



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**RESPUESTA A LA SELECCIÓN PARA CONTENIDO DE
ACEITE EN UNA VARIEDAD DE MAÍZ DE LA RAZA
COMITECO**

BRAULIO TORRES MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

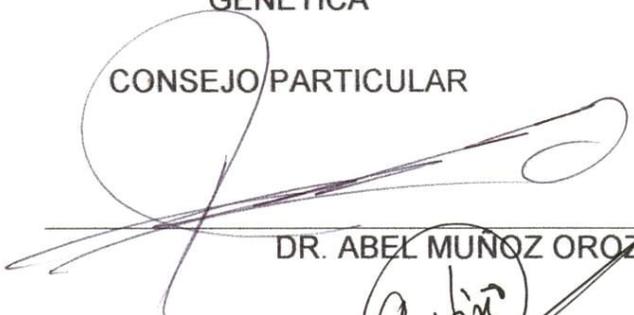
2010

La presente tesis, titulada: **Respuesta a la selección para contenido de aceite en una variedad de maíz de la raza Comiteco**, realizada por el alumno: **Braulio Torres Morales**, 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. ABEL MUÑOZ OROZCO

DIRECTOR DE TESIS:


DR. BULMARO CONTIÑO ESTRADA

ASESOR:


DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA

ASESOR:


DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2010

DEDICATORIA

A la memoria de mi amigo y tío muy querido, José Antonio Torres Bravo† (Q.P.D.) por su enorme apoyo, cariño y amor que durante su hermosa vida me demostró y por sus muchos consejos, enseñanzas y ejemplo de vida que prevalecerán en mí para ser mejor en lo personal y profesional. ¡¡¡Te llevare siempre en mi corazón!!!

A dos grandes personas que amo y respeto, por el apoyo brindado siempre en todos los momentos de mi vida, que con su esfuerzo, amor y cariño han logrado, con muchos sacrificios y esfuerzos, educarme y ser hombre de bien; sabiendo que no existen palabras para agradecerles todo su apoyo...a ustedes queridos padres con todo el amor que se merecen:

María Guadalupe Morales Pérez

y

Braulio Torres Cruz

A mis herman@s: Marlith, Erika y Cleyver Torres Morales, por su amor y cariño, así como por todas las vivencias juntos.

A mi tía María Elena Capistrán de la Cruz, por estar conmigo ofreciéndome su apoyo incondicional y ser un ejemplo de humildad y sencillez.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y la oportunidad de continuar con mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento económico asignado para desarrollar mis estudios de Maestría en tan respetable colegio.

Al Colegio de Postgraduados, en específico a la especialidad de Genética del Instituto de Recursos genéticos y Productividad, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad para desarrollar y adquirir nuevos conocimientos en aras del quehacer científico, personal, profesional y laboral.

A mi consejo particular, que me ha guiado en el transcurso de mis estudios aportando sus experiencias, observaciones y sugerencias para desarrollar un buen trabajo de investigación

Al Dr. Bulmaro de Jesús Coutiño Estrada, por el apoyo, atención y compromiso firme otorgado a mi persona para realizar mis estudios de maestría, así como por su enorme compromiso entregado en la dirección y culminación de la tesis.

Al Dr. Abel Muñoz Orozco, por su dedicación y esmero y atención entregadas durante el proceso de mi formación profesional al dirigir acertadamente mis actividades académicas y de investigación.

Al Dr. Amalio Santacruz Varela, por su compromiso empeñado al asesorarme en la etapa de escritura de la tesis y por sus excelentes aportaciones para que el trabajo de investigación culminara satisfactoriamente.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras, por sus muchas aportaciones, observaciones y sugerencias entregadas en cada reunión para realizar un buen trabajo de investigación y en la redacción de la tesis, además de ser una excelente persona y brindarme su apoyo y amistad.

A la Dra. Natalia Palacios Rojas, por arbitrar el trabajo de investigación en la parte de los análisis de laboratorio aportando su vasta experiencia en la materia, así como y a todo su equipo de trabajo, por la dedicación, apoyo directo en las actividades realizadas en el laboratorio de Nutrición Vegetal y de Maíz, CIMMYT.

Familiares:

A mis suegros Elsy Hernández Pérez y David López Moreno, por el enorme y valioso apoyo incondicional otorgado y por cobijarme como uno más de la familia.

A mi esposa Anayeli López Hernández por su amor, apoyo, cariño y comprensión al acompañarme en todo momento y ser partícipe del esfuerzo entregado para el logro de mis estudios de maestría.

A todos mis compañeros de estudio, amigos y personas que en cierta medida contribuyeron con su apoyo desinteresado en los múltiples momentos vividos durante el postgrado.

CONTENIDO

Lista de cuadros	viii
Lista de figuras	x
RESUMEN GENERAL	xiii
GENERAL SUMMARY	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. Objetivos.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Literatura citada.....	4
CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SINTÉTICOS DE MAÍZ OBTENIDOS POR SELECCIÓN RECURRENTE PARA INCREMENTO DE ACEITE EN GRANO	5
1.1 Resumen	5
1.2 Abstract	6
1.3 INTRODUCCIÓN.....	7
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.4.1 Material genético utilizado y sus antecedentes	9
1.4.2 Sitios experimentales	10
1.4.3 Diseño y unidad experimental	10
1.4.4 Manejo agronómico de los experimentos.....	11
1.4.5 Variables evaluadas.....	11
1.4.6 Análisis estadístico.....	12
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
1.5.1 Análisis de varianza	13
1.5.2 Efecto de las localidades.....	14
1.5.3 Efecto de la selección	16
1.5.4 Interacción Variedades x Localidades.....	18
1.5.5 Análisis de correlaciones.....	19
1.6 CONCLUSIONES.....	21
1.7 RECOMENDACIÓN	21
1.8 LITERATURA CITADA	21

CAPÍTULO II. EFECTO DE LA SELECCIÓN RECURRENTE EN EL CONTENIDO DE ACEITE DEL GRANO DE MAÍZ	27
2.1 Resumen	27
2.2 Abstract	28
2.3 INTRODUCCIÓN.....	29
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.4.1 Material genético.....	31
2.4.2 Variables estudiadas	31
2.4.2.1 Proporción de las estructuras del grano	31
2.4.2.2 Dimensiones del grano	32
2.4.2.3 Peso de 100 granos.....	32
2.4.2.4 Contenido de aceite en grano completo	32
2.4.2.5 Contenido de aceite en germen.....	33
2.4.2.6 Determinación del perfil de ácidos grasos	34
2.4.2.7 Rendimiento de grano.....	34
2.4.3 Análisis estadístico.....	35
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
2.5.1 Análisis de varianza	35
2.5.2 Efecto de las localidades sobre las características físicas del grano	37
2.5.3 Efecto de las localidades sobre los ácidos grasos	38
2.5.4 Efectos de la selección.....	39
2.5.5 Interacción Localidades x Variedades.....	43
2.5.6 Análisis de correlaciones.....	44
2.5.7 Estimaciones de heredabilidad	47
2.6 CONCLUSIONES.....	49
2.7 RECOMENDACIONES.....	50
2.8 LITERATURA CITADA	50
III. CONCLUSIONES GENERALES	56
APÉNDICE A. Proceso para extracción de aceite en grano y germen; mediciones y peso de 100 granos.....	58
APÉNDICE B. Mazorcas correspondientes a cada una de las parcelas cosechadas en las tres localidades de evaluación.....	67

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1.1	Cuadrados medios y significancia de los valores de F en los factores de variación estudiados en 16 variables analizadas.....	13
Cuadro 1.2	Efecto de las localidades de evaluación sobre tres variables.....	15
Cuadro 1.3	Efecto de las localidades de evaluación sobre nueve variables que mostraron significancia ($P \leq 0.01$).....	16
Cuadro 1.4	Efecto de variedades sobre cuatro variables significativas.....	17
Cuadro 1.5	Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas determinadas en los materiales evaluados en Chiapas, ciclo agrícola PV 2008.....	20
Cuadro 2.1	Cuadrados medios y significancia de los valores de F en los factores de variación estudiados para 15 variables analizadas...	36
Cuadro 2.2	Efecto de las localidades Chacaljocom, Teopisca y Diamante en ocho variables que mostraron significancia.....	38
Cuadro 2.3	Efecto de las localidades Chacaljocom y Diamante en cinco tipos de ácidos grasos que mostraron significancia.....	39
Cuadro 2.4	Comportamiento de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección respecto a la variedad origina (C0) y a la variedad comercial V-231 en las variables que mostraron significancia.....	40
Cuadro 2.5	Correlaciones y su significancia entre variables del grano.....	45

Cuadro 2.6 Correlaciones entre ácidos grasos, aceite en grano completo y germen en los sintéticos evaluados en localidades del estado de Chiapas, México 2008..... 46

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.1	Comportamiento del Índice de cosecha en las localidades evaluadas en Chiapas, 2008.....	18
Figura 2.1	Distribuciones de la precipitación mensual y sequía intraestival (S.I.) registradas en estaciones cercanas a Teopisca (a) y Chacaljocom (b) en 2008. Elaborada con datos del INIFAP (2008).....	37
Figura 2.2	Interacción de variedades por localidades de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección, variedad original (C0) y variedad comercial V-231-A para anchura de grano.....	43
Figura 2.3	Interacción genotipo x ambiente de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección, variedad original (C0) y variedad comercial V-231-A para ácido palmítico.....	44
Figura 1A	Conteo de 100 semillas en cada una de las muestras.....	59
Figura 2A	Triturado de los granos (a), granos molidos en partículas grandes (b), muestra de grano premolida en (a) pasando en molino pulverizador (c), muestra pulverizada tamizada en malla 0.05 mm (d).....	60
Figura 3A	Conservación de la harina obtenida de la molienda de los granos en frascos de cristal previamente identificados con año y número de laboratorio.....	60
Figura 4A	Medición del largo (a), ancho (b) y espesor de granos (c).....	61

Figura 5A	Peso neto de 100 granos de maíz.....	61
Figura 6A	Piseta con agua destilada, pinza, bisturí y recipiente de plástico (a), granos de maíz remojándose durante 10 minutos para suavizar el grano (b), pericarpio y pedicelo (c), endospermo (d) y germen (e).....	62
Figura 7A	Determinación del peso seco de las estructuras del grano en una estufa, sometiéndolos a una temperatura de 130°C durante una hora.....	64
Figura 8A	Extracción de aceite en grano completo. (a) deposición cuidadosa de la muestra de harina en cartuchos de asbesto y posterior limpieza de los instrumentos utilizados para evitar contaminación, (b) extractor de aceite en aparato tipo GOLDFISH, (c) circulación de éter de petróleo de cuatro a cinco gotas por segundo sobre la muestra durante seis horas, (d) recuperación del éter de petróleo, (e) vaso con el aceite extraído de la muestra, dicho vaso se somete a un secado a una temperatura de 130°C durante una hora y posteriormente se enfría en un desecador durante 15 minutos o hasta que el vaso esté a temperatura ambiente y proceder a pesarlo en una balanza analítica.....	63
Figura 9A	Colocación del nitrógeno líquido en un contenedor.....	64
Figura 10A	Extracción del germen y deposición inmediata en tubos eppendorf sumergidos en nitrógeno líquido.....	64

Figura 11A	El germen extraído y colocado en tubos eppendorf bien identificados se guardó en un enfriador a -80°C.....	65
Figura 12A	Muestras de germen triturado en un molino de balín calibrado a una frecuencia de 20 1/s durante un minuto, todas las herramientas utilizadas fueron sumergidas en nitrógeno líquido, por lo que el proceso se realizó en un medio congelado	65
Figura 13A	Tubos con germen molido depositados en un liofilizador durante 72 horas con el propósito de eliminar el agua en las muestras y detener cualquier reacción metabólica por la presencia del mismo.....	66
Figura 14A	Muestras de germen en proceso de extracción del aceite de la misma forma como se procedió para la extracción en grano completo hasta obtener el peso del residuo.....	66
Figura 1B	Parcelas cosechadas en la localidad Chacaljocom, estado de Chiapas, 2008.....	68
Figura 2B	Parcelas cosechadas en la localidad Diamante, estado de Chiapas, 2008.....	69
Figura 3B	Parcelas cosechadas en la localidad Teopisca, estado de Chiapas, 2008.....	70

RESPUESTA A LA SELECCIÓN PARA CONTENIDO DE ACEITE EN UNA VARIEDAD DE MAÍZ DE LA RAZA COMITECO

Braulio Torres Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

Para determinar el efecto de la selección recurrente para alto contenido de aceite se evaluaron tres sintéticos de maíz de grano amarillo en tres localidades del estado de Chiapas en el ciclo de temporal Primavera-Verano 2008; estos sintéticos provienen de tres ciclos de selección producto de la recombinación de las mejores 50 familias de medios hermanos (FMH). Durante el desarrollo del cultivo y al momento de la cosecha se tomaron datos de las variables agronómicas; en las tres localidades se tomaron muestras de grano de cada una de las parcelas las cuales se analizaron en laboratorio para determinar el contenido de aceite y la proporción de las estructuras en el grano. De las muestras de dos localidades también se tomó una submuestra para determinar el perfil de ácidos grasos. Los resultados muestran que por efecto de la selección recurrente se logró incrementar el contenido de aceite del ciclo 0 al ciclo 3; también hubo cambios significativos en el porcentaje de embrión. En la evaluación en campo se observó que el rendimiento, al igual que otras variables agronómicas no presentó diferencias significativas entre los sintéticos.

Palabras claves: Selección recurrente, ganancia genética, contenido de aceite, ácidos grasos.

RESPONSE TO SELECTION FOR OIL CONTENT IN A MAIZE VARIETY OF THE COMITECO RACE

Braulio Torres Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

To determine the effect of recurrent selection for high oil content in maize kernels, three yellow-kernel maize synthetics were evaluated at three locations. Sites were in the state of Chiapas, Mexico, during the 2008 Spring-Summer cycle under rainfed conditions. Synthetics were derived from three cycles of selection and the recombination of the best 50 half-sibs each cycle. Agronomic data were collected during the crop cycle and at harvest time, Grain samples were taken from each plot at the three localities for oil content determination. Sub-samples were also taken from two localities to determine the fatty acid profiles. Results showed that oil content increased as a result of recurrent selection from cycle 0 to cycle 3. Significant changes in embryo percentage were also observed. Agronomic traits, including yield, did not vary significantly among synthetics.

Keywords: Recurrent selection, genetic gain, oil content, fatty acids.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Lo más importante del grano de maíz es su valor como alimento, por el alto contenido energético del endospermo, su embrión rico en aceite y biológicamente balanceado (Reyes, 1990). Cada una de las partes del grano del maíz posee características propias que le confieren un determinado valor cualitativo; es por eso que en la molienda seca, después de la separación de los componentes, el endospermo es molido en partículas de diferentes tamaños para los diversos usos industriales y el germen y el pericarpio para la elaboración de raciones alimenticias de uso pecuario (Shroder y Heiman, 1970).

Uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento genético que más se ha enfocado en los últimos años es el incremento de la productividad; sin embargo, la apertura comercial, la competencia de productos nacionales con agricultores extranjeros altamente tecnificados y las necesidades propias de la industria nacional han propiciado un reenfoque en los programas que incluye los aspectos de calidad industrial (Coutiño *et al.*, 2008).

Los maíces criollos tienen mucha variabilidad genética, la cual se aprovecha al aplicar selección para mejorar algún carácter de interés económico de la planta o bien, incrementar la producción y/o la calidad (Fehr, 1987). Además de la importancia del maíz para la alimentación humana y para la ganadería es básico para la industria de la transformación por la diversidad de productos derivados de las estructuras del grano.

La fracción de aceite tiene el mayor valor por unidad de peso en comparación con cualquier otra fracción de grano de maíz (Jugenheimer, 1961), es decir, 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 tanto, la mejora en la concentración de

aceite incrementa la eficiencia energética del grano (Watson y Freeman, 1975) y junto con un aumento en el rendimiento de grano aportaría un valor adicional que beneficiaría a los productores (Lambert, 2001).

Reyes (1990) señala que el maíz contiene porcentajes de ácido oleico de 37.2 y linoleico de 45.6; Dunlap *et al.* (1995) consignan rangos en el porcentaje de ácidos grasos entre las variedades seleccionadas de palmítico de 6.3 a 18.2%, esteárico 0.9 a 4.5%, oleico de 18.5 a 46.1%, linoleico de 36.6 a 66.8%; linolénico de 0.0 a 2.0%, y araquidónico de 0.0 a 1.4%.

La creciente demanda de los consumidores por productos de alta calidad exige el desarrollo de genotipos que permitan satisfacerla. Esta demanda actual requiere aceites con mayor proporción de ácido oleico, por tener la propiedad de disminuir el nivel de colesterol y poseer mayor estabilidad oxidativa (Velasco y Fernández-Martínez, 2002).

En la Meseta Comiteca del estado de Chiapas, los productores tojolabales sólo cultivan el maíz criollo Comiteco para autoconsumo, en sus múltiples formas alimenticias, utilizan terrenos muy heterogéneos y relativamente pobres, obteniendo rendimientos entre 1.2 y 2.4 t ha⁻¹. Para esta zona del estado de Chiapas no se tienen variedades mejoradas para calidad de aceite que contribuyan al mejoramiento de la dieta de la población con un alto contenido energético.

En el programa de mejoramiento genético del maíz del Campo Experimental Centro de Chiapas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se han realizado tres ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos a partir de la variedad "Teopisca-A C4" para incrementar el contenido de aceite en grano; generándose los sintéticos C1, C2 y C3; sin embargo, no se ha

evaluado su efectividad sobre la modificación del contenido de aceites, el comportamiento agronómico y el rendimiento de grano.

Con base en lo anterior se planteó el presente trabajo con los siguientes objetivos e hipótesis:

1. Objetivos

- a) Comparar los sintéticos de tres ciclos de selección para conocer el incremento del contenido de aceite, el efecto sobre el rendimiento de grano y otros caracteres agronómicos.
- b) Determinar el perfil de ácidos grasos en cada ciclo de selección.
- c) Determinar la heredabilidad del contenido de aceite en el material bajo evaluación.
- d) Determinar la asociación existente entre el rendimiento de grano con la cantidad y calidad de aceite.

2. Hipótesis

- a) El contenido de aceite se incrementa a medida que se avanza en los ciclos de selección.
- b) Las proporciones en los tipos de aceite presente en los granos de maíz se mantienen durante el proceso de selección.
- c) Los cambios en el contenido de aceite son heredables en bajo grado.
- d) Los cambios en el contenido de aceite son independientes del rendimiento.

Para alcanzar los objetivos y contrastar las hipótesis planteadas el presente trabajo se dividió en dos partes: 1) comportamiento agronómico de sintéticos de maíz obtenidos por selección recurrente para incremento de aceite en grano, 2) efecto de la selección recurrente en el contenido de aceite del grano de maíz.

3. Literatura citada

- Coutiño E., B., G. Vázquez C., B. Torres M. y Y. Salinas M. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 9-14.
- Dunlap, F. G., P. J. White and L. M. Pollak. 1995. Fatty acid composition of oil from exotic corn breeding materials. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 72: 989-993.
- Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development, theory and technique. Macmillan Publishing Company. New York. 1:536 p.
- Jugenheimer, R. W. 1961. Breeding for oil and protein content in maize. *Euphytica* 10: 152-156.
- Lambert, R. J. 2001. High-oil corn hybrids. *In: Specialty Corns.* Hallauer, A. R. (ed). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp. 131-154.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. AGT Editor. México, D.F. 460 p.
- Shroder, J. D. and V. Heiman. 1970. Feed products from corn processing. *In: Corn: Culture, Processing, Products,* Inglett, G. E. (ed.). The Avi Publishing Co. Westport, Connecticut, U. S. A. pp: 220-240.
- Velasco, L. and J. M. Fernández-Martínez. 2002. Breeding oilseed crops for improved oil quality. *Journal of Crop Production* 5: 309-344.
- Watson, S. A. and 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.

CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SINTÉTICOS DE MAÍZ OBTENIDOS POR SELECCIÓN RECURRENTE PARA INCREMENTO DE ACEITE EN GRANO

1.1 Resumen

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar las características agronómicas de los sintéticos C1 a C3 derivados por selección recurrente de familias de medios hermanos para contenido de aceite, y compararlos con la población original C0 (Teopisca A) y el testigo V-231A a fin de cuantificar el efecto de la selección sobre dichas características. El material se evaluó en 3 localidades utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones y los resultados se analizaron con el programa SAS (Statistical Analysis System), la comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidad. Se encontraron diferencias significativas en rendimiento, la variedad V-231 A tuvo el promedio mayor y el menor el sintético C2. No se detectaron diferencias significativas entre el sintético original (C0) y el sintético C3, lo que indica que no hubo efecto de la selección. El efecto ambiental tuvo significancia en más del 80% de las variables evaluadas. La variable índice de cosecha fue la única con diferencias significativas en la interacción genotipo x ambiente.

Palabras clave: Efecto de selección, características agronómicas, rendimiento.

CHAPTER I. RECURRENT SELECTION FOR HIGH OIL CONTENT IN MAIZE KERNELS: EVALUATION OF AGRONOMIC PERFORMANCE OF THE THREE CYCLES

1.2 Abstract

The objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics of C0 through C3 synthetics derived through recurrent half-sib selection for oil content. The material was evaluated at 3 locations using a randomized complete blocks design with 4 replicates. Significant differences in yield performance were found; the V-231 A variety, check used in the trial, had the highest grain yield, while synthetic C2 showed the lowest one. No significant differences for yield were observed among the original (C0) and the C3 synthetic, which indicates that there was no effect on yield by the selection. The environmental effect was significant in more than 80% of the evaluated traits. The harvest index was the only trait with significant differences regarded to the genotype x environment interaction.

Keywords: Effect of selection, agronomic characteristics, yield.

1.3 INTRODUCCIÓN

La efectividad de la selección recurrente es reconocida porque incrementa la frecuencia de genes favorables (Frascaroli y Landi, 1998) de una o más características agronómicas bajo selección y mantiene la suficiente variabilidad genética para realizar una selección continua; esto implica un proceso cíclico de muestreo, evaluación y recombinación (Hallauer y Miranda, 1988; Hallauer, 1992).

En la República Mexicana son especialmente demandados los maíces de grano blanco para la elaboración de tortillas; sin embargo, los de color amarillo ofrecen mayores ventajas en cuanto a la textura y apariencia de las botanas (Guerrero, 1998). En el proceso de molienda húmeda se prefieren los maíces amarillos porque normalmente proporcionan mayor rendimiento de almidón (64-72%) que los maíces blancos (70%) (Crowe *et al.*, 1998), entre otros beneficios.

En la Meseta Comiteca predominan valles intermontanos reducidos y declives, lo cual determina que los terrenos que utilizan los productores sean muy heterogéneos (Muñoz, 2005), donde los productores de la etnia Tojolabal cultivan las variedades de la raza Comiteco (Reyes, 1990), tanto de grano blanco como amarillo para autoconsumo, obteniendo rendimientos bajos (1.2 y 2.4 t ha⁻¹). Para esta zona del estado de Chiapas no se tienen variedades mejoradas para alto contenido de aceite o de alto valor nutricional.

La calidad del grano de maíz está asociada tanto por su constitución física, que determina la textura y dureza, como por su composición química que define el valor nutricional. Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes (Cirilo y Andrade, 1998).

El incremento en el porcentaje de aceite (Weber, 1987) junto con un aumento en el rendimiento de grano aportarían un valor adicional que beneficiaría a los productores (Lambert, 2001).

El método de selección recurrente de familias de medios hermanos ha sido utilizado por muchos fitomejoradores para incrementar el contenido de aceite en los granos de maíz (Mišević y Alexander, 1989; Dudley y Lambert, 1992; Aramendiz y Tosello, 1993), un ejemplo clásico es la selección iniciada en Illinois, Estados Unidos en 1896 por C. G. Hopkins, la que en el año 2005 reveló que después de 106 ciclos de selección el contenido inicial de aceite de 4.5 % se elevó a más del 22 % (Dudley, 2007).

Así, la selección recurrente se ha usado para mejorar tanto caracteres relativos a la calidad como el contenido de aceite; al igual que caracteres agronómicos, incluyendo el rendimiento. En este contexto surge la interrogante ¿En qué medida la selección por caracteres de calidad como el contenido de aceite afecta o modifica otros caracteres como los agronómicos?

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar un grupo de características agronómicas en tres sintéticos producto de selección para contenido de aceite y de una variedad comercial usada como testigo a fin de dilucidar en qué medida la selección por dicho contenido modifica los caracteres agronómicos.

La hipótesis planteada se refiere a la ausencia de efectos de la selección para contenido de aceite sobre los caracteres agronómicos.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Material genético utilizado y sus antecedentes

Los materiales utilizados en este trabajo provienen de un proyecto a nivel nacional para la generación de híbridos y variedades mejoradas de maíz para calidad de aceite, cuyas actividades para el estado de Chiapas es dirigido por el programa de mejoramiento genético de maíz del Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, con sede en Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.

La población de maíz de la cual se partió para este estudio fue la variedad “Teopisca-A”, la cual es el resultado de cuatro ciclos de selección recurrente para incrementar el rendimiento de grano de la población de amplia base genética “Comiteco Amarillo”.

En el año 2004 se utilizó semilla de 30 familias de medios hermanos (FMH) derivadas de “Comiteco Amarillo”, las cuales fueron seleccionadas de 155 familias evaluadas en Teopisca y Comitán, Chiapas, en el año 2003. En mayo del 2004, se sembró en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas en Teopisca, Chiapas (1760 m de altitud) un lote aislado de incremento de semilla del compuesto de las 30 FMH seleccionadas. El método de selección familiar de medios hermanos utilizado, consistió en sembrar el 25% de las mejores FMH para alto contenido de aceite en un surco de 10 m de longitud, con separación de 0.85 m y matas de dos plantas cada 60 cm. Se formó un compuesto mecánico balanceado utilizando 20 semillas de cada FMH, el cual sirvió como polinizador sembrando dos surcos cada cuatro familias. Antes de la emisión de anteras se desespigaron las plantas de cada familia y aquellas con fenotipos indeseables fueron

eliminadas. A la cosecha se seleccionaron visualmente las mejores 200 mazorcas (FMH), consideradas como el C_0 de selección. A estas mazorcas, se les determinó el peso, longitud, diámetro, número de hileras y número de granos por hilera, peso de grano, humedad y número total de granos. De la parte central de la mazorca se obtuvieron 200 semillas tipo plano a las cuales se les determinó el contenido de aceite y proteína utilizando el equipo Infratec 1241 y 1255. En mayo de 2005, se estableció un lote aislado para la recombinación genética de las 50 mejores FMH con alto contenido de aceite (C_1). Se continuó hasta 2007 a razón de un ciclo por año. De esta manera se conformó el juego C_0 , C_1 , C_2 y C_3 utilizado en la presente investigación, incluyendo a la variedad comercial V-231 A como testigo.

1.4.2 Sitios experimentales

Los experimentos se establecieron bajo temporal en tres localidades del estado de Chiapas: Teopisca, ubicada en el paralelo $16^{\circ} 33'$ latitud Norte y en el meridiano $92^{\circ} 28'$ longitud Oeste, a una altitud de 1779 m; el Diamante, en el paralelo $16^{\circ} 20.59'$ de latitud Norte, meridiano $92^{\circ} 12.25'$ de longitud Oeste a una altitud de 1789 m y Chacaljocom ubicada en el paralelo $16^{\circ} 17.73'$ de latitud Norte, meridiano $92^{\circ} 11.07'$ de longitud Oeste a una altitud de 1816 m.

1.4.3 Diseño y unidad experimental

El diseño experimental utilizado en las tres localidades fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de dos surcos de 5 m de longitud y de 0.8 m de ancho.

1.4.4 Manejo agronómico de los experimentos

La siembra se realizó estableciendo dos plantas por mata cada 50 cm, resultando una densidad de población de 50,000 plantas ha⁻¹. Se empleó la fórmula de fertilización 90–46–21, teniendo como fuente de nitrógeno urea y de fósforo superfosfato de calcio triple. La fórmula se aplicó en dos fracciones, la primera de 45–46–21 a los 34 días y en la segunda el resto de nitrógeno a los 63 días después de siembra. Para el control de maleza se realizaron tres aplicaciones de herbicidas: una al momento de la siembra utilizando Coloso (glifosato) y Primagram (atrazina) en dosis de 3.3 y 2 L ha⁻¹, respectivamente; la segunda aplicación se efectuó a los 58 días después de la siembra, utilizando Cerillo (glifosato) en dosis de 2 L ha⁻¹ y una última aplicación se realizó en días previos a la cosecha con el herbicida Gramocil (Paraquat + Diurón) en dosis de 2 L ha⁻¹. Para el control de plagas del follaje se utilizó insecticida líquido Karate (Lambdacihalotrina) en dosis de 0.26 L ha⁻¹ a los 29 dds y una segunda aplicación a los 58 dds con el insecticida Pounce granulado (Permetrina) en dosis de 5 kg ha⁻¹ dirigido al cogollo de las plantas. Para el control de plagas del suelo se aplicó insecticida Pounce granulado (Permetrina) en dosis de 5 kg ha⁻¹ al momento de la siembra.

1.4.5 Variables evaluadas

Altura de planta (APL) medida en centímetros desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga de 10 plantas representativas.

Altura de mazorca (AMZ) medida en centímetros desde el pie de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

Días a floración femenina (DFF) y días a floración masculina (DFM) contados desde la siembra hasta la fecha en que el 50% de las plantas emitieron estigmas y polen, respectivamente.

Número de hojas arriba (HSM) y abajo de la mazorca principal (HIM) en cinco plantas por parcela.

Calificación de mazorca (CMZ) determinada de acuerdo al aspecto y sanidad, utilizando una escala visual de 6 a 9, donde 9 es la mejor.

Índice de cosecha (IC) determinado en cinco plantas completas, tomando el peso de la planta entera (incluyendo mazorca) y del peso de grano, corregido a 14% de humedad.

