

SELECCIÓN RECURRENTE PARA INCREMENTAR EL CONTENIDO DE ACEITE EN MAÍZ COMITECO

RECURRENT SELECTION FOR INCREASING OIL CONTENT IN COMITECO CORN

Bulmaro Coutiño Estrada^{1*}, Alejandro Ortega Corona², Víctor A. Vidal Martínez³, Grisel Sánchez Grajales¹ y Sergio I. García Acuña¹

¹Campo Experimental Centro de Chiapas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 3 Carretera Ocozacoautla-Cintalapa. Ocozacoautla, Chiapas, México, y Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas. Tel y fax 01(968) 688-2918 Ext 114. ²Laboratorio del Campo Experimental Valle del Yaqui, Son. INIFAP. ³Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nay. INIFAP.

* Autor para correspondencia (coutino.bulmaro@inifap.gob.mx)

RESUMEN

Los maíces (*Zea mays* L.) con mayor contenido de aceite son una buena alternativa para la industria de alimentos por su alto valor energético. Sin embargo, en México aún no existen variedades comerciales con esta característica. El objetivo de este trabajo fue incrementar el contenido de aceite en la variedad comiteca 'Teopisca-A' mediante selección recurrente de familias de medios hermanos. En 2004 se determinó el contenido inicial de aceite y proteína de 200 familias (C₀), y de las 50 con los mayores contenidos se seleccionaron individualmente las semillas con más aceite, las cuales se sembraron al año siguiente en un lote aislado de recombinación, en la proporción de cuatro surcos hembras por dos surcos del polinizador, formado por el compuesto de las mismas 50 familias. Se realizaron dos ciclos de selección, y sus características de mazorca y grano, contenidos de aceite y proteína de las 200 familias de los C₁ y C₂ se compararon con las del C₀ para observar el diferencial de selección. Los resultados indicaron que las medias originales de longitud y diámetro de mazorca, granos por mazorca, peso de grano y contenido de aceite se incrementaron ($P \leq 0.05$), pero el contenido de proteína disminuyó con la selección.

Palabras clave: *Zea mays*, selección recurrente, aceite, proteína.

SUMMARY

Corns (*Zea mays* L.) varieties with higher oil content are a good alternative for the food industry due to their high energetic value. However, commercial varieties with this characteristic do not yet exist in México. The objective of this work was to increase the oil content in the 'Teopisca-A' variety through half-sib recurrent selection. The initial oil and protein content from 200 families (C₀) was determined in 2004 and, individual seeds with the highest oil content from the best 50 families, were planted the following year in an iso-

lated lot for recombination, using the proportion four female-rows by two male-rows, the latter as pollinator, formed by a composite of the same 50 families. Two selection cycles were carried out. Some ear and grain characteristics and of oil and protein contents were compared to the original population to observe the differential selection tendency. Results indicated that the original means of ear length and diameter, grains per ear, grain weight and oil content were increased ($P \leq 0.05$) whereas protein content diminished through the selection cycles.

Index words: *Zea mays*, recurrent selection, oil, protein.

INTRODUCCIÓN

El grano de maíz (*Zea mays* L.) contiene de 67.8 a 74.0 % de almidón, de 8.1 a 11.5 % de proteína y de 3.9 a 5.8 % de aceite o grasa, distribuidos en el endospermo, embrión, pericarpio y pedicelo; el endospermo contiene alrededor de 88 % de almidón, 1 % de aceite y 8 % de proteína, mientras que en el embrión se encuentra 8 % del almidón, 33 % del aceite y 18 % de la proteína del grano (Inglett, 1970); de ellos se obtiene una gran diversidad de productos destinados a la alimentación humana y animal, así como para las industrias de aceite (Pons, 2003), grasas comestibles, farmacéuticos, cosméticos, adhesivos, textil, plásticos biodegradables, alcohol, licores, cerveza y diferentes tipos de almidón para usos específicos, los cuales son obtenidos a través del proceso industrial de molienda húmeda o seca. La industria de la molienda húmeda del grano de maíz se inició en los EE. UU. hace 150 años, con la producción de almidón para el negocio de lavanderías y posteriormente para la producción de glucosa; en el año 2000 esta industria obtuvo una producción de 8 626 000, 2 708 000 y 593 000 toneladas métricas de almidón, aceite y alimentos con base en el embrión, respectivamente (Butzen y Hobbs, 2002).

