which is the sum of the three previous variances. The estimated heritability was obtained by the relationship between variance of varieties on phenotypic variance by hundred. Correlations were calculated with the procedure Corr of SAS version 9.0.

Statistical analysis

Data were processed by analysis of variance combined of localities using the GLM procedure of SAS version 9.0. Comparison of means was carried out using the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Percentage of oil

Kernels of the Teopisca-A C4 variety showed an initial 4.3 % oil. After three cycles of recurrent selection, it increased to 4.7 % (a change of 9.3 % from C0 to C3; Table 1). This increase is higher than that reported by Dudley and Lambert (1992) in the selection cycles 26 to 52 of high oil content populations in genetic material of Illinois, where a change of 0.14 % per cycle of selection was achieved. In maize there is great variability in oil content; it has been reported 2 to 6 % on improved and native maize (Llanos, 1984; Sorte *et al.*, 2005; Salinas *et al.*, 2008) and 5.8 % in native maize of the highland regions of the Estado de México (Salinas *et al.*, 2008). The Teopisca-A C4 variety has the traits that the Chiapas farmer prefers (long ears, large grain) and yield is higher than the averages of the region (Coutiño *et al.*, 2008a).

selección recurrente aumentó a 4.7 % (un cambio de 9.3 % del C0 al C3; Cuadro 1). Este aumento es mayor a lo reportado por Dudley y Lambert (1992) en los ciclos de selección 26 al 52 de las poblaciones con alto contenido de aceite en material genético de Illinois, donde se logró un cambio de 0.14 % por ciclo de selección. En maíz hay gran variabilidad en contenido de aceites: 2 a 6 % en maíces mejorados y criollos (Llanos, 1984; Sorte *et al.*, 2005; Salinas *et al.*, 2008) y 5.8 % en criollos de la región de los valles altos del Estado de México (Salinas *et al.*, 2008). La variedad Teopisca-A C4 guarda las características que el agricultor chiapaneco prefiere (mazorcas largas, grano grande), y su rendimiento es mayor que los promedios de la región (Coutiño *et al.*, 2008a).

Al seleccionar mazorcas por contenido de aceite y aumentar su concentración, el rendimiento no cambió porque el tamaño del germen aumentó y la mayor cantidad de aceite está en esa estructura, mientras que el porcentaje de endospermo disminuyó (Cuadro 1). Como consecuencia aumentó la concentración de aceite en el grano sin cambiar su tamaño y peso; Weber (1991) reporta resultados similares. Si hay un aumento del germen y del contenido de aceite se reduce el porcentaje de almidón; por tanto, el incremento de aceite está correlacionado negativamente con la cantidad de almidón. Así, por cada 1 % de aumento en aceite, Dudley y Lambert (1992) reportan 1.25 % de reducción en el contenido de almidón.

When selecting maize ears for oil content and to increase its concentration, the yield was not affected, this is because the size of the germ was increased and the highest amount of oil is found in this structure, while the percentage of endosperm decreased (Table 1). As a consequence, oil concentration in kernel was increased without affecting the size and weight of it. Similar results were reported by Weber (1991). If there is an increase of the germ and oil content the percentage of starch is reduced, hence the increase of oil is negatively correlated with the amount of starch. Thus, for every 1 % increase in oil Dudley and Lambert (1992) report a 1.25 % reduction in starch content.

Fatty acids

In the pattern of FA there were significant differences between the two localities evaluated (Table 2). Thus, the contents of oleic and linoleic acids were higher in Chacaljocom, where higher oil content and grain yield was also obtained (Table 4). The increase of these acids represents a highly nutritional value for consumers of grain, due to their biological properties.

Weber (1991) considers that genetic factors have a greater influence on oil content and FA than the environmental factors such as fertilization, sowing dates and localities. Diseases and drought can reduce oil content from 3.8 to 3.1 % (Weber, 1991). In this study there was significance among varieties for

Cuadro 1. Promedios de seis variables de los sintéticos C1 a C3 correspondientes a tres ciclos de selección respecto a la variedad original (C0) y a la variedad comercial V-231-A.