Número de hileras (NH) y granos por hilera (NGR), longitud (LMZ), diámetro en la punta (DP), diámetro en el centro (DC), diámetro de la base de la mazorca (DB) y diámetro de olote (DOL) determinados en 10 mazorcas al azar.

1.4.6 Análisis estadístico

La información se sometió a un análisis de varianza combinado entre localidades utilizando el procedimiento GLM SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 conforme al modelo estadístico de bloques completos al azar. Se realizó una prueba de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Adicionalmente, se determinó el coeficiente de correlación entre las variables para medir el grado de asociación entre ellas.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Análisis de varianza

Se analizaron 15 variables, de las cuales 12 fueron significativas para el factor localidades. En el factor variedades hubo significancia en tres variables. Solamente una variable fue significativa para la interacción de localidades x variedades. Los coeficientes de variación fueron aceptables, ya que sólo una variable tuvo un porcentaje mayor de 20%, aun dentro de un nivel de confiabilidad aceptable (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Cuadrados medios y significancia de los valores de F en los factores de variación estudiados en 15 variables analizadas.

Variable	LOC	VAR	LOCxVAR	Error	CV (%)
Días floración masculina (DFM)	52.916**	3.933ns	1.333ns	1.9555	1.70
Días floración femenina (DFF)	122.45**	4.558ns	2.470ns	2.9	1.42
Altura de planta (APL)	18577.916**	605.62ns	390.937ns	391.666	6.86
Altura de mazorca (AMZ)	9476.25**	223.333ns	218.958ns	537.083	13.69
Calificación de mazorca (CMZ)	6.320**	0.263ns	0.481ns	0.308	7.00
Longitud de mazorca (LMZ)	165.288**	0.701ns	1.168ns	1.808	6.69
Número de hileras (NH)	1.232ns	0.801ns	0.193ns	0.215	4.12
Número de granos por hilera (NGR)	281.746**	4.317ns	4.921ns	2.519	4.27
Diámetro de olote (DOL)	1.533**	0.024*	0.006ns	0.009	3.91
Diámetro punta mazorca (DP)	0.95**	0.041*	0.019ns	0.015	3.74
Diámetro centro mazorca (DC)	1.540**	0.077**	0.018ns	0.017	3.07
Diámetro base mazorca (DB)	1.176*	0.264ns	0.218ns	0.287	10.85
Hojas superiores a mazorca (HSM)	0.452ns	0.545ns	0.287ns	0.291	8.63
Hojas inferiores a mazorca (HIM)	1.788*	0.630ns	0.273ns	0.462	10.01
Índice de cosecha (IC)	0.004ns	0.002ns	0.007*	0.002	25.46

LOC= Localidades, VAR= Variedades, LOCxVAR= Interacción localidades x variedades, CV= Coeficiente de variación, *= Significativo al $P \leq 0.05$, **= Significativo al $P \leq 0.01$, ns= No significativo.

1.5.2 Efecto de las localidades

La localidad más favorable fue Chacaljocom, en ella la distribución de la lluvia solamente detenta una sequía intraestival ligera (INIFAP, 2008) y tuvo una mejor condición de suelo. Las otras dos localidades, Diamante y Teopisca, fueron afectadas por sequía intraestival pronunciada, el suelo fue de menor potencial, y adicionalmente, en Teopisca se presentaron vientos fuertes que ocasionaron acame y en el Diamante se tuvo el efecto de interferencia por residuos de olote de la cosecha del ciclo anterior.

En DFM, LMZ, DOL las tres localidades muestran diferencias entre ellas, pero la tendencia de DFM es diferente a las tendencias de las otras tres variables (Cuadro 1.2). Respecto a Chacaljocom en Diamante se retrasó más la floración y menor en Teopisca lo que indica un efecto más intenso de la sequía en la primera localidad que en la segunda. El retraso de la floración por efecto de la sequía ha sido reportado por diferentes investigadores (Muñoz *et al.*, 1973; Chavez-Servia *et al.*, 2004; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2008; Zaidi *et al.*, 2008). La alta frecuencia de periodos de sequía en la floración es el factor más importante relacionado con la disminución del rendimiento que contribuyen a la generación de pérdidas importantes en el maíz (Tuberosa *et al.*, 2007) ya que la polinización y llenado temprano de grano son las etapas más sensibles al estrés hídrico, en comparación con prefloración y llenado de grano en etapas tardías de crecimiento (Bruce *et al.*, 2002). Esto se explica por la interrupción del flujo constante de fotoasimilados debido a la deshidratación que da lugar a reducciones de carbono en las actividades de enzimas clave del metabolismo, provocando alteraciones importantes en los óvulos y en el desarrollo de las semillas (Zinselmeier *et al.*, 1999). Por su parte Schussler y Westgate (1995) mencionan que los efectos del déficit de agua

pueden influir en la actividad de la invertasa ácida y causar la reducción parcial del flujo de fotoasimilados, adecuado para el crecimiento y desarrollo de la mazorca.

En LMZ y DOL la localidad de Chacaljocom, que fue la más favorable, muestra los valores más altos de esos caracteres, seguida por la localidad Diamante y al final Teopisca, indicando que ésta tuvo las condiciones más desfavorables. El efecto detrimental de los ambientes desfavorables sobre estos caracteres es una manifestación frecuente en condiciones de temporal (Muñoz *et al.*, 1973; Romero y Muñoz, 1996; Ramírez-Díaz *et al.*, 2000; Vidal-Martínez *et al.*, 2001; Mejía y Molina, 2002; Wayne, 2002; Messmer *et al.*, 2004).

Cuadro 1.2 Efecto de las localidades de evaluación sobre tres variables.

Localidades	DFM	LMZ (cm)	DOL (cm)
Chacaljocom	96.6 c	22.5 a	2.7 a
Diamante	99.9 a	20.9 b	2.6 b
Teopisca	98.1 b	16.9 c	2.2 c
DHS(0.05)	1.08	1.03	0.07

DFM= Días a floración masculina, LMZ= Longitud de mazorca, DOL= Diámetro de olote.

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

En DFF, AP, AM, CM, GRH, DP, DC, DB y HIM (Cuadro 1.3) se observan otros patrones de efectos de las localidades (Vidal-Martínez *et al.*, 2001; Berke y Rocheford, 1995). En DDF se aprecia un retraso mayor en Diamante y Teopisca respecto a Chacaljocom que el que ocurrió en la floración masculina (Claure *et al.*, 1993; Mejía y Molina, 2002). La floración femenina usualmente presenta mayor sensibilidad a la sequía que la masculina (Muñoz *et al.*, 1973). En las otras características no hay

diferencias entre Chacaljocom y Diamante y Teopisca exhibe una reducción significativa. Esta localidad tuvo problemas de vientos fuertes que causaron la caída de las plantas cuyo efecto pudo reflejarse de manera más intensa en estos caracteres.

Cuadro 1.3 Efecto de las localidades de evaluación sobre nueve variables que mostraron significancia ($P \leq 0.05$).

Localidades	DFF	AP	AMZ	CMZ	GRH	DP	DC	DB	HIM
Chacaljocom	97.3 b	311.3 a	188.3 a	8.2 a	39.9 a	3.5 a	4.5 a	5.1 a	6.74 ab
Diamante	101.4 a	300.8 a	174.0 a	8.3 a	38.7 a	3.5 a	4.5 a	5.1 a	7.12 a
Teopisca	101.8 a	254.0 b	145.5 b	7.3 b	32.9 b	3.1 b	4.0 b	4.7 b	6.53 b
DHS(0.05)	1.31	15.29	17.91	0.42	1.22	0.09	0.10	0.41	0.52

DFF= Días a floración femenina, AP= Altura de planta, AMZ= Altura de mazorca, CMZ= Calificación de mazorca, GRH= Granos por hilera, DP= Diámetro punta de mazorca, DC= Diámetro centro de mazorca, DB= Diámetro base de mazorca, HIM= Hojas debajo de mazorca. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

1.5.3 Efecto de la selección

En el Cuadro 1.4 se muestran las variables que mostraron significancia para el factor variedades. En lo que respecta a diámetro de olote, a medida que avanzaron los ciclos de selección esta variable se redujo. La misma tendencia, aunque no significativa, se aprecia en el diámetro de la punta de la mazorca, pero no se manifiesta en el diámetro del centro de la mazorca (Cuadro 1.4). La punta tiene escasa profundidad de grano, lo que indica que predomina el olote, dando lugar a que esos valores no alcancen significancia; en el centro de la mazorca es más pronunciada la proporción de grano y se diluye la proporción de olote, lo que da como resultante que en diámetro de la mazorca no se manifieste el efecto de la selección, como en el caso

del diámetro de olote. En resumen, se puede inferir que hay un efecto colateral de la selección por contenido de aceite sobre diámetro de olote y debe estar relacionado con los cambios en la proporción endospermo-germen que se ocasionó por la selección. En el resto de variables los cuatro sintéticos de la selección recurrente fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 1.4 Efecto de variedades sobre cuatro variables significativas.

Genotipos	DOL (cm)	DP (cm)	DC (cm)
C3	2.45 b	3.32 a	4.27 b
C2	2.53 ab	3.33 a	4.29 b
C1	2.55 ab	3.33 a	4.26 b
C0	2.57 a	3.34 a	4.36 ab
V-231 A	2.52 ab	3.46 a	4.45 a
DHS(0.05)	0.11	0.14	0.15

DOL= Diámetro de olote, DP= Diámetro punta de mazorca, DC= Diámetro centro de mazorca. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

Varios estudios relacionados con el método de selección para aumentar los niveles de aceite de maíz reportan que la concentración de aceite aumentó sin un cambio significativo en el rendimiento de grano mostrando una asociación negativa entre la concentración de aceite y el rendimiento de grano, así como otras características agronómicas (Aramendiz y Tosello, 1993; Miller *et al.*, 1981). Los autores mencionan que esta situación dificulta el desarrollo de materiales de maíz con alto contenido de aceite y altos rendimientos de grano (Dudley *et al.*, 1974; 1977; Mišević y Alexander, 1989).

1.5.4 Interacción variedades x localidades

La interacción manifiesta en la variable índice de cosecha está determinada en mayor grado por el comportamiento relativamente contrastado de la variedad comercial V-231 A en relación con los sintéticos C0, C1, C2 y C3 (Figura 1.1). Dicha interacción está relacionada con los ambientes y criterios de selección utilizados en la obtención de V-231A con relación a los sintéticos de la selección recurrente. Un ejemplo del vínculo con los criterios de selección se tiene con el efecto de la selección por contenido de aceite sobre el diámetro de olote y sobre las proporciones endospermo y germen, que de alguna manera pueden influir en la proporción olote-grano en los sintéticos de la selección recurrente, influencia ausente en V-231 A, la cual no fue seleccionada para contenido de aceite.

La influencia del ambiente en el comportamiento diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes se refleja en el análisis combinado (Márquez, 1976), donde la interacción localidades x variedades es significativa, lo cual indica una respuesta diferencial de los cultivares a los ambientes, como lo ocurrido en la variable índice de cosecha.

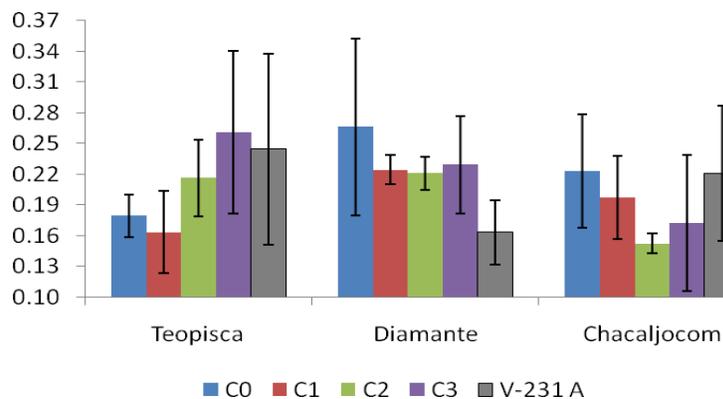


Figura 1.1 Comportamiento del Índice de cosecha en las localidades evaluadas en Chiapas, 2008.

1.5.5 Análisis de correlaciones

La longitud de la mazorca estuvo correlacionada con el número de granos por hilera (0.89**), número de hileras (0.30*) y rendimiento (0.86**) (Cuadro 1.5); a su vez, el rendimiento correlacionó negativamente con días a floración masculina (-0.32*) y días a floración femenina (0.58**) y positivamente con altura de planta (0.76**), altura de mazorca (0.69**), longitud de mazorca (0.86**), número de hileras (0.40*), granos por hilera (0.84**) y diámetro del centro de la mazorca (0.34*) (Cuadro 1.5).

El diámetro de olote tuvo correlaciones positivas con diámetro en la punta de la mazorca (0.75**) y al centro de la misma (0.76**), así como con el rendimiento (0.84**).

La altura de planta tuvo correlaciones negativas con la floración masculina (-0.21) y femenina (-0.45*), similar a lo reportado por Ramírez-Díaz *et al.* (2000) y positivas con altura de mazorca (0.82**) (Cuadro 1.5). Hallauer y Miranda (1988), así como Cavanaugh *et al.* (1995) también coinciden en señalar que la altura de planta y altura de mazorca son variables que se encuentran correlacionadas positivamente.

Pamin *et al.* (1986) observaron correlaciones genéticas positivas ($r = 0.05$) entre la concentración de aceite y rendimiento de grano en familias de hermanos completos; aunque también se han reportado casos de correlaciones opuestas (Alexander y Seif, 1963; Mišević y Alexander, 1989; Dudley *et al.*, 1974; 1977).

Cuadro 1.5 Correlaciones fenotípicas de las variables agronómicas determinadas en los materiales evaluados en Chiapas, ciclo agrícola PV 2008.

	DFM	DFF	APL	AMZ	CMZ	LMZ	NH	NGR	DOL	DP	DC	DB	HSM	HIM	REN	IC
DFM	0.73**															
DFF		-0.45**														
APL			0.83**													
AMZ				0.48**												
CMZ					0.57**											
LMZ						0.31*										
NH							0.39**									
NGR								0.76**								
DOL									0.75**							
DP										0.94**						
DC											0.48**					
DB												0.48**				
HSM													-0.02			
HIM														0.19		
REN															-0.34**	
IC																0.15
																0.07
																0.30*
																0.02
																-0.05

DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración masculina, APL= Altura de planta, AMZ= Altura de mazorca, CMZ= Calificación de mazorca, LMZ= Longitud de mazorca, NH= Número de hileras, NGR= Granos por hilera, DOL= Diámetro de olote, DP= Diámetro punta, DC= Diámetro centro, DB= Diámetro base, HSM= Hojas arriba de mazorca, HIM= Hojas debajo de mazorca, REN= Rendimiento. *= Significancia $P \leq 0.05$, **= Significancia al $P \leq 0.01$.

1.6 CONCLUSIONES

La selección no ha provocado un aumento considerable en la mayoría de los caracteres agronómicos y en específico del rendimiento entre los sintéticos C0 y C3; la diferencia estadística fue reportada para la variedad comercial V-231 A.

El factor ambiental fue determinante en la expresión de más del 80% de los caracteres agronómicos evaluados.