La modificación de la composición química del grano es uno de los principales objetivos del mejoramiento genético actual de cereales, en los cuales el aceite, la proteína y el almidón son características que están correlacionadas (Dudley y Lambert, 1992, 2004; Narváez-González *et al.*, 2007). Estudios recientes han identificado al menos de 38 a 40 *loci* de características cuantitativas (QTL's) para concentraciones de aceite, proteína, almidón y peso de grano, los cuales tienen efectos pequeños e implicaciones en las estrategias de su mejoramiento (Clark *et al.*, 2006; Berke y Rocheford, 1995). En 1896 la Universidad de Illinois inició un esquema de selección recurrente divergente para cambiar el contenido de aceite de una variedad de maíz de polinización libre que tenía inicialmente 47 g kg⁻¹; después de 104 generaciones obtuvieron el genotipo 'Illinois High Oil' con una media de 206 g kg⁻¹ de aceite, mientras que la selección para bajo contenido de aceite fue interrumpida después de 89 generaciones

debido a la dificultad de medir cantidades tan bajas (Clark *et al.*, 2006).

El aceite del embrión tiene 2.5 veces más energía por unidad de peso que el almidón del endospermo, con base en peso seco, por lo que al incrementar el contenido de aceite se incrementa la eficiencia energética del grano oleico (Watson y Freeman, 1975). La investigación de maíz en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias contribuye a la diversificación del maíz, con genotipos mejorados competitivos que por sus características proporcionen un valor agregado al productor de grano, al industrial y al consumidor, ya sea por su productividad o calidad. Dado que en México no existen variedades o híbridos comerciales con alto contenido de aceite, el objetivo de esta investigación fue incrementar el contenido de aceite en una variedad experimental de maíz de grano amarillo de la raza Comiteco, ya que en la región de la Meseta Comiteca, que es la segunda región productora de maíz en Chiapas, se siembran tradicionalmente variedades amarillas y existe la demanda de estos granos por la industria de alimentos pecuarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

La población original de maíz que se utilizó en este estudio fue la variedad 'Teopisca-A', la cual se obtuvo de cuatro ciclos de selección recurrente dirigidos a incrementar el rendimiento de grano, en la población de amplia base genética 'Comiteco Amarillo'. El 10 de mayo del 2004 se sembró en Teopisca, Chiapas (1760 m de altitud), un lote aislado de incremento de semilla de esta variedad. Durante la floración fueron eliminadas las plantas con fenotipos indeseables y en la cosecha (enero del 2005) se seleccionaron visualmente las mejores 200 mazorcas o familias de medios hermanos (FMH), consideradas el C₀ de selección; las mazorcas se secaron al sol y se les midió: peso, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera; posteriormente, se desgranaron y se registró: peso de grano, humedad y número total de granos. De la parte central de la mazorca se obtuvieron 200 semillas (tipo plano) y se enviaron al laboratorio, Sonora, para la determinación del contenido de aceite y proteína.

Estas variables químicas se determinaron en dos espectrofotómetros de transmisión de rayos infrarrojos cercanos que analizan granos (Infratec® 1241 e Infratec® 1255, de Foss de Dinamarca)¹. El primero se utilizó para las muestras de 200 semillas por familia, y en el segundo analizador, provisto con carrusel de 23 receptáculos se

examinaron con precisión las semillas individuales. Para contenido de aceite se aplicó una presión de selección entre familias de 25 % y las 100 semillas con mayor contenido de aceite de las mejores 50 familias se regresaron a Teopisca, Chiapas, para hacer su recombinación genética.

El 12 de mayo del 2005 se estableció un lote aislado de las 50 mejores familias en Teopisca, Chis. (16° 32' LN y 92° 28' LO), en parcelas de un surco de 10 m de longitud y 0.85 m de ancho, con matas de dos plantas cada 60 cm; un compuesto balanceado con las 50 familias sirvió como polinizador, con siembra en la proporción de cuatro surcos hembra por dos surcos macho. Antes de la floración se desespigaron todas las plantas de los surcos hembra y las anormales de los surcos macho. A la cosecha (6 de diciembre) se seleccionaron visualmente cuatro mazorcas con el mejor fenotipo dentro de cada familia para generar nuevamente 200 FMH, las cuales se secaron al sol y se les tomaron las mediciones respectivas, para construir el C₁ de selección. Una vez desgranadas las mazorcas fueron enviadas al laboratorio para su determinación de aceite y proteína. El procedimiento se repitió durante el ciclo agrícola de temporal del año 2006 y las 200 familias generadas constituyeron el C₂ de selección. Durante los tres años de estudio, la siembra de las familias que se recombinaron se hizo en el mismo terreno de Teopisca, Chis.