Table 1. Average of six variables of the C1 to C3 synthetics corresponding to three cycles of selection in regard to the original variety (C0) and the commercial variety V-231-A.

Sint.	Aceite grano (%)	Germ. (%)	Endosp. (%)	Ren. (kg ha ⁻¹)	Peso 100 granos (g)	Tamaño de grano (cm)		
						Lag.	Anc.	Esp.
C0	4.3b	8.7c	83.9a	5.05 ab	43.98 a	1.11a	1.12a	0.54a
C1	4.5ab	8.9bc	83.8ab	5.49 ab	44.31 a	1.11a	1.10a	0.53a
C2	4.6ab	9.4ab	83.5ab	4.81 b	43.38 a	1.11a	1.10a	0.53a
C3	4.7a	9.a	83.3b	5.16 ab	42.01 a	1.10a	1.09a	0.53a
V-231A	4.5ab	9.1abc	83.8ab	5.70 a	44.24 a	1.14a	1.11a	0.52a
C.V.(%)	7.27	5.33	0.64	14.40	6.87	3.52	3.39	4.43

Sint.: sintéticos, Germ.: germen; Endosp.: endospermo; Lag.: largo; Anc.: ancho; Esp.: espesor; CV: coeficiente de variación. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ Synt.: synthetics, Germ.: germen; Endosp.: endosperm; Lag.: long; Anc.: wide; Esp.: thick; CV: coefficient of variation. Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

Ácidos grasos

En el patrón de AG hubo diferencias significativas entre las dos localidades evaluadas (Cuadro 2). Los contenidos de ácido oleico y linoleico fueron más altos en Chacaljocom, donde también se obtuvo mayor contenido de aceite y rendimiento de grano (Cuadro 4). El aumento de esos ácidos representa un alto valor nutricional para los consumidores del grano, dadas sus propiedades biológicas.

Weber (1991) considera que los factores genéticos tienen mayor influencia sobre el contenido de aceite y AG que los factores ambientales como fertilización, fechas de siembra y localidades. Las enfermedades y la sequía pueden reducir el contenido de aceite de 3.8 a 3.1 % (Weber, 1991). En el presente estudio hubo significancia entre variedades para algunas variables, pero la variación entre localidades fue comparativamente mayor (Cuadro 3). Sin embargo, Weber (1991) reporta un resultado diferente, probablemente porque sus experimentos se realizaron en ambientes relativamente uniformes, contrastando con los ambientes megadiversos que prevalecen en la mayoría de las áreas de temporal en Chiapas (Muñoz, 2005).

En los tres ciclos de selección, el rendimiento no cambió (Cuadro 1). Mišević y Alexander (1989) y Aramendiz y Tosello (1993) reportan que el incremento en el contenido de aceite se asocia con un detrimento en el rendimiento del grano. Sin embargo, dado que la selección de los granos para recombinación se hizo con las mazorcas de mejor aspecto y de mayor rendimiento, se aseguró que la selección progresara en el contenido de aceite sin sacrificar el rendimiento a través de los ciclos de selección.

Variables en conjunto y efecto de localidades

En 12 de 15 variables evaluadas hubo efecto significativo para localidades (Cuadro 3) y cuatro presentaron efecto significativo para variedades. Las marcadas diferencias entre las localidades se explican por los efectos ambientales durante el ciclo de temporal Primavera-Verano del 2008. La localidad más favorable fue Chacaljocom, donde no hubo sequía intraestival (INIFAP, 2008) y

some variables, but variation among localities was comparatively higher (Table 3). However, Weber (1991) reports a different result, probably because his experiments were carried out in relatively uniform environments, in contrast to the mega-diverse environments that prevail in most rainfed areas in Chiapas (Muñoz, 2005).