La interacción genotipo x ambiente sólo presentó diferencias estadísticas en la variable índice de cosecha.

1.7 RECOMENDACION

Una vez obtenido el ciclo de selección conviene evaluarlo en al menos dos localidades para observar el comportamiento tanto agronómico como de calidad en los materiales.

1.8 LITERATURA CITADA

Alexander, D. E. and R. D. Seif. 1963. Relation of kernel oil content to some agronomic traits in maize. *Crop Science* 3: 354-355.

Aramendiz T., H. y A. Tosello G. 1993. Correlación entre contenido de aceite, rendimiento y otros caracteres agronómicos en maíz (*Zea mays* L.). *ICA (Colombia)* 28 (2): 129-135.

- Avendaño-Arrazate, C. H., J. D. Molina-Galán, C. Trejo-López, C. López-Castañeda y J. Cadena-Íñiguez. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía Mesoamericana* 19(1): 27-37.
- Berke, G. T. and T. R. Rocheford. 1995. Quantitative trait loci for flowering, plant and ear height, and kernel traits in maize. *Crop Science* 35: 1542-1549.
- Bruce, W. B., G. O. Edmeades and T. C. Barker. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 53(366): 13-25.
- Cavanaugh, K. J., B. E. Zehr, W. E. Nyquist, B. R. Hamaker and P. L. Crane. 1995. Responses to selection for endosperm hardness and associated changes in agronomic traits after four cycles of recurrent selection in maize. *Crop Science* 35: 745-748.
- Claire I., V. T., J. D. Molina G., S. Vasal S. y A. Martínez G. 1993. Aumento del potencial de rendimiento mediante selección e hibridación en maíz (*Zea mays* L.) I. Comportamiento de compuestos de selección y de cruzas simples. *Agrociencia* 4(2): 441-451.
- Chávez-Servia, J. L., L.A. Collado-Panduro, R. Pinedo-Ramírez, R. Sevilla-Panizo, W. Guillén-Huachua and J. Mori-Castro. 2004. Environmental effect and genotypic variation of maize on-farm in Peruvian Central Amazon. *In: Drought Stress, Enhancing Crop Diversity to Manage Abiotic Stress*. D. Jarvis, I. Mar and L. Sears (eds.). Proceedings of a Workshop, 23-27 May 2004, Budapest, Hungary. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 39-47.

- Cirilo, A.G. y F.H. Andrade. 1998. Calidad de maíz. *En: Calidad de Productos Agrícolas. Bases Ecofisiológicas, Genéticas y de Manejo Agronómico.* Aguirrezábal L., A. N. y F.H. Andrade (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Mar del Plata. Unidad Integrada Balcarce. Buenos Aires, Argentina. pp. 76-136.
- Crowe, T. W., S. K. Singh and L. A. Johnson. 1998. Wet milling properties of white corn. *In: Corn Utilization and Technology Conference.* National Corn Growers Association, St. Louis, MO. p. 188.
- Dudley, J. W. 2007. From means to QTL: The Illinois long-term selection experiment as a case study in quantitative genetics. *Crop Science* 47: 20-31.
- Dudley, J. W., R. J. Lambert and D. E. Alexander. 1974. Seventy generations of selection for oil and protein concentration in the maize kernel. *In: Seventy Generations of Selection for Oil and Protein Maize.* J.W. Dudley (ed). Crop Science Society of America. Madison WI. pp. 181-211.
- Dudley, J. W., R. J. Lambert and I. A. de la Roche. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop Science* 17: 111-117.
- Dudley, J. W. and R. J. Lambert. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81-87.
- Frascaroli, E. and P. Landi. 1998. Allelic frequency change of *P1* gene in a maize population after recurrent selection for grain yield. *Crop Science* 38: 1391-1394.

- Guerrero de G., G. 1998. Molienda seca del maíz en México. *In: Primer Taller de Especialidades de Maíz*. Subsecretaría de Desarrollo Rural, SAGARPA, México. Noviembre 26 y 27. Chapingo, México. pp: 45-48.
- Hallauer, A. R. 1992. Recurrent selection in maize. *Plant Breeding Rev.* 9: 115-179.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda Fo. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2nd ed. Iowa State Univ. Press. Ames, IA. 468 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, México. 249 p.
- Lambert, R. J. 2001. High-oil corn hybrids. *In: Specialty Corns*. Hallauer, A. R. (ed). CRC Press. Boca Raton, FL. pp. 131-134.
- Márquez S., F. 1976. El Problema de la Interacción Genético Ambiental en Genotecnia Vegetal. Ed. Patena. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 113 p.
- Mejía C., J. A. y J. D. Molina G. 2002. Respuesta a la selección en variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3): 305-310.
- Messmer, R., Y. Fracheboud, M. Bänziger, P. Stamp and J-M. Ribaut. 2004. Genetic analysis of drought tolerance in tropical maize. *In: Genetic Variation for Plant Breeding*. Proceedings of the 17th EUCARPIA General Congress. J. Vollmann, H. Grausgruber and P. Ruckebauer (eds). BOKU & University of Natural Resources and Applied Life Sciences. Vienna, Austria. pp. 57-61.

- Miller, R. L., J. W. Dudley and D. E. Alexander. 1981. High intensity selection for percent oil in corn. *Crop Science* 21: 433-437.
- 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 Science* 29: 320-324.
- Muñoz O., A. 2005. Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. 2ª. ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 213 p.
- Muñoz O., A., F. Márquez S. y J. Ortiz C. 1973. Estudio preliminar sobre un método de selección para resistencia a sequía en maíz. *Agrociencia* 11:15-28.
- Pamin, K., W. A. Compton, C. E. Walker and D. E. Alexander. 1986. Genetic variation and selection response for oil composition in corn. *Crop Science* 26: 279-283.
- Ramírez-Díaz, J. L., J. Ron-Parra, J. J. Sánchez-González y M. Chuela-Bonaparte. 2000. Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-CE. *Agrociencia* 34: 33-39.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. AGT Editor. México D.F. 460 p.
- Romero P., J. y A. Muñoz O. 1996. Patrón varietal y selección de variedades de maíz para los sistemas agrícolas en la región de Tierra Caliente. *Agrociencia* 30: 63-73.
- Schussler, J. R. and M. E. Westgate. 1995. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science* 35: 1074-1080.

- Tuberosa R., S. Salvi, S. Giuliani, M. C. Sanguineti, M. Bellotti, S. Conti and P. Landi. 2007. Genome-wide approaches to investigate and improve maize response to drought. *Crop Science* 47(S3): S120-S141.
- Vidal-Martínez, V. A., M. Clegg, B. Johnson and R. Valdivia-Bernal. 2001. Phenotypic and genotypic relationships between pollen and grain yield components in maize. *Agrociencia* 35: 503-511.
- Wayne, P. H. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Science* 42: 131-140.
- Weber, E. J. 1987. Lipids of the kernel. *In: Corn Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp. 311-349.
- Zaidi, P.H., M. Yadav, D.K. Singh and R.P. Singh. 2008. Relationship between drought and excess moisture tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Crop Science* 1(3): 78-96.
- Zinselmeier, C., B. R. Jeong and J. S. Boyer. 1999. Starch and the control of kernel number in maize at low water potentials. *Plant Physiology* 121: 25-36.

CAPÍTULO II. EFECTO DE LA SELECCIÓN RECURENTE EN EL CONTENIDO DE ACEITE DEL GRANO DE MAÍZ

2.1 Resumen

Se analizaron tres sintéticos de maíz amarillo provenientes de ciclos de selección consecutivos para alto contenido de aceite en la variedad Teopisca A, con el objeto de determinar el progreso de la selección en cuanto al contenido de aceite en los granos, cuantificar cambios en sus estructuras y determinar el efecto de la selección sobre el porcentaje de algunos ácidos grasos componentes del aceite. El contenido de aceite en los granos de los sintéticos evaluados presentó un incremento directamente proporcional al avance en los ciclos de selección; en este mismo tenor, también se incrementó el porcentaje de germen presente en los granos mientras que el porcentaje de endospermo se redujo. El contenido de aceite en los granos tuvo una correlación positiva (0.51**) con el porcentaje de germen y negativa (-0.43**) con el germen. Las proporciones de ácidos grasos presentes en el aceite no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los sintéticos. El rendimiento no tuvo ningún cambio por efecto de la selección. Fue evidente que las condiciones ambientales influyeron en el comportamiento y respuesta de la gran mayoría de las variables al presentar significancia en más de 80% de las variables evaluadas.

Palabras clave: Sintéticos de maíz, porcentaje de aceite, perfil de ácidos grasos.

CHAPTER II. EFFECT OF RECURRENT SELECTION ON THE OIL CONTENT OF CORN KERNEL

2.2 Abstract

Yellow-kernel maize synthetics derived from three cycles of selection for high oil content over the Teopisca-A variety were analyzed. The objective was to determine the progress of selection for oil content in the kernels, quantify changes in their structures and to determine the effect of selection over the percentage of some fatty acids constituents of oil. The oil content in kernels increased according to the cycles of selection. Additionally, the percentage of germ in kernels increased while the percentage of endosperm was reduced. The oil content in kernels had a positive correlation (0.51 **) with the percentage of germ and a negative one (-0.43 **) with the germ itself. The proportions of fatty acids in the oil had no significant differences among synthetics. Yield had no changes as a result of selection. It was evident that environmental conditions influenced the performance and response of most of the traits since there was significance in more than 80% of the evaluated traits.

Keywords: Maize synthetics, oil percentage, fatty acids profile.

2.3 INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de los programas de mejoramiento genético es incrementar la productividad agrícola (Poehlman y Allen, 2003); sin embargo, las necesidades propias de la industria nacional por materiales de mejor calidad destinados a la alimentación humana y animal así como para las industrias han propiciado un reenfoque en los programas que incluye los aspectos de calidad industrial.

La creciente demanda de los consumidores por productos de alta calidad, exige el desarrollo de genotipos que permitan satisfacerla. Esta actual demanda requiere aceites con mayor proporción de ácido oleico, ya que éste disminuye el nivel de colesterol y posee mayor estabilidad oxidativa (Velasco y Fernández-Martínez, 2002).

En ciertas regiones de Chiapas, como las de los Altos y Fronteriza, se caracterizan por tener índices muy altos de desnutrición (Coutiño-Estrada y Vázquez-Carrillo, 2007) ya que su dieta está basada en el consumo del grano de maíz en sus múltiples formas como tortillas, pozol, atoles, elotes, tamales, etc. El mejoramiento orientado hacia el incremento en contenido de aceites en los granos de maíz, ya sea como alimento humano, para uso pecuario o industrial proporciona valor agregado a los materiales que redundan en nuevas oportunidades ante mercados potenciales (Lambert, 1994).

Las únicas variedades formadas para esta región son V-229 y V-231-A (Coutiño *et al.*, 2004), cuyo mejoramiento fue dirigido al incremento del rendimiento de grano y no a la calidad del mismo, refiriéndose específicamente al contenido de aceite. Los maíces de color amarillo aportan β -caroteno que es el precursor de la vitamina A, la cual es importante para el crecimiento, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la visión nocturna y como antioxidante en la prevención de enfermedades degenerativas (Serna,

1996) y en las dietas para pollos son necesarios para impartir el color amarillo de la carne y la yema del huevo (Loy y Wright, 2003).

Weber (1987) menciona que el grano de maíz contiene 3-5% de aceite, la mayor concentración se encuentra en el germen con 25-30%, en el proceso de selección, los altos porcentajes de aceites en el grano se relacionan principalmente con un aumento en el tamaño del germen o por una disminución relativa del endospermo; además, consideran que factores genéticos tienen una mayor influencia en el contenido de aceite y ácidos grasos, pero en el caso de las enfermedades y la sequía principalmente, pueden reducir el contenido de aceite de 3.8 a 3.1% e influir sobre su composición.

Se consideran generalmente los aceites alimenticios más deseables, los que contienen, como el caso del maíz, alto contenido de ácido oleico (24%) que es mono-insaturado y linoleico familia Omega 3 (62%) que es un ácido poli-insaturado (Duffus y Slaughter, 1985), ambos disminuyen la acumulación de grasa en las arterias (Weber, 1987); aunque Ronayne de Ferrer (2000) considera que otro ácido esencial para el ser humano es el linolénico (familia Omega 6), y que tanto el linoleico como el linolénico son ácidos grasos que se encuentran en la leche humana, los cuales son importantes para el crecimiento infantil y el desarrollo neurológico y de funciones vitales.

El contenido de aceite es un rasgo altamente heredable en el maíz, prueba de ello es la selección clásica iniciada en Illinois, Estados Unidos en 1896 por C. G. Hopkins, utilizando selección recurrente, para aumentar el contenido de proteína y aceite. En el año 2005 reveló que después de 106 generaciones de selección el contenido inicial de aceite de 4.5 % se elevó a más del 22 % (Dudley, 2007).

Dada la importancia que tiene el mejoramiento de la calidad del grano de maíz, se inició un programa de selección recurrente para incrementar el contenido de aceite,

desarrollándose tres ciclos de selección de familias de medios hermanos a partir de la variedad Teopisca-A. El objetivo de este trabajo fue comparar los sintéticos correspondientes a tres ciclos de selección de familias de medios hermanos en relación con el avance en el contenido de aceite en el grano completo y en el germen, estimar la heredabilidad de dicho carácter, así como determinar los tipos de ácidos grasos en el aceite.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Material genético

Se utilizaron muestras de grano de maíz de la variedad comercial V-231-A, de la variedad original Teopisca-A (C_0), y de tres sintéticos derivados de ésta, correspondientes a tres ciclos de selección de familias de medios hermanos; establecidos en tres localidades del estado de Chiapas: Teopisca (L1), Diamante (L2) y Chacaljocom (L3) (Ver detalles en Capítulo I).

2.4.2 Variables estudiadas

2.4.2.1. Proporción de las estructuras del grano

Se realizó disección de 100 granos en sus estructuras de germen (PGE), endospermo (PEN) y pericarpio (PPE) utilizando pinza y bisturí. Previo a la extracción los granos se remojaron en agua destilada durante 15 minutos para separar las estructuras. Se utilizaron cajas de aluminio (5 cm de diámetro) que se sometieron a secado a temperatura constante durante una hora a 130°; una vez transcurrido el

tiempo establecido éstas se retiraron de la estufa y se colocaron en un desecador para enfriarlas durante 20 minutos y después registrar el peso seco. Posteriormente, las estructuras de pericarpio, endospermo y germen se colocaron por separado en las cajas secas de aluminio y se sometieron al mismo procedimiento de secado antes mencionado. El peso seco de las estructuras se obtuvo por diferencia y fue expresado en porcentaje.

2.4.2.2. Dimensiones del grano

Se realizó medición del ancho (ANGR), longitud (LGR) y espesor del grano (EGR), utilizando un vernier graduado en cm, se midieron aleatoriamente 10 granos de maíz por muestra, registrando el promedio de las mismas por cada muestra.

2.4.2.3. Peso de 100 granos (WCG)

Se registró en g, utilizando una balanza analítica, considerando el peso de cada muestra de las tres localidades.