Los datos de las variables medidas en las 200 familias de los ciclos C₀, C₁ y C₂ se analizaron con el procedimiento GLM del SAS (Versión 9.1), de acuerdo con el modelo estadístico lineal: $y_{ij} = \mu + C_i + F_j(C_i) + \epsilon_{ij}$ en el que se consideraron como efectos principales a los ciclos de selección y las familias dentro de ciclos, debido a que no se evaluaron las mismas familias a través de ciclos, sino que cada ciclo de selección tuvo sus propias familias. Se hizo un análisis de medias con la DMS ($P \leq 0.05$) para la separación de las medias de cada variable; también se corrió un análisis de correlación fenotípica para conocer la relación entre las variables físicas y químicas registradas en las familias del C₀ y las del C₂.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar los datos de la población original (C₀) con los ciclos uno y dos (C₁ y C₂) se encontraron incrementos ($P \leq 0.05$) en longitud de mazorca, número total de granos y peso, así como ganancias significativas en el peso de grano y contenido de aceite, y decrementos en el contenido de proteína (Cuadro 1).

La longitud de la mazorca estuvo correlacionada con el número de granos por hilera ($r = 0.54^*$), número total

¹ <http://www.foss.dk/Solutions/ProductsDirect/Infratec1241GrainAnalyzer.aspx> (Consultado 12 abril 2008).

de granos ($r = 0.35^*$), peso de mazorca ($r = 0.47^*$) y peso de grano ($r = 0.47^*$), mientras que el peso de grano estuvo correlacionado con diámetro de mazorca ($r = 0.62^*$), número de hileras ($r = 0.25^*$), número total de granos ($r = 0.26^*$) y contenido de proteína ($r = 0.29^*$); la correlación entre los contenidos de proteína y de aceite no fue significativa. Dudley (2007) reportó correlaciones bajas y positivas entre contenido de aceite y de proteína, en estudios de cruzamientos entre progenitores con alto x bajo contenido de aceite y alto x bajo contenido de proteína, lo que indica que la selección para elevar el contenido de aceite tiende a reducir el contenido de almidón y puede resultar en un pequeño incremento en la cantidad de proteína. Dudley *et al.* (2004) atribuyeron las bajas correlaciones involucradas con aceite principalmente a la baja varianza de sus materiales genéticos utilizados. En contraste, Clark *et al.* (2006) encontraron una correlación positiva con 60 % de los QTL's significativos para aceite y efectos aditivos del mismo signo para proteína, lo que indica que es posible la selección para alto contenido de ambos caracteres; de igual forma, encontraron una correlación negativa entre el contenido de aceite y el de almidón, el cual puede resultar de cambios en la proporción embrión-endospermo, dado que el aceite se encuentra principalmente en el embrión y el almidón en el endospermo.

La variación significativa ($P \leq 0.01$) que se encontró en las variables físicas y en los contenidos de proteína y de aceite fue debida principalmente a los ciclos de selección, además de alguna influencia ambiental no cuantificada. Las 200 FMH analizadas de la población original o C_0 obtenidas en 2004 tuvieron contenidos promedio de aceite de 3.71 % y de proteína de 10.57 %; en las FMH del ciclo C_1 obtenidas en 2005, el contenido de aceite se incrementó ($P < 0.05$) a 4.12 % y disminuyó ($P \leq 0.05$) a 9.82 % el de proteína (Cuadro 1); en las FMH del ciclo C_2 obtenidas en 2006, el contenido de aceite fue igual al C_1 pero el de proteína volvió a disminuir significativamente, en concordancia con los resultados de Dudley *et al.* (2004), quienes encontraron 0.1 % menos proteína después de cuatro generaciones de apareamiento aleatorio entre sus progenitores con alto y bajo contenido de aceite.

Aunque sólo se presentan avances de dos ciclos de selección recurrente en la variedad de maíz 'Teopisca-A', hubo una ganancia ($P < 0.05$) en el contenido de aceite de 0.41 y 0.36 % con respecto al C_0 (Cuadro 1), con valores máximos de 4.4 a 4.8 % en algunas de las mejores 50 familias de los ciclos C_0 , C_1 y C_2 , las cuales fueron recombinadas genéticamente (Figura 1). Otra manera de lograr mayores ganancias en el contenido de aceite sería utilizando familias de hermanos completos, con las cuales se aprovecha una mayor proporción de la varianza aditiva existente en la población, en comparación con las familias de medios hermanos. Por ello, en el ciclo agrícola primavera-verano 2007 se inició el C_3 con esta modificación. Al concluir el C_3 será conveniente evaluar todos los ciclos de selección en varias localidades de la región para comparar el contenido de aceite de los ciclos y estimar la influencia de los ambientes de prueba en las variables físicas y químicas del grano. Los resultados de los dos ciclos de selección realizados permiten afirmar que la obtención de variedades de maíz de grano amarillo con mayores contenidos de aceite a los maíces comunes es posible mediante la selección familiar, lo que podría contribuir en un futuro a dar mayor rentabilidad con su mayor valor energético, principalmente a las cadenas agropecuarias avícola y porcina.

