

Caracterización del perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela

Jesús Alezones, Manuel Ávila, Alberto Chassaigne y Venancio Barrientos.

Fundación para la Investigación Agrícola Danac. San Javier Estado Yaracuy. Venezuela

RESUMEN. En Venezuela el maíz blanco representa el principal cultivo por área de siembra, producción y consumo. Uno de los principales subproductos de este rubro es el aceite de maíz, cuyo efecto positivo sobre la salud, por su alta proporción de ácidos grasos insaturados, ha sido ampliamente reconocido. Con el fin de conocer el perfil de ácidos grasos de doce híbridos de maíz blanco sembrados extensivamente en Venezuela y el efecto que distintas localidades de siembra poseen sobre el mismo, se realizaron tres ensayos a escala semicomercial en tres localidades de los estados Portuguesa, Yaracuy y Guárico. Las proporciones de los principales ácidos grasos del aceite crudo de las muestras de grano de distintos híbridos fueron determinados usando cromatografía de gases. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los híbridos para el contenido de los ácidos grasos: araquídico, palmítico, palmitoléico, esteárico, oleico, gadoléico y linoléico; no se encontró diferencias para el ácido linoléico. Adicionalmente, el efecto de las localidades fue altamente significativo para todos los ácidos grasos mencionados. Al correlacionar el contenido de estos ácidos grasos se encontraron relaciones altas y significativas; las relaciones