2.4.2.4. Contenido de aceite en grano completo (AGR)

Expresado por el porcentaje en base seca de las muestras de harina sometidas a extracción de grasa. Las muestras se prepararon moliendo 30 granos de maíz en un molino tipo 3302 FALLING NUMBER (Cyclotec, Sweden) para triturar el grano y posteriormente al molino FOOS TECATOR (Cyclotec, Sweden) para pulverizar la muestra con malla de 0.5 mm y obtener aproximadamente 5 g de harina, de los cuales 2 g se utilizaron para la extracción de grasa en grano completo. La extracción de aceite se realizó utilizando el método aprobado por la American Association of Cereal

Chemists (2000) para grasa cruda en harina de trigo, maíz, soja y alimentos que no han sido sometidos a un tratamiento térmico.

El método consistió en someter una muestra de 2 g de harina seca a un flujo constante de éter de petróleo en una unidad extractora tipo Goldfish (Extractor de aceite) durante 6 horas a una temperatura que establece una secuencia de 4 a 5 gotas por segundo, una vez cumplido el tiempo de exposición se procedió a recuperar el éter; posteriormente, se retiró el vaso utilizado y se colocó en una estufa a una temperatura constante de 130° durante una hora donde el resto del solvente se evapora y el residuo se seca a peso constante. Se retiró de la estufa y se colocó en un desecador para enfriar y evitar que absorba humedad del ambiente. Una vez frío se pesó el vaso expresando el residuo como porcentaje de extracto crudo de la grasa con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Grasa cruda por extracto etéreo (\%)} = \frac{\text{Peso del extracto-Peso del contenedor}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

2.4.2.5. Contenido de aceite en el germen (ACG)

Expresado por el porcentaje en base seca de cada una de las muestras de harina sometidas a extracción de grasa.

Las muestras se prepararon remojando 100 granos de maíz en agua destilada por un periodo de 15 minutos para facilitar la remoción del pericarpio y posteriormente extraer el germen depositándolo en un tubo Falcon sumergido en nitrógeno líquido. Las herramientas utilizadas para la molienda del germen fueron enfriadas en nitrógeno líquido para facilitar la operación y obtener 2 g de muestra para la extracción del aceite. Después de moler el germen, se procedió a secar la muestra colocando los tubos en un liofilizador (LABCONCO, E.U.A.) que consiste en un método de desecación en el que

se elimina el agua por congelación del producto húmedo y posterior sublimación del hielo en condiciones de vacío. Al suministrar calor el hielo sublima evitando el paso por la fase líquida; de esta manera el material queda listo para la extracción de aceites, utilizando el mismo protocolo descrito para la extracción de aceite en grano completo.

2.4.2.6 Determinación del perfil de ácidos grasos

Se determinó por cromatografía de gases, expresando en porcentaje las proporciones de ácido palmítico (APA), esteárico (AES), oleico (AOL), linoleico (AL), araquídico (AAQ) y linolénico (ALN), sobre las poblaciones C0, C3 y V-231-A en dos repeticiones por cada genotipo provenientes de dos localidades del estado de Chiapas, utilizándose 100 granos de maíz por cada muestra.

Para la extracción de lípidos el grano se secó en un horno a 45 ° C durante 16 h con el fin de estimar el contenido de humedad, de acuerdo con el método 925.10 de la Association of Official Analytical Chemists (1990). El método de Goldfish se utilizó para extraer lípidos de los granos (Association of Official Analytical Chemists, 1990).

La identificación y cuantificación de los ácidos grasos se realizó mediante un cromatógrafo de gases acoplado con espectrometría de masas (GC / MS) y 37 estándares de los ácidos grasos, de acuerdo con los métodos de Rezanka *et al.* (1983).

2.4.2.7 Rendimiento de grano (REN)

El rendimiento de grano (REN) se estimó con base en el peso de mazorca y grano de los dos surcos centrales, ajustando el número de plantas; los datos se corrigieron al 14 % de humedad y se transformaron en toneladas por hectárea.

2.4.3 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM de SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 utilizando un modelo estadístico acorde con un diseño experimental de bloques completos al azar para contenido de aceite en grano completo, rendimiento y completamente al azar para perfil de ácidos grasos y aceite en germen. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidad.

Se estimó la heredabilidad en sentido amplio (H^2) mediante el método de estimación de componentes de varianza en la prueba de variedades (Molina, 1992) obteniendo estimadores de las varianzas del error, interacción variedades por ambientes, variedades y varianza fenotípica.

Adicionalmente se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables estudiadas, con el fin de medir el grado de asociación entre ellas.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Análisis de varianza

De las 16 variables estudiadas, en 13 hubo efecto significativo en el factor localidades (Cuadro 2.1). La localidad más favorable fue Chacaljocom, en ella la distribución de la lluvia fue relativamente regular, con una sequía intraestival moderada (Figura 2.1a), además tuvo una mejor condición de suelo; las otras dos localidades (Diamante y Teopisca) fueron afectadas por la sequía intraestival, como se muestra en la Figura 2.1b para el caso de Teopisca, donde el suelo fue de menor potencial, y

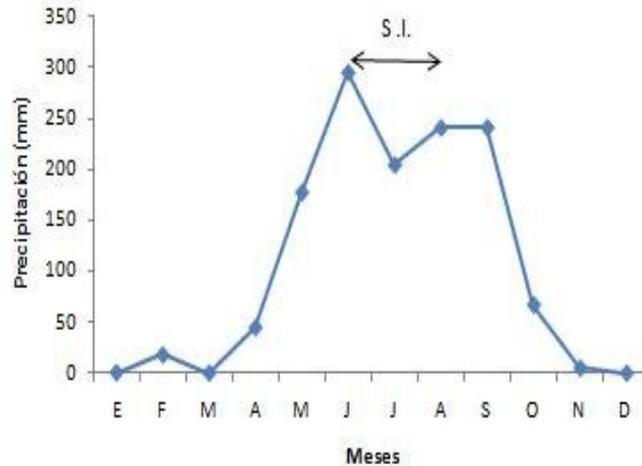
donde adicionalmente se tuvieron vientos fuertes que ocasionaron acame. En el Diamante se tuvo el efecto de competencia por residuos de olote de la cosecha del ciclo anterior.

Cuadro 2.1 Cuadrados medios y significancia de los valores de F en los factores de variación estudiados para 16 variables analizadas.

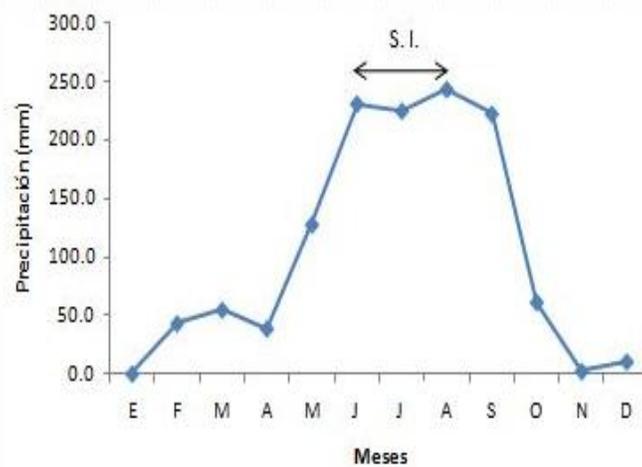
Variable	Localidades	Variedades	LOCxVAR	Error	C.V. (%)
Porcentaje de aceite grano (AGR)	1.619**	0.306*	0.151ns	0.110	7.27
Porcentaje de aceite en germen (ACG)	0.285ns	0.562ns	0.062ns	2.2	3.71
Porcentaje de germen (PGE)	5.941**	1.694**	0.145ns	0.237	5.33
Porcentaje de endospermo (PEN)	4.627**	0.951*	0.553ns	0.295	0.64
Porcentaje de pericarpio (PPE)	0.101ns	0.227ns	0.287ns	0.211	6.38
Peso de 100 granos (g) (WCG)	645.115**	10.862ns	11.854ns	8.968	6.87
Longitud de grano (cm) (LGR)	0.078**	0.002ns	0.001ns	0.001	3.52
Ancho de grano (cm) (ANGR)	0.015**	0.002ns	0.004*	0.001	3.39
Espesor de grano (cm) (EGR)	0.479**	0.383ns	0.381ns	0.387	4.43
Porcentaje de ácido palmítico (APA)	6.500**	0.024ns	4.397*	0.659	6.00
Porcentaje de ácido oleico (AOL)	6.019*	2.870ns	6.590ns	0.233	3.77
Porcentaje de ácido linoleico (AL)	246.120**	1.020ns	45.872ns	21.262	17.40
Porcentaje de ácido linolénico (ALN)	0.568ns	1.332ns	0.856ns	1.139	21.95
Porcentaje de ácido esteárico (AES)	0.453*	0.035ns	0.046ns	0.134	13.20
Porcentaje de ácido araquídico (AAQ)	1.120*	0.751ns	0.923ns	0.996	12.73
Rendimiento (t ha ⁻¹) (REN)	91.766**	1.598*	0.970ns	0.565	14.4

LOC x VAR= Interacción localidades x variedades, C.V.= Coeficiente de Variación, *= Significativo al P≤0.05, **= Significativo al P≤0.01, ns= No significativo.

En el factor variedades hubo significancia en cuatro de las variables estudiadas (Cuadro 2.1). La interacción localidades x variedades fue significativa en dos variables (Cuadro 2.1). Los coeficientes de variación en las primeras 11 variables fueron reducidos (<10%) y más altos en las últimas cinco (Cuadro 2.1).



(a)



(b)

Figura 2.1 Distribuciones de la precipitación mensual y sequía intraestival (S.I.) registradas en estaciones cercanas a Teopisca (a) y Chacaljocom (b) en 2008. Elaborada con datos del INIFAP (2008).

2.5.2 Efectos de las localidades sobre las características físicas del grano

Se aprecian tres patrones de efectos. El primero observado en porcentaje de aceite (Cuadro 2.2) y porcentaje de endospermo; en este caso, Chacaljocom tuvo el promedio más alto, Teopisca y Diamante tuvieron promedios iguales e inferiores. El segundo patrón fue observado en peso de 100 granos y rendimiento, Chacaljocom tuvo

el promedio mayor, seguido de Diamante y al final Teopisca. En un tercer patrón, observado en porcentaje de germen y ancho de grano, Chacaljocom y Diamante tuvieron los promedios mayores y Teopisca el más bajo (Cuadro 2.2). Estos comportamientos indican que los factores ambientales no afectan por igual los diferentes caracteres y que en los conjuntos de variables con similar patrón los efectos están más asociados.

Cuadro 2.2 Efecto de las localidades Chacaljocom, Teopisca y Diamante en ocho variables que mostraron significancia.

Variable	Localidades			DHS
	Chacaljocom	Diamante	Teopisca	
Porcentaje aceite en grano	4.9 a	4.4 b	4.4 b	0.25
Porcentaje endospermo	83.2 b	83.5 b	84.2 a	0.41
Porcentaje espesor de grano	0.55 a	0.53 b	0.52 b	0.01
Peso de 100 granos	48.82 a	44.39 b	37.55 c	2.31
Rendimiento (t ha ⁻¹)	7,176 a	5,562 b	2,932 c	0.57
Porcentaje germen	9.6 a	9.2 a	8.5 b	0.37
Longitud de grano (%)	1.2 a	1.1 a	1.0 b	0.03
Ancho de grano (cm)	1.13 a	1.11 a	1.08 b	0.02

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

2.5.3 Efecto de las localidades sobre los ácidos grasos

Para estas variables sólo se incluyeron muestras de las localidades de Chacaljocom y Diamante. Se aprecian dos patrones contrastados. Uno observado en el ácido oleico y ácido linoleico, donde el mayor promedio se presentó en Chacaljocom (Cuadro 2.3). El otro patrón, que contrasta con el anterior, fue observado en ácido

palmítico, ácido araquídico y ácido esteárico (Cuadro 2.3), donde la localidad de Diamante exhibe un promedio mayor que la de Chacaljocom, situación que además es comparable con porcentaje de aceite de grano, porcentaje de endospermo, peso de 100 granos, espesor de grano y rendimiento.

Cuadro 2.3 Efecto de las localidades Chacaljocom y Diamante en cinco tipos de ácidos grasos que mostraron significancia.

Ácidos Grasos	Localidades		DHS
	Chacaljocom	Diamante	
Ácido oleico (%)	31.32 a	29.19 b	1.61
Ácido linoleico (%)	32.43 a	21.45 b	6.62
Ácido araquídico (%)	0.46 b	0.59 a	0.10
Ácido esteárico (%)	2.58 b	3.09 a	0.52
Ácido palmítico (%)	11.54 b	13.14 a	1.04

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

2.5.4 Efectos de la selección

El porcentaje de aceite en grano se incrementó a medida que avanzaron los ciclos de selección (Cuadro 2.4), obteniendo un coeficiente de regresión positivo ($b=0.13$). La variedad comercial V-231-A no difirió estadísticamente de los sintéticos seleccionados. Los promedios de los sintéticos derivados de la selección oscilaron entre 4.73 y 4.32%, ligeramente arriba del 4.5 % reportado por Llanos (1984) quien considera que este es un valor representativo para maíz. Salinas-Moreno *et al.* (2008) reportaron 5.8 y 5.2% en variedades nativas del Estado de México, 4.4% en mejoradas y 4.0% en variedades importadas, en tanto que Sorte *et al.* (2005) reportaron variaciones de 3.6 a 6.8%.

Cuadro 2.4. Comportamiento de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección respecto a la variedad original (C0) y a la variedad comercial V-231 en las variables que mostraron significancia.

Genotipos	Aceite en grano (%)	Porcentaje de germen	Porcentaje de endospermo	Rendimiento (t ha ⁻¹)
C3	4.73 a	9.6 a	83.2 b	5.169 ab
C2	4.68 ab	9.4 ab	83.5 ab	4.811 b
C1	4.52 ab	8.1 bc	83.8 ab	5.493 ab
C0	4.32 b	8.7 c	83.9 a	5.050 ab
V-231-A	4.58 ab	9.1 abc	83.8 ab	5.705 a
DHS 5%	0.38	0.57	0.63	0.87

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%).

El porcentaje de germen se incrementó en los sintéticos, con un coeficiente de regresión de $b=0.32$, a medida que avanzaron los ciclos de selección ($P \leq 0.05$), mientras la variedad V-231-A no difirió estadísticamente de los sintéticos seleccionados (Cuadro 2.4).

Al seleccionar por contenido de aceite se aumentó la concentración, y paralelamente también se aumentó el tamaño del germen. En contraparte, el porcentaje de endospermo disminuyó al aumentar los ciclos de selección, con un coeficiente de regresión negativo ($b= -0.23$): es decir, varió de forma inversa con respecto al porcentaje de germen (Cuadro 2.4). Estos resultados sugieren que la selección por contenido de aceite en el grano cambió la proporción endospermo-germen, sin cambiar el peso, la longitud, ancho ni el espesor, puesto que el peso de 100 semillas, longitud, ancho y espesor de grano no presentaron significancia entre variedades (Cuadro 2.1).