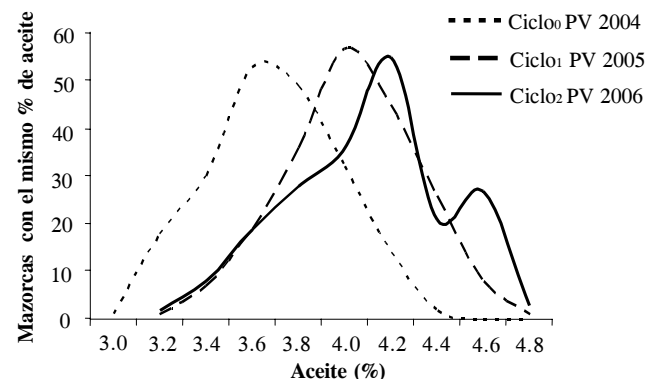


Figura 1. Frecuencia de mazorcas con respecto a contenido de aceite de 200 familias de medios hermanos de la variedad 'Teopisca-A' en el ciclo original (C_0) y en dos ciclos de selección recurrente. Teopisca, Chiapas.

Cuadro 1. Características promedio de 200 familias de medios hermanos provenientes de tres ciclos de selección recurrente en la variedad 'Teopisca-A'. Teopisca, Chiapas.

Ciclos	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Peso de mazorca (g)	Peso de grano (g)	Proteína (%)	Aceite (%)
C_0	18.8 b	398.8 b	163.0 b	127.0 c	10.57 a	3.71 b
C_1	18.5 b	378.5 c	203.0 a	159.0 b	9.82 b	4.12 a
C_2	21.9 a	433.3 a	208.0 a	164.0 a	9.37 c	4.07 a
DMS _(0.05)	0.34	12.4	6.0	4.7	0.17	0.07
CV (%)	8.7	15.7	16.0	15.9	9.1	8.9

Medias con letras diferentes en una columna son diferentes (DMS, 0.05). CV = Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

Dos ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos realizados en la variedad de maíz 'Teopisca A' permitieron observar cambios significativos en caracteres de mazorca y grano, al incrementar la longitud, el peso y el número total de granos por mazorca; además, se lograron ganancias en peso del grano y en contenido de aceite, asociados con reducciones en contenido de proteína.

BIBLIOGRAFÍA

- Berke T G, T R Rocheford (1995)** Quantitative trait loci for flowering, plant and ear height, and kernel traits in maize. *Crop Sci.* 35:1542-1549.
- Butzen S, T Hobbs (2002)** Corn processing III: Wet milling. *Crops Insights* 12:1-6.
- Clark D, J W. Dudley, T R Rocheford, J R LeDeaux (2006)** Genetic analysis of corn kernel chemical composition in the random mated 10 generation of the cross generations 70 of IHO x ILO. *Crop Sci.* 46:807-819.
- Dudley J W, A Dijkhuizen, C Paul, S T Coates, T R Rocheford (2004)** Effects of random mating on marker-QTL associations in the cross of the Illinois High Protein x Illinois Low Protein maize strains. *Crop Sci.* 44:1419-1428.
- Dudley J W, R J Lambert (1992)** Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37:81-87.
- Dudley J W, R J Lambert (2004)** 100 generations of selection for oil and protein in corn. *Plant Breed. Rev.* 24:79-110.
- Dudley J W (2007)** From means to QTL: The Illinois long-term selection experiment as a case of study in Quantitative Genetics. *Crop Sci.* 47:5-20-5-31.
- Inglett G E (1970)** Kernel structure, composition, and quality. *In: Corn: Culture, Processing, Products.* G E Inglett (ed). The Avi Publishing Co. Westport, Connecticut, USA pp:123-150.
- Narváez-González E D, J D Figueroa, S Taba, E Castaño, R A Martínez-Peniche (2007)** Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:269-277.
- Pons L (2003)** Heart-friendly corn oil? New high-oleic corn varieties make it possible. Agricultural Research Service. USDA. <http://www.ars.usda.gov/is/ar/archive/aug03/corn0803.htm> (17 noviembre 2007).
- Watson S A, J E Freeman (1975)** Breeding corn for increased oil content. *In: Proc. 30th Annual Corn and Sorghum Res. Conf.* Chicago, IL. 4-5 Dec. 2005. H D Loden, D Wilkinson (eds). Am. Seed Trade Assoc., Washington, D.C. 30:251-275.