In the three cycles of selection, yield did not change (Table 1). Mišević and Alexander (1989) and Aramendiz and Tosello (1993) report that the increase in oil content is associated with a detrimental effect on grain yield. However, since the selection of grains for recombination was made from the best-looking and higher yielding ears, it was ensured that the selection will progress in the oil content without sacrificing the yield through the selection cycles.

Variables as a whole and effect of localities

In 12 of 15 variables evaluated there was significant effect for localities (Table 3) and four presented significant effect for varieties. Such marked differences among localities can be explained by the environmental effects observed during the rainfed Spring-Summer 2008 cycle. The most favorable location was Chacaljocom, where there was no intra-seasonal drought (INIFAP, 2008) and had a better soil condition. In Teopisca, strong winds caused lodge and in Diamante there were effects from corn cob residues of the previous cycle, due to the competition for N when a material with high content of cellulose

Cuadro 2. Efecto de las localidades Chacaljocom y Diamante en seis tipos de ácidos grasos.

Table 2. Effect of the localities Chacaljocom and Diamante in six types of fatty acids.

Ácidos grasos	Localidades	
	Chacaljocom	Diamante
Oleico (%)	31.3 a	29.1 b
Linoleico (%)	32.4 a	21.4 b
Linolénico (%)	0.8 ns	1.4 ns
Araquídico (%)	0.5 b	0.6 a
Estearico (%)	2.6 b	3.0 a
Palmítico (%)	11.5 b	13.1 a

ns: no significativo. Medias con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ ns: non significant. Means with different letters in a row are statistically different ($p \leq 0.05$).

tuvo mejor condición de suelo. En Teopisca vientos fuertes ocasionaron acame y en Diamante hubo efecto de residuos de olote del ciclo anterior, debido a la competencia por N cuando se incorpora un material con alto contenido de celulosa como olote o rastrojo seco. Esta competencia se refleja en una reducción del porte de la planta y retraso en la floración. Estas condiciones influyeron en los días a la floración, el rendimiento de las variedades, los porcentajes de aceite, endospermo, germen (Cuadro 4) y AG (Cuadro 2); pero no hubo efecto de localidades en el ácido linolénico (Cuadros 2 y 3). La ausencia de significancia para el factor variedades en los seis AG (Cuadro 3) sugiere que en éstos no hubo efecto de los ciclos de selección, pero sí de las localidades.

Aunque el rendimiento fue menor en la localidad de Teopisca, es importante señalar que el porcentaje de aceite en grano se mantuvo alto en las tres localidades (Cuadro 4). Las localidades de menor potencial de fertilidad y con sequía intraestival presentaron los promedios más bajos en porcentaje de aceite en grano y porcentaje de germen, pero su reducción no fue comparable a la del rendimiento.

Los CV fueron menores a 22 % (Cuadro 3), indicando que la variación aleatoria o del error experimental fue relativamente baja.

such as corncob or dry stubble is incorporated. This competition is reflected in a reduction of the plant height and a delay in flowering. These conditions affected the flowering days and the yield of varieties, and also the percentages of oil, endosperm, germ (Table 4) and FA (Table 2); but there was no effect of localities on the linolenic acid (Tables 2 and 3). The lack of significance for the factor varieties in the six FA (Table 3) suggests that these were not affected by the cycles of selection, but by the localities.

Although the yield was lower in the Teopisca locality, it is important to note that the percentage of oil in kernel remained high in the three localities (Table 4). Localities of lower potential of fertility and intra-seasonal drought showed the lowest averages in percentage of oil in kernel and percentages of germ, but their reduction was not comparable to that of yielding.

The CV were less than 22 % (Table 3), indicating that random variation or from the experimental error was relatively low.

Correlations

The weight of 100 grains was positively correlated with oil content (Table 5), similar to that reported by Mišević and Alexander (1989) and Abirami *et*

Cuadro 3. Cuadros medios de los factores de variación analizados para cada variable.