En relación a esta variación inversa entre germen y endospermo del sintético C0 al C3, Weber (1987), indica que en respuesta a la selección se aumenta el tamaño de germen y se disminuye la proporción del endospermo en el grano, y concuerda en cierto grado con los resultados de Dudley y Lambert (1992) quienes obtuvieron una reducción de 1.25% de almidón por 1.0% de incremento en el contenido de aceite, dado que el almidón es el mayor componente de la semilla y por lo tanto el que más probabilidades tiene de ser afectado por un cambio en el contenido de aceite y proteínas.

En relación con los porcentajes observados, Zepeda-Bautista *et al.* (2009) reportaron porcentajes altos de germen en híbridos de maíz, que van desde 11.30 a 14.62, así como endospermo harinoso 28.10% a 64.32%, endospermo córneo 18.97% a 51.82%. Otros autores obtuvieron 12% de germen y 82% de endospermo (Kiesselbach, 1980; Bolaños y Edmeades, 1993; Cauvain y Young, 2009) que son similares a los encontrados en este trabajo.

El rendimiento no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los sintéticos de los diferentes ciclos de selección (Cuadro 2.4) coincidiendo con lo reportado por Miller *et al.* (1981) donde la concentración de aceite aumentó sin un cambio significativo en el rendimiento de grano; sin embargo, Aramendiz y Tosello (1993) en una población de maíz dentado correspondiente al tercer ciclo de selección recurrente para alto contenido de aceite observaron reducciones en el rendimiento de granos y otros atributos de la mazorca, mencionando que este comportamiento es debido a las posibles limitaciones bioenergéticas para aumentar el contenido de aceite, que afectan la síntesis de carbohidratos en la semilla; a lo que Poehlman y Allen (2003) y Cavanaugh *et al.* (1995) complementan afirmando que este comportamiento es

debido a la competencia que se establece por las sustancias asimiladas disponibles para el crecimiento, aunque no descartan la posibilidad de alcanzar una mejora paralela para rendimiento y calidad. Berke y Rocheford (1995) señalan que un aumento de la concentración de aceite en el grano como resultado de la selección suele ir acompañado de una disminución del peso de la semilla, reduciendo el rendimiento de grano.

Un caso similar lo reportan Mišević y Alexander (1989) en poblaciones sintéticas de maíz durante 24 ciclos de selección recurrente con una disminución de rendimiento de grano de $71.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ en los ciclos de selección.

Los reportes anteriores concuerdan con lo obtenido en el presente trabajo, ya que la selección para contenido de aceite no afectó el rendimiento, de tal manera que el sintético C₃ con el mayor porcentaje de aceite, no difiere estadísticamente de la variedad original.

Weber (1987) considera que los factores genéticos tienen una mayor influencia en el contenido de aceite y ácidos grasos que los factores ambientales tales como fertilización, fechas de siembra, localidades, las enfermedades y la sequía, principalmente, pueden reducir el contenido de aceite de 3.8 a 3.1%. En el presente trabajo, si bien hubo significancia entre variedades, la variación entre localidades es de mayor magnitud que la de variedades, contrario a lo que afirma Weber (1987); sin embargo, dicho autor se basa en experimentos hechos en ambientes relativamente uniformes, en contraste con ambientes mega diversos como son la mayoría de las áreas de temporal en México (Muñoz, 2005). La afirmación de que la fertilización y la sequía pueden reducir el contenido de aceite, si coincide con los resultados aquí presentados, dado que las localidades de menor potencial de fertilidad y con sequía

intraestival fueron las que presentaron menores promedios en las variables porcentaje de aceite en grano, porcentaje de germen y rendimiento.

2.5.5 Interacción Localidades x Variedades

En ancho de grano el comportamiento de C0 es contrastado al de C1 a C3 a través de las localidades (Figura 2.2). Este contraste se genera en la localidad de Teopisca por el alto promedio que C0 tuvo ahí. En ácido palmítico el comportamiento de C0 y C3 en el Diamante respecto a Chacaljocom es contrastado al de V-231-A (Figura 2.3). Estos patrones de comportamiento reflejan que los factores adversos de un ambiente no son iguales en los otros ambientes y que los factores genéticos de un carácter no responden de igual manera en un ambiente que en otro.

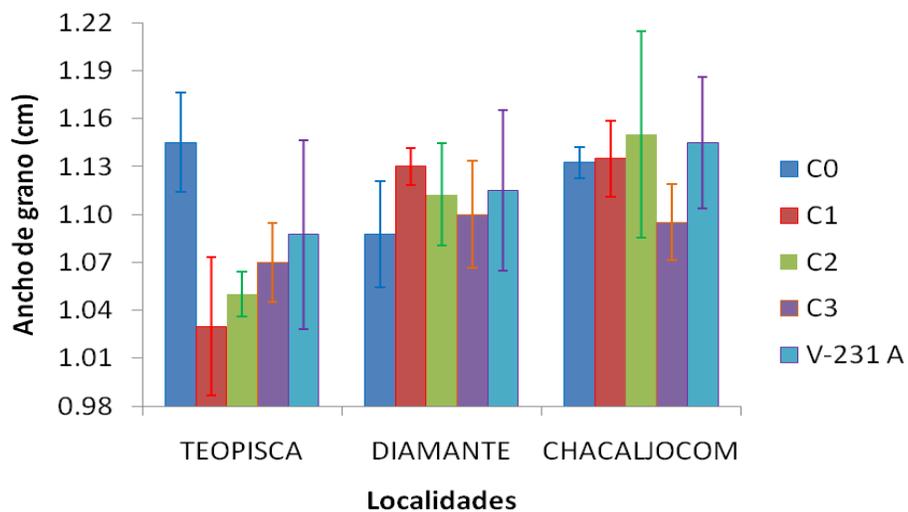


Figura 2.2 Interacción de variedades por localidades de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección, variedad original (C0) y variedad comercial V-231-A para anchura de grano.

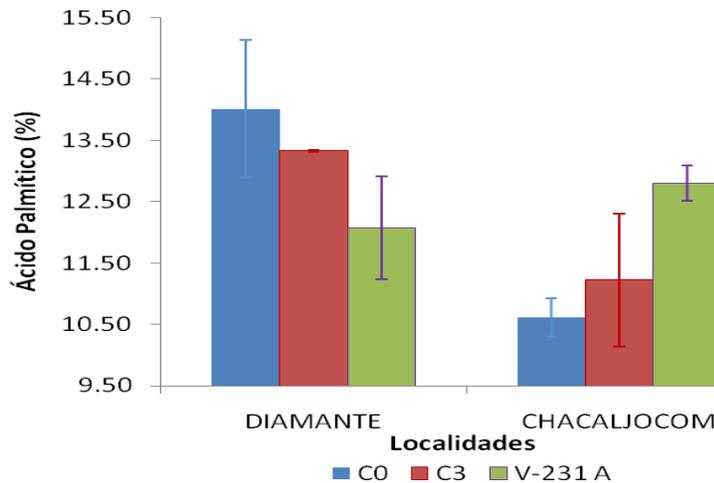


Figura 2.3. Interacción genotipo x ambiente de los sintéticos C1 a C3 derivados de tres ciclos de selección, variedad original (C0) y variedad comercial V-231-A para ácido palmítico.

2.5.6 Análisis de correlaciones

Se encontró una correlación positiva (0.51**) para la variable contenido de aceite en grano completo y contenido en el germen y negativa entre el porcentaje de aceite y proporción de endospermo (-0.43*), esto explica el hecho de que el sintético C₃, con alto contenido de aceite haya presentado un alto porcentaje de germen, coincidiendo con lo que menciona Jugenheimer (1961), que al seleccionar materiales con altos valores de aceite se selecciona indirectamente granos con mayor proporción de germen y reducido porcentaje de endospermo.

El peso de 100 granos se relacionó positivamente (0.48**) con el contenido de aceite, al igual que lo reportado por Mišević y Alexander (1989) y Abirami *et al.* (2007); así también el largo, ancho y espesor presentaron correlación positiva con el contenido de aceite en 0.46*, 0.34* y 0.30* respectivamente. También se encontró correlación

positiva entre las variables ya mencionadas con el porcentaje de germen y negativa con el porcentaje de endospermo (Cuadro 2.5), lo cual explica el hecho de que la mayor cantidad de aceite se relacione con granos más pesados y con mayor porcentaje de germen encontrados en el sintético C₃ en este trabajo, significativo para la última variable mencionada. Estos resultados se asemejan a lo obtenido por Dudley y Lambert (1992) y Weber (1987).

Cuadro 2.5. Correlaciones y su significancia entre variables del grano.

	WCG	LGR	ANGR	EGR
PGE	0.52434**	0.51854**	0.2749*	0.25178
PEN	-0.42894**	-0.43134**	-0.30232*	-0.23912

WCG= Peso de 100 granos, LGR= Longitud de granos, ANGR =Ancho de granos, EGR =Espesor de granos, PGE= Porcentaje de germen, PEN= Porcentaje de endospermo. *= significativo al $P \leq 0.05$; ** significativo al $P \leq 0.01$.

Las correlaciones del contenido de aceite en grano completo y germen no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 2.6) así como también con ninguno de los ácidos grasos. Estos resultados sugieren que existe un cambio diferencial contrastado entre el contenido de aceite y sus componentes, es decir, el incremento en los porcentajes de aceite en los granos es independiente de los cambios que ocurran en los ácidos grasos. Datos contrarios a los encontrados en este trabajo fueron reportados por Mišević y Alexander (1989) y Wassom *et al.* (2008b) quienes encontraron correlaciones positivas entre el ácido oleico y el contenido de aceite y negativas con el ácido linoleico; aunque para el primer autor en uno de sus materiales evaluados resultó lo contrario. La diferencia con los otros autores puede ser por la interacción GxE que distorsiona lo encontrado en ambientes uniformes.

Cuadro 2.6. Correlaciones entre ácidos grasos, aceite en grano completo y germen en los sintéticos evaluados en tres localidades del estado de Chiapas, México 2008.

	AL	AGR	ACG	APA	AES	AAQ	ALN
AOL	0.7648**	-0.0124	0.2208	-0.6291*	-0.5250	-0.6956*	0.4854
AL		0.0701	0.0855	-0.8394**	-0.9052**	-0.7992**	0.8416**
AGR			0.3105	-0.1158	-0.0510	-0.2436	-0.2327
ACG				0.0236*	0.0422	0.3945	-0.3041
APA					0.7346**	0.8731**	-0.6815*
AES						0.6289*	-0.7978**
AAQ							-0.5544

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. * = significativo 0.05 %; ** = significativo al 0.01%.

El porcentaje de ácido oleico presentó correlación positiva con el ácido linoleico, pero negativa con el ácido palmítico y araquídico. A su vez, el ácido linoleico se correlacionó positivamente con el linolénico y negativamente con los ácidos palmítico, esteárico y araquídico. El ácido araquídico presentó una tendencia con porcentajes bajos en los granos, lo que es explicado por una correlación negativa con respecto al ácido oleico y linoleico que se encontraron en mayor cantidad (Cuadro 2.3).

Los resultados de este estudio se contraponen con los reportados por Cheesbrough *et al.* (1997) en la composición del aceite entre razas de maíz de América Central y América del Sur donde el contenido de ácido oleico tuvo correlación negativa (-0.95) con el ácido linoleico (Wassom *et al.*, 2008b) y linolénico, pero coinciden en este experimento en el que los ácidos linoleico y linolénico correlacionan de manera positiva.

El ácido palmítico tuvo una correlación positiva con los ácidos esteárico (0.73) y araquídico (0.87), pero negativa con el linolénico. De acuerdo con los resultados se

puede afirmar de manera genérica que existe una correlación negativa entre grasas saturadas e insaturadas, aunque estadísticamente no hubo ninguna diferencia significativa entre los sintéticos.

2.5.7 Estimaciones de heredabilidad

El contenido de aceite en los granos de maíz presentó una heredabilidad en sentido amplio (H^2) de 0.13; estas estimaciones son similares a las reportadas por Cheesbroug *et al.* (1997) quienes obtuvieron un valor de 0.11 reportando una ganancia por generación de 0.22%. Dudley y Lambert (1992) reportaron porcentajes de heredabilidad mayores obtenidos en 500 líneas *per se* de maíz, con 0.89 y 0.77 para sus cruzas, comparables con los obtenidos por Wassom *et al.* (2008a) en las líneas B73 y IHO90 con 86% en retrocruzas y 91% en híbridos trilineales. Esto puede relacionarse con la baja variación ambiental en que realizaron sus determinaciones.

Las estimaciones de heredabilidad pueden variar dependiendo de los genotipos utilizados, por lo que en sintéticos o variedades de maíz el incremento en el contenido de aceite puede presentar estimaciones de heredabilidad menores en comparación con líneas e híbridos, que pueden presentar alto grado de heterosis debido a la frecuencia de genes divergentes (Pereira *et al.*, 2006), ya que el contenido de aceite en el grano de maíz está bajo control poligénico, presentando segregación cuantitativa, con predominio de efectos aditivos (Dudley *et al.*, 1977; Miller *et al.*, 1981), lo que indica la necesidad de selección continua para la mejora de este carácter.

En el germen, el porcentaje de aceite resultó con un 0.06 de heredabilidad, menor en comparación al grano completo, pero su distribución porcentual en el grano correspondió a $H^2= 0.44$. El porcentaje de endospermo mostró una heredabilidad similar

a la del aceite con 0.16, y el espesor del grano un porcentaje bajo con 0.04. Los caracteres de porcentaje de pericarpio, largo y ancho de grano tuvieron estimaciones negativas.

Los ácidos grasos esteárico y linolénico resultaron con estimaciones de H^2 de 0.01 y 0.31 respectivamente, el resto de ácidos grasos tuvieron estimaciones negativas. Los valores de heredabilidad del aceite en el grano completo fueron mayores que los de los ácidos grasos, por lo que los componentes del aceite son más estables que el aceite total en el grano (Wassom *et al.*, 2008a).

Sahagún-Castellanos (2000) señala que es común obtener estimaciones negativas de la varianza genética y repercutir en el valor de la heredabilidad; al respecto Pablo y Mejía (2002) manipularon el número de repeticiones para obtener cambios en las estimaciones negativas de los componentes de varianza, concluyendo que el número de repeticiones no cambia el signo de las estimaciones y que el método de máxima verosimilitud restringida transformó los valores negativos de los componentes de varianza a cero, método que no se recomienda, por lo que todas aquellas heredabilidades negativas deben considerarse no validas dado que son consecuencia de irregularidades en las estimaciones de los componentes de varianza.

Estos resultados permiten afirmar que el contenido de aceite en los granos de maíz se incrementó por efecto de la selección recurrente. Este incremento fue directamente proporcional al avance de los ciclos de selección, de tal manera que el sintético derivado del tercer ciclo de selección tuvo el mayor porcentaje de aceite en comparación con la variedad original C0 y el testigo V-231-A. El contenido de aceite en germen no fue significativo en los materiales evaluados, pero los aumentos en los valores porcentuales de aceite en el grano se relacionan positivamente con un

incremento en el porcentaje de germen, granos más pesados y una disminución relativa de la distribución del endospermo en el grano como lo han manifestado otros autores.