Table 3. Mean squares of the variation factors analyzed for each variable.

Variable	Localidades	Varietades	LOC×VAR	Error	CV (%)
Días a floración femenina	122.4**	4.5 ns	2.45 ns	2.9	1.7
Días a floración masculina	52.9**	3.9 ns	1.3 ns	1.9	1.4
Aceite en grano (%)	1.6**	0.3*	0.1 ns	0.1	7.3
Aceite en germen (%)	0.3 ns	0.6 ns	0.1 ns	2.2	3.7
Porcentaje de germen	5.9**	1.7**	0.1 ns	0.2	5.3
Porcentaje de endospermo	4.6**	0.9*	0.5 ns	0.3	0.6
Porcentaje de pericarpio	0.1 ns	0.2 ns	0.3 ns	0.2	6.4
Peso de 100 granos (g)	645.1**	10.9 ns	11.8 ns	8.9	6.9
Ácido palmítico (%)	6.5**	0.02 ns	4.4*	0.7	6.0
Ácido oleico (%)	6.0*	2.9 ns	6.6 ns	0.2	3.8
Ácido linoleico (%)	246.1**	1.0 ns	45.9 ns	21.3	17.4
Ácido linolénico (%)	0.6 ns	1.3 ns	0.9 ns	1.1	21.9
Ácido esteárico (%)	0.4*	0.03 ns	0.05 ns	0.1	13.2
Ácido araquídico (%)	1.1*	0.7 ns	0.9 ns	0.9	12.7
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	91.8**	1.6*	0.9 ns	0.6	14.4
GL	2	4	8	36	

LOC×VAR: interacción localidades×variedades; CV: coeficiente de variación; ns: no significativo; * significativo $p \leq 0.05$; ** significativo $p \leq 0.01$; GL: grados de libertad ❖ LOC×VAR: interaction localities×varieties; CV: coefficient of variation; ns: non significant; * significant $p \leq 0.05$; ** significant $p \leq 0.01$; GL: degrees of freedom.

Cuadro 4. Promedios de seis variables que mostraron significancia ($p \leq 0.05$) para localidades.**Table 4. Averages of six variables that showed significance ($p \leq 0.05$) for localities.**

Variable	Localidades		
	Chacaljocom	Diamante	Teopisca
Aceite en grano %	4.9 a	4.4 b	4.4 b
Endospermo %	83.2 b	83.5 b	84.2 a
Germen %	9.6 a	9.2 a	8.5 b
Peso de 100 granos (g)	48.8 a	44.3 b	37.5 c
Días a floración masculina	96.6 c	99.8 a	98.1 c
Rendimiento (kg ha^{-1})	7.17 a	5.56 b	2.93 c

Medias con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ Means with different letter in a row are statistically different ($p \leq 0.05$).

Correlaciones

El peso de 100 granos se relacionó positivamente con el contenido de aceite (Cuadro 5), similar a lo reportado por Mišević y Alexander (1989) y Abirami *et al.* (2007). El largo, ancho y espesor presentaron correlación positiva con el contenido de aceite y porcentaje de germen, pero negativa con el porcentaje de endospermo (Cuadro 5). Esto explica que la mayor cantidad de aceite se relacionó con granos más pesados y con mayor porcentaje de germen en el sintético C3 (Cuadro 1). Estos resultados se asemejan a los de Dudley y Lambert (1992) y Weber (1991).

La correlación del contenido de aceite en grano completo y en germen no fue significativa (Cuadro 6), ni tampoco con la mayoría de los AG. El análisis de estos resultados sugiere que el aumento en los porcentajes de aceite en los granos es independiente de los cambios en el perfil de AG. Por el contrario, Mišević y Alexander (1989) y Wassom *et al.* (2008) con el sintético Alexho y genotipos con alto contenido de aceite (IHO90), derivados por selección recurrente y evaluados en varias localidades durante cuatro años, encontraron correlaciones positivas entre el ácido oleico y el contenido de aceite, pero negativas con el ácido linoleico. Cinco de los seis AG determinados en el presente estudio presentaron cambios significativos por efecto de localidades (Cuadro 3), es decir, los factores ambientales cambiaron su comportamiento. De las 19 correlaciones entre los AG, 12 fueron significativas (Cuadro 6) lo que refleja asociación en sus patrones de respuesta a las variaciones entre localidades ya que el factor variedades no fue significativo en estos ácidos (Cuadro 3).

al. (2007). Length, width, and thickness presented positive correlation with oil content and percentage of germ but negative with the percentage of endosperm (Table 5), which explains why the largest amount of oil was related to heavier grains and with higher percentage of germ in the synthetic C3 (Table 1). These results are similar to those obtained by Dudley and Lambert (1992) and Weber (1991).

The correlation of the oil content in whole kernel and in germ was not significant (Table 6), neither with most of the FA. The analysis of these results suggests that the increase in the percentage of oil in kernels is independent of changes in the FA profile. On the contrary, Mišević and Alexander (1989) and Wassom *et al.* (2008), with the synthetic Alexho and genotypes with high oil content (IHO90), derived by recurrent selection and evaluated in several localities during four years, found positive correlations between the oleic acid and the oil content, but negative with the linoleic acid. Five of the six FA determined in this study showed significant changes by effect of localities (Table 3), which indicates that the environmental factors affected their behavior. Of the 19 correlations among the FAs, 12 were significant (Table 6) which reflects association in their patterns of response to the variations among localities since the varieties factor was not significant in these acids (Table 3).

Heritability

Oil content in maize kernels (Table 7) was similar to that of 0.11 reported by Cheesbrough *et*

Cuadro 5. Correlaciones entre variables del grano.
Table 5. Correlations among variables of grain.

	Peso 100 granos	Granos		
		Longitud	Ancho	Espesor
Aceite en grano (%)	0.48**	0.83**	0.70**	0.62**
Germen (%)	0.52**	0.51**	0.27*	0.25
Endospermo (%)	-0.42**	-0.43**	-0.30*	-0.23

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$.

Heredabilidad

El contenido de aceite en los granos de maíz (Cuadro 7) fue similar al de 0.11 reportado por Cheesbrough *et al.* (1997). Dudley y Lambert (1992) indican una heredabilidad mayor en 500 líneas *per se* de maíz con 0.89 y 0.77 para sus cruzas, lo cual es comparable con lo obtenido por Wasson *et al.* (2008) en líneas y genotipos de B73 y IHO90: 0.86 en retrocruzas y 0.91 en híbridos de cruce triple.

En el germen, el porcentaje de aceite mostró una heredabilidad menor en comparación al grano completo, pero su distribución porcentual en el grano correspondió a un porcentaje mayor. La heredabilidad del porcentaje de endospermo fue similar al aceite y el espesor del grano mostró un porcentaje bajo respecto a otros caracteres del grano. El porcentaje de pericarpio, largo y ancho de grano tuvieron estimaciones negativas no reportadas aquí. Los

al. (1997). Dudley and Lambert (1992) point out a higher heritability in 500 lines *per se* of maize with 0.89 and 0.77 for their crosses, which is comparable with those obtained by Wasson *et al.* (2008) in lines and genotypes of B73 and IHO90: 0.86 in backcrosses and 0.91 in three-way cross hybrids.

In the germ, the oil percentage showed a lower heritability compared to the whole grain, but its percentage distribution in the grain accounted for a higher percentage. The percentage of endosperm showed a heritability similar to oil and the thickness of grain showed a low percentage, in regard to other traits of the grain. The percentage of pericarp, length and width of kernel had negative estimates which are not recorded. Stearic and linolenic acids showed positive estimates but the rest of acids had negative estimates; therefore, they are not shown.