2.6 CONCLUSIONES

El contenido de aceite en los granos de maíz se incrementó por efecto de la selección recurrente, por lo que el sintético derivado del tercer ciclo de selección tuvo el mayor porcentaje de aceite en comparación con la variedad original C0 y el testigo V-231-A.

Los aumentos en los valores porcentuales de aceite en el grano correlacionaron positivamente con el incremento en el porcentaje de germen y peso de grano.

El porcentaje de germen en los granos aumentó de manera directamente proporcional al avance de los ciclos de selección, mientras que el porcentaje de endospermo disminuyó conforme avanzaron los ciclos.

La heredabilidad del carácter aceite en granos de estos compuestos es relativamente baja, ya que se trata de un carácter poligénico.

Todos los ácidos grasos se modificaron por efecto de la selección, encontrándose que los ácidos graso oleico y linoleico se encuentran en mayor porcentaje.

El tamaño de germen, peso de 100 granos, largo, ancho y espesor de los granos correlacionaron positivamente con el contenido de aceite.

El factor ambiental influyó significativamente en la expresión de los caracteres.

2.7 RECOMENCACIONES

Continuar con la metodología de selección recurrente para obtener más ciclos de selección de tal manera que se logre aumentar aún más el contenido de aceite en los granos.

Aplicar polinización controlada en los materiales que se van a someter a análisis para evitar en cierta medida el efecto de xenia y obtener mejores resultados, esto cuando las parcelas de evaluación tengan cultivos de maíz ajeno al experimento a su alrededor.

Probablemente las pocas muestras utilizadas para la extracción de aceite en germen no fueron suficientes para detectar diferencias significativas por lo que conviene utilizar el mayor número de muestras posibles para hacer más representativa la muestra.

2.8 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 Archives* 7(1): 109-113.

Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. p. 90.

American Association of Cereal Chemists. 2000. *Approved Methods*. 10^a. ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota. USA. p. 79.

- Aramendiz, T. H. y G.A. Tosello. 1993. Correlación entre contenido de aceite, rendimiento y otros caracteres agronómicos en maíz (*Zea mays* L.). ICA (Colombia) 28(2): 129-135.
- Berke G. T. and T. R. Rocheford. 1995. Quantitative trait loci for flowering, plant and ear height, and kernel traits in maize. *Crop Science* 35: 1542-1549.
- Bolaños, J. y G. O. Edmeades. 1993. La fenología del maíz. *In: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992*. Jorge Bolaños, Gustavo Sain, Roger Urbina y Héctor Barreto (eds). CIMMYT-PRM, Guatemala. Vol 4. pp: 251-261.
- Cauvain, S. P. and S.L. Young. 2009. *The ICC Handbook of Cereals, Flour, Dough and Product Testing, Methods and Applications*. International Association for Cereal Science and Technology DEStech Publications. Lancaster, PA, USA. 490 p.
- Cavanaugh K. J., B. E. Zehr, W. E. Nyquist, B. R. Hamaker and P. L. Crane. 1995. Responses to selection for endosperm hardness and associated changes in agronomic traits after four cycles of recurrent selection in maize. *Crop Science* 35: 745-748.
- 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.
- Coutiño, E. B., E. Betanzos M., A. Ramírez F. y N. Espinosa P. 2004. V-229-B y V-231-A, primeras variedades mejoradas de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(3): 295-296.

- Coutiño-Estrada, B. y G. Vázquez-Carrillo. 2007. Progress in breeding high quality protein (OPAQUE-2) in Mexican corn landraces. *In: ICC International Conference on Cereals and Cereal Products Quality and Safety*. September 23-26. Rosario, Argentina. 3 p.
- Dudley, J. W. 2007. From means to QTL: The Illinois long-term selection experiment as a case study in quantitative genetics. *Crop Science* 47: S20-S31.
- Dudley, J. W. and R.J. Lambert. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81-87.
- Dudley, J. W., R.J. Lambert and I.A. de la Roche. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop Science* 17: 111-117.
- Duffus, C. y C. Slaughter. 1985. *Las Semillas y sus Usos*. AGT Editor. México, D.F. 188 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, México. 249 p.
- Jughimer, R. W. 1961. Breeding for oil and protein in maize. *Euphytica* 10: 152-156.
- Kiesselbach, T. A. 1980. *The Structure and Reproduction of Corn*. University of Nebraska Press. Agricultural Experiment Station. Lincoln, NE. 490p.
- Lambert, R. J. 1994. High oil-corn hybrids. *In: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns*. CRC Press. Boca Ratón, Florida, U.S.A. pp. 123-145.

- Llanos, M. 1984. El maíz, su Cultivo y Aprovechamiento. Mundi-Prensa. España. 448 p.
- Loy D. D. and K. N. Wright. 2003. Nutritional properties and feeding value of corn and its by-products. *In: Corn: Chemistry and Technology*. P. J. White and L. A. Johnson (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 571-603.
- Miller, R.L., J.W. Dudley and D.E. Alexander. 1981. High intensity selection for percent oil in corn. *Crop Science* 21: 433-437.
- 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 Science* 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, Edo. de México. 211 p.
- Pablo C., E. y J. A. Mejía C. 2002. Estimación de varianzas genéticas negativas en familias de autohermanos en la población de maíz México-38. Nota científica. *In: XIX Congreso Nacional de Fitogenética*. Saltillo, Coahuila, México. p-150
- Pereira de O., J., L. J. Chaves, J. Batista D., K. de Oliveira R. and E. Madureira B. 2006. Heterosis for oil content in maize populations and hybrids of high quality protein. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 7: 113-120.

- Poehlman, J. M. y S. D. Allen. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2^a. ed. LIMUSA. México, D.F. 512 p.
- Rezanka T., J. Vokoun, J. Slavicek and M. Podojil. 1983. Determination of fatty acids in algae by capillary gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography* 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.
- Sahagún-Castellanos, J. 2000. Estimation of genetic variances with maternal half-sibs and different inbreeding coefficients and replicates. *Agrociencia* 34: 21-32.
- Salinas-Moreno, Y., S Saavedra A., J. Soria R. y E. Espinosa T. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el estado de México. *Agricultura Técnica en México* 34(3): 357-364.
- Serna S., S. 1996. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor. México D. F. 519 p.
- Sorte, N. V., K.M. Phad, S. Balachandran, M.B. More and P.S. Titare. 2005. Chemical and bio-chemical traits in maize composites. *Journal of Soils and Crops* 15(2): 424-427.
- Velasco, L. and J.M. Fernández-Martínez. 2002. Breeding oilseed crops for improved oil quality. *Journal of Crop Production* 5(1-2): 309-344.
- Wassom, J. J., J.C. Wong, E. Martinez, J.J. King, J. DeBaene, J.R. Hotchkiss, V. Mikkilineni, M.O. Bohn and T.R. Rocheford. 2008a. QTL associated with maize

kernel oil, protein, and starch concentrations; kernel mass; and grain yield in Illinois high oil × B73 backcross-derived lines. *Crop Science* 48: 243-252.

Wassom, J.J., V. Mikkelineni, M.O. Bohn and T.R. Rocheford. 2008b. QTL for fatty acid composition of maize kernel oil in Illinois High Oil × B73 backcross-derived lines. *Crop Science* 48: 69-78.

Weber, E. J. 1987. Lipids of the kernel. *In*: Watson, S. A. and P. E. Ramstad (eds.), *Corn: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A. pp: 311-349.

Zepeda-Bautista, R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J.A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval, F.V. González-Cossío y C. Hernández-Aguilar. 2009. Proteína, triptofano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43: 143-152.

III. CONCLUSIONES GENERALES

El contenido de aceite en los granos de maíz se incrementó por efecto de la selección recurrente; este incremento fue directamente proporcional a los ciclos sucesivos de selección, de tal manera que el sintético derivado del tercer ciclo de selección tuvo el mayor porcentaje de aceite en comparación con la variedad original, C₀.

La selección recurrente para incremento de aceite no tuvo efecto sobre el rendimiento.

Los aumentos en los valores porcentuales de germen mostraron un incremento en forma directamente proporcional a los ciclos de selección, contrario a lo observado en el porcentaje de endospermo en los granos.

La heredabilidad en sentido amplio del carácter aceite en grano de estos compuestos fue relativamente baja ($H^2=0.13$), ya que es un carácter poligénico y como tal, presenta porcentajes de heredabilidad bajos.

Los ácidos graso oleico y linoleico se encuentran en mayor porcentaje, lo que proporciona un valor nutritivo importante en los granos de maíz, principalmente por los beneficios que estos representan a la salud y nutrición de los consumidores. Las grasas saturadas correlacionaron positivamente con el contenido de aceite, así como el tamaño de germen, peso de 100 granos, largo, ancho y espesor de los granos.

El mayor rendimiento en la variedad comercial V-231-A se asoció con un mayor diámetro de mazorca y relativamente menor diámetro de olote; en este último carácter el sintético C₀ tuvo el mayor diámetro.

El factor ambiental tuvo influencia significativa en la expresión de más del 80% de los caracteres evaluados y la interacción genotipo por ambiente sólo fue significativa para tres de las variables estudiadas.

APENDICE A

Proceso para extracción de aceite en grano y germen; mediciones y peso de 100 granos.

Selección de granos



Figura 1A. Conteo de 100 semillas en cada una de las muestras.

Molienda



Figura 2A. Triturado de los granos (a), granos molidos en partículas grandes (b), muestra de grano premolida en (a) pasando en molino pulverizador (c), muestra pulverizada tamizada en malla 0.05 mm (d).



Figura 3A. Conservación de la harina obtenida de la molienda de los granos en frascos de cristal previamente identificados con año y número de laboratorio.

Mediciones de grano

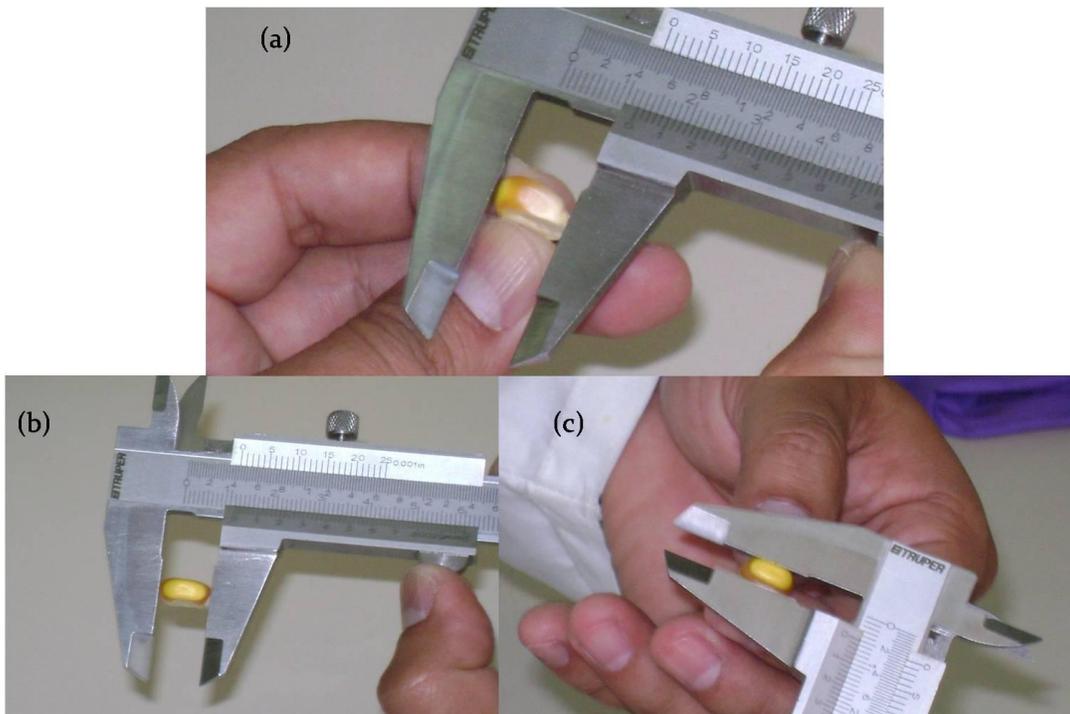


Figura 4A. Medición del largo (a), ancho (b) y espesor de granos (c).

Peso de 100 granos

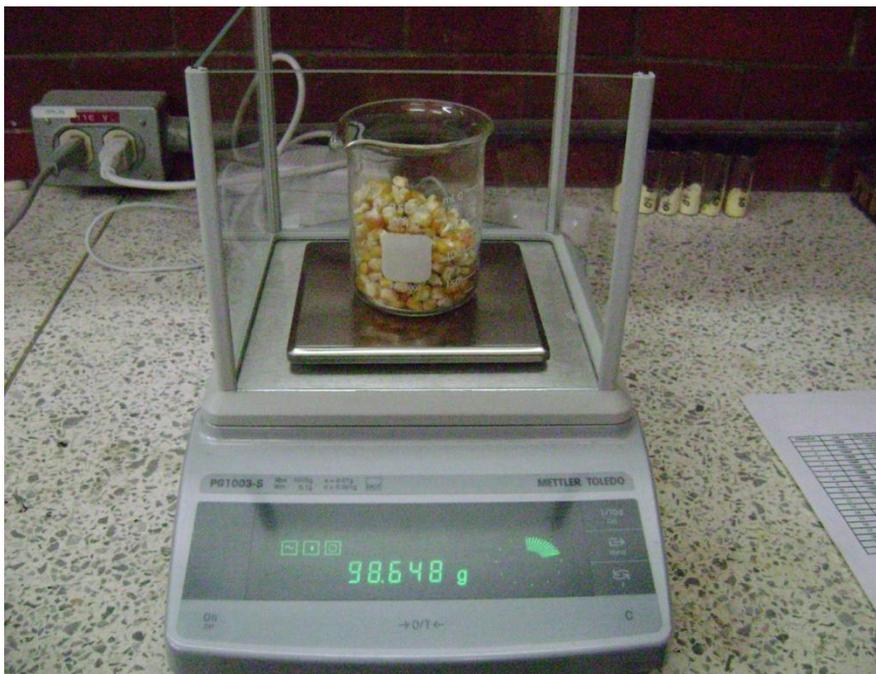


Figura 5A. Peso neto de 100 granos de maíz.