Cuadro 6. Correlaciones entre ácidos grasos (AG), aceite en grano completo y germen en los sintéticos evaluados en tres localidades del estado de Chiapas, México 2008.**Table 6. Correlations among fatty acids (FA), oil in whole kernel and germ in the synthetics evaluated in three localities of the state of Chiapas, México 2008.**

	AL	AGR	ACG	APA	AES	AAQ	ALN
AOL	0.76**	-0.01	0.22	-0.63*	-0.52	-0.69*	0.48
AL		0.07	0.08	-0.84**	-0.90**	-0.79**	0.84**
AGR			0.31	-0.11	-0.05	-0.24	-0.23
ACG				0.02*	0.04	0.39	-0.30
APA					0.73**	0.87**	-0.68*
AES						0.63*	-0.79**
AAQ							-0.55

AOL: ácido oleico; AL: ácido linoleico; AGR: contenido de aceite en grano completo; ACG: contenido de aceite en germen; APA: ácido palmítico; AES: ácido esteárico; AAQ: ácido araquídico; ALN: ácido linolénico * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$. ❖ AOL: oleic acid; AL: linoleic acid; AGR: oil content in whole grain; ACG: oil content in germ; APA: palmitic acid; AES: stearic acid; AAQ: arachidonic acid; ALN: linolenic acid. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$.

Cuadro 7. Heredabilidad estimada en caracteres de grano y ácidos grasos.**Table 7. Estimated heritability in grain and fatty acid traits.**

	% aceite		% germen	% endospermo	Espesor de grano	Ácido	
	Grano	Germen				Esteárico	Linolénico
H ² (%)	0.13	0.06	0.44	0.16	0.04	0.01	0.31

H²: heredabilidad en sentido amplio; % porcentaje ❖ H²: heritability in broad sense; % percentage.

ácidos esteárico y linolénico mostraron estimaciones positivas, pero los otros ácidos tuvieron estimaciones negativas; por tanto, no se presentan.

CONCLUSIONES

El contenido de aceite en los granos de maíz se incrementó por efecto de la selección recurrente, sin cambiar el rendimiento. Los aumentos en los porcentajes de aceite en el grano mostraron una correlación positiva con el incremento en el porcentaje de germen y peso de grano.

El contenido de aceite en el grano completo presentó un valor de heredabilidad mayor en comparación con el contenido de aceite en germen.

El factor ambiental fue determinante en la expresión de la mayoría de las variables evaluadas, incluyendo los ácidos grasos.

El incremento del contenido de aceite favoreció el aumento en la proporción de ácido oleico y linoleico, los cuales son importantes para la salud humana.

LITERATURA CITADA

- Abirami S., C. Vanniarajan, S. Arumugachamy, and D. Uma. 2007. Correlation and path coefficient analysis for morphological and biochemical traits in maize genotypes. *Plant Arch.* 7(1): 109-113.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 90.
- Aramendiz T., H., y G. Tosello A. 1993. Correlación entre contenido de aceite, rendimiento y otros caracteres agronómicos en maíz (*Zea mays* L.). *ICA (Colombia)* 28(2): 129-135.
- Coutiño-Estrada, B., and G. Vázquez-Carrillo. 2007. Progress in breeding high quality protein (OPAQUE-2) in Mexican corn landraces. *In: ICC Int. Conf. on Cereals and Cereal Products Quality and Safety*. Rosario, Argentina. pp: 1-3.
- Coutiño E., B., G. Vázquez C., B. Torres M., y Y. Salinas M. 2008a. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades

CONCLUSIONS

Oil content in maize kernels was increased by effect of the recurrent selection, without affecting yield. The increases in the percentages of oil in the kernel showed a positive correlation with the increase in the percentage of germ and grain weight.

The oil content in the whole kernel showed a higher value of heritability compared with oil content in germ.

The environmental factor was determinant in the expression of most variables evaluated, including the fatty acids.

The increment in oil content enhanced an increase in the proportion of oleic and linoleic acid, which are important for health human.

—End of the English version—



- de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (Núm. Especial 3): 9-14.
- Coutiño E., B., A. Ortega C., V. A. Vidal M., G. Sánchez G., y S. I. García A. 2008b. Selección recurrente para incrementar el contenido de aceite en maíz Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (Núm. Especial 3): 5-8.
- Cheesbrough T. M., K. Snow, M. C. Schneerman, and D. F. Weber. 1997. Fatty acid compositions of maize races from central and south America. *Maydica* 42: 155-161.
- Dudley J. W., and R. J. Lambert. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81-87.
- Duffus, C., y C. Slaughter. 1985. *Las Semillas y sus Usos*. AGT Editor. México, D.F. 188 p.
- Galicia, L., E. Nurit, A. Rosales, and N. Palacios-Rojas. 2009. *Maize Nutrition Quality and Plant Tissue Analysis Laboratory*. Laboratory Protocols 2008. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. 42 p.
- INIFAP. 2008. Reporte de lluvia diaria para el estado de Chiapas. *In: Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas*. Instituto

- Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ocozocoautla, Chiapas. 249 p.
- Lambert, R. J. 1994. High oil corn hybrids. *In*: Hallauer, A. R. (ed). Specialty Corns. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. pp: 123-145.
- Llanos, M. 1984. El Maíz, su Cultivo y Aprovechamiento. Mundi-Prensa. España. 290 p.
- Mišević D., and D. E. Alexander. 1989. Twenty-four cycles of phenotypic recurrent selection for percent oil in maize. I. Per se and test-cross performance. *Crop Sci.* 29: 320-324.
- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT Editor. México, D.F. 349 p.
- Muñoz O., A. 2005. Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. 2ª. ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 210 p.
- Ortiz-Monasterio, J. I., N. Palacios-Rojas, E. Meng, K. Pixley, R. Trethowan, and R. J. Peña. 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *J. Cereal Sci.* 46: 293-307.
- Poehlman J. M., y S. D. Allen. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2ª ed. Editorial LIMUSA. México, D.F. 511 p.
- Rezanka T., J. Vokoun, J. Slavicek, and M. Podojil. 1983. Determination of fatty acids in algae by capillary gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromat.* 268: 71-78.
- Ronayne de Ferrer, P. A. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch. Argent. Pediatr.* 98(4): 231-238.
- Salinas M., Y., y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalero-tortillera en maíz. Folleto Técnico No. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México. 91 p.
- Salinas M., Y., A. Saavedra S., R. Soria J., y T. Espinosa E. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3): 357-364.
- SAS (Statistical Analysis System Institute). 2002. SAS/STAT User's Guide, Software version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 27513. USA.
- Serna-Saldivar, S. O., C. Amaya Guerra, P. Herrera Macías, J. L. Melesio Cuellar, R. E. Preciado-Ortiz, A.D. Terron-Ibarra, and G. Vázquez Carrillo. 2008. Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. *Plant Foods Hum. Nutr.* 63: 119-125.
- Sorte N., V., K. M. Phad, S. Balachandran, M. B. More, and P. S. Titare. 2005. Chemical and bio-chemical traits in maize composites. *J. Soils Crops* 15(2): 424-427.
- Velasco L., and J. M. Fernández-Martínez. 2002. Breeding oilseed crops for improved oil quality. *J. Crop Prod.* 5: 309-344.
- Wassom, J. J., V. Mikkelineni, M. O. Bohn, and T. R. Rocheford. 2008. QTL for fatty acid composition of maize kernel oil in Illinois High Oil×B73 backcross-derived lines. *Crop Sci.* 48: 69-78.
- Weber, E. J. 1991. Lipids of the kernel. *In*: Watson, S. A., and P. E. Ramstad (eds). Corn. Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 311-342.