Disección de granos y determinación de los porcentajes de las estructuras

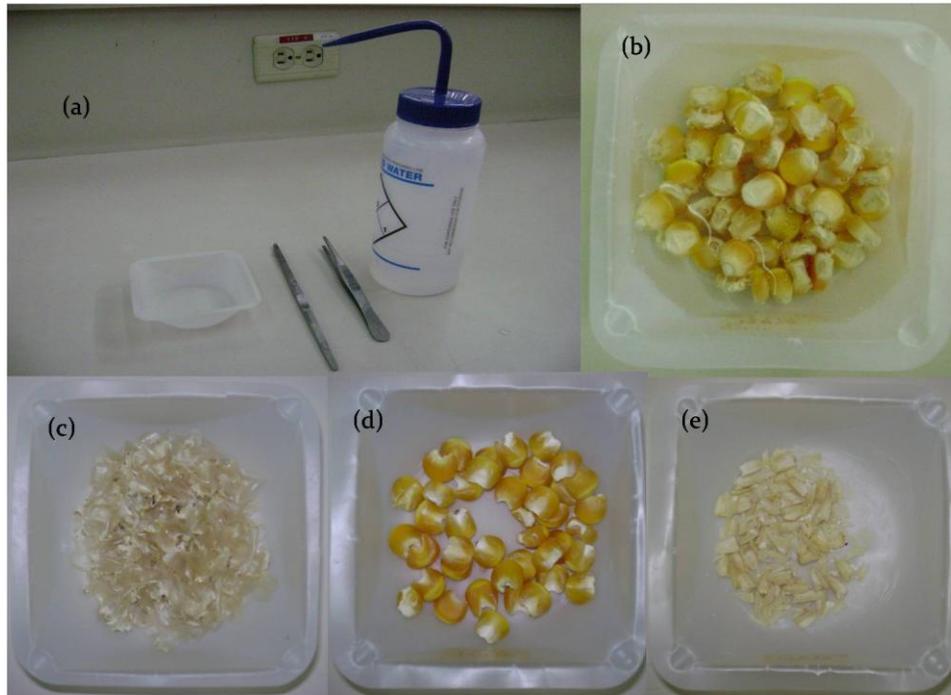


Figura 6A. Piseta con agua destilada, pinza, bisturí y recipiente de plástico (a), granos de maíz remojándose durante 10 minutos para suavizar el grano (b), pericarpio y pedicelo (c), endospermo (d) y germen (e).



Figura 7A. Determinación del peso seco de las estructuras del grano en una estufa, sometiéndolos a una temperatura de 130°C durante una hora.

Extracción del aceite del grano en harina molida de grano completo



Figura 8A. Extracción de aceite en grano completo. (a) deposición cuidadosa de la muestra de harina en cartuchos de asbesto y posterior limpieza de los instrumentos utilizados para evitar contaminación, (b) extractor de aceite en aparato tipo GOLDFISH, (c) circulación de éter de petróleo de cuatro a cinco gotas por segundo sobre la muestra durante seis horas, (d) recuperación del éter de petróleo, (e) vaso con el aceite extraído de la muestra, dicho vaso se somete a secado a una temperatura de 130°C durante una hora y posteriormente se enfría en un desecador durante 15 minutos o hasta que el vaso esté a temperatura ambiente y proceder a pesarlo en una balanza analítica.

Extracción del aceite en harina molida de germen



Figura 9A. Colocación del nitrógeno líquido en un contenedor.



Figura 10A. Extracción del germen y deposición inmediata en tubos eppendorf sumergidos en nitrógeno líquido.



Figura 11A. El germen extraído y colocado en tubos eppendorf bien identificados se guardó en un enfriador a -80°C .



Figura 12A. Muestras de germen triturado en un molino de balón calibrado a una frecuencia de 20 1/s durante un minuto, todas las herramientas utilizadas fueron sumergidas en nitrógeno líquido, por lo que el proceso se realizó en un medio congelado.



Figura 13A. Tubos con germen molido depositados en un liofilizador durante 72 horas con el propósito de eliminar el agua en las muestras y detener cualquier reacción metabólica por la presencia del mismo.



Figura 14A. Muestras de germen en proceso de extracción del aceite de la misma forma como se procedió para la extracción en grano completo hasta obtener el peso del residuo.

APENDICE B

Mazorcas correspondientes a cada una de las parcelas cosechadas en las tres localidades de evaluación.

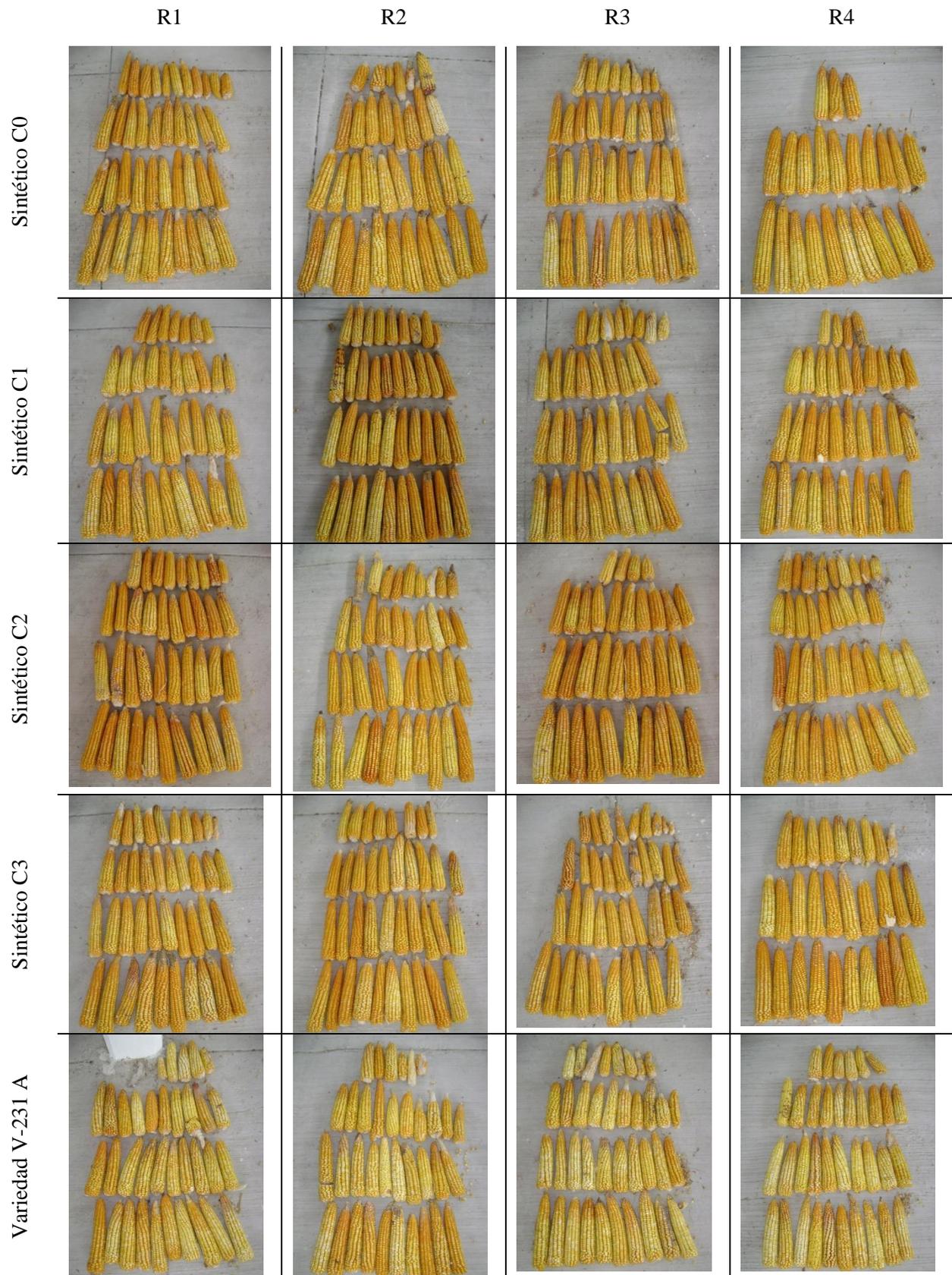


Figura 1B. Parcelas cosechadas en la localidad Chacaljocom, estado de Chiapas, 2008.

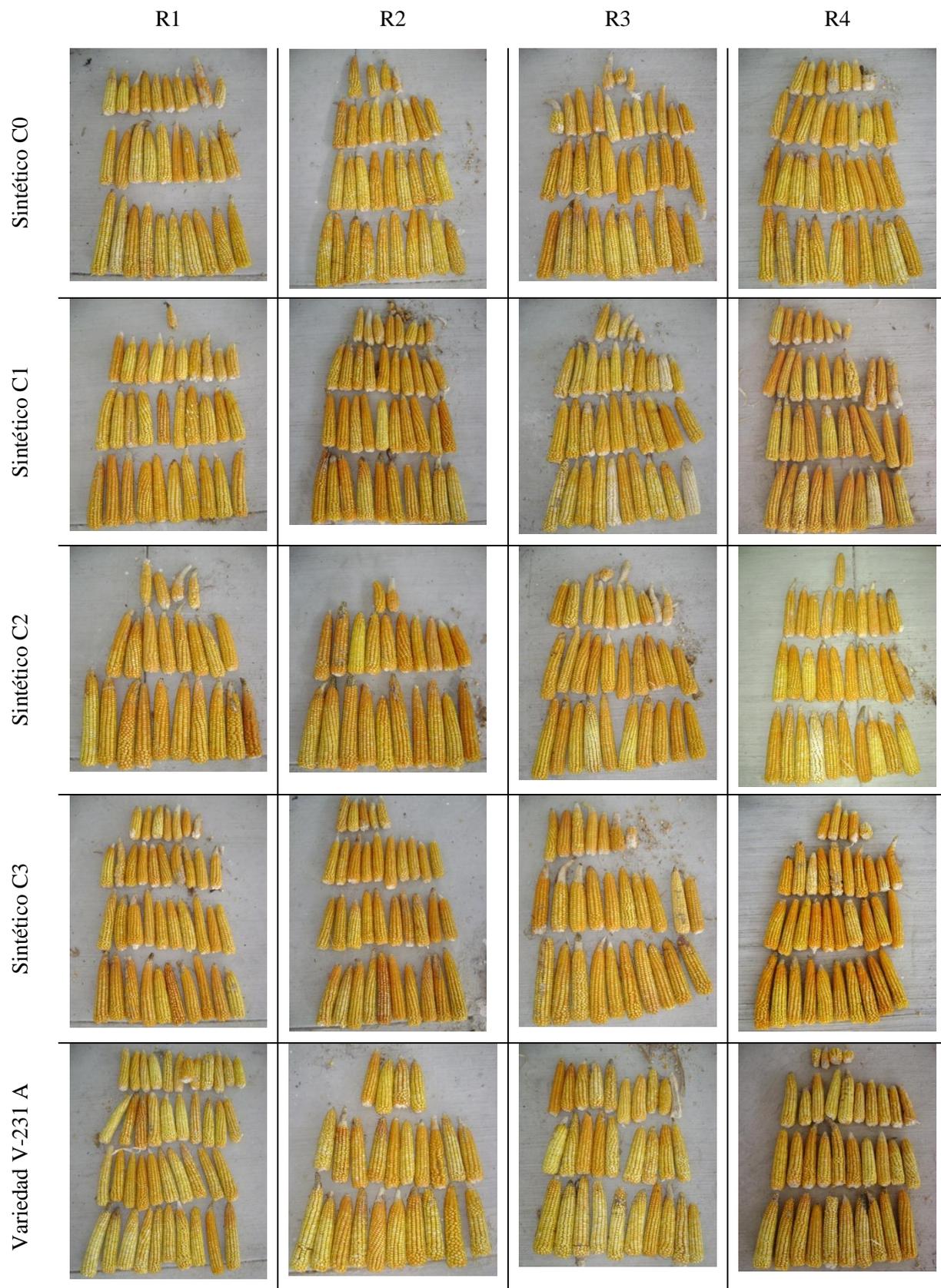


Figura 2B. Parcelas cosechadas en la localidad Diamante, estado de Chiapas, 2008.

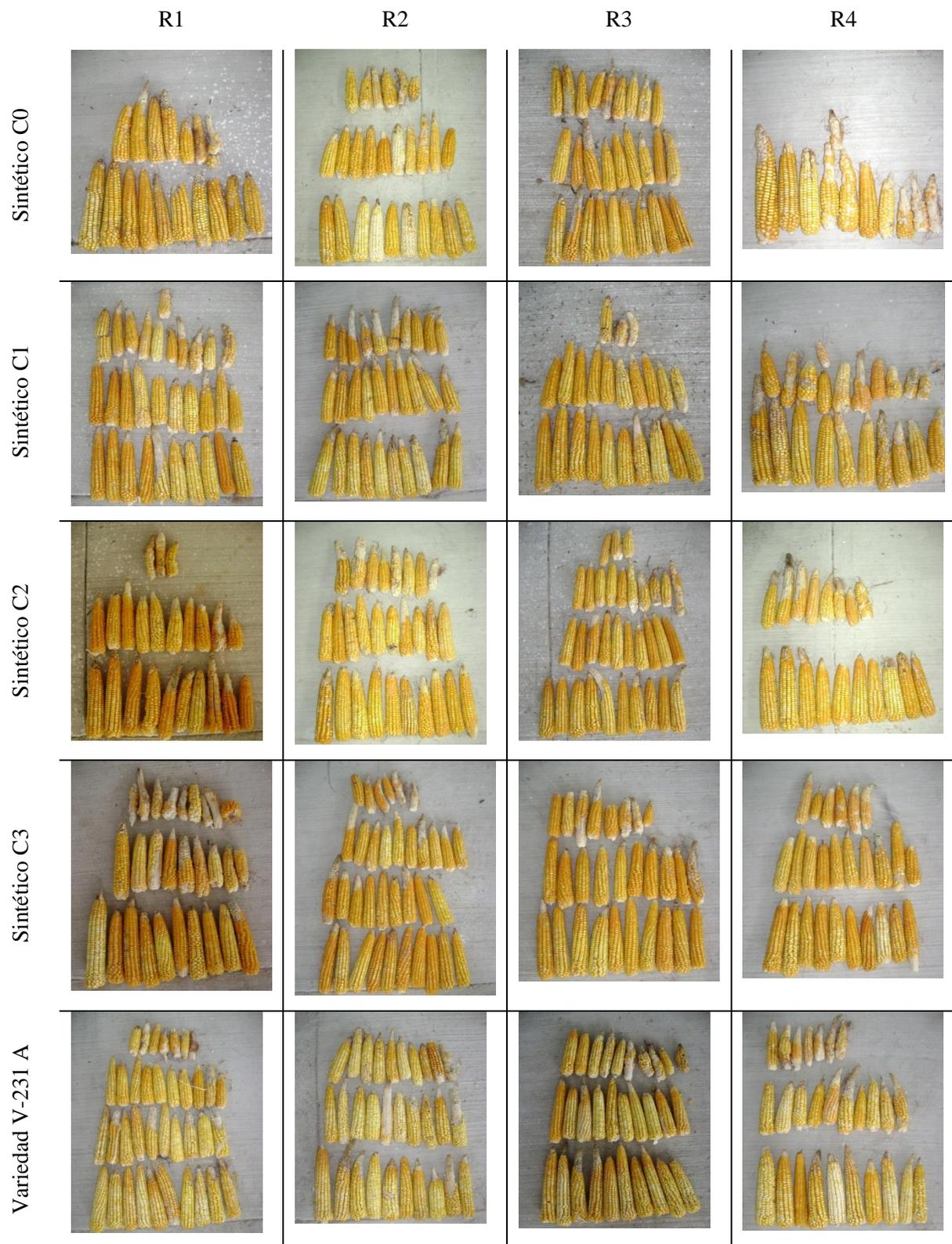


Figura 3B. Parcelas cosechadas en la localidad Teopisca, estado de Chiapas, 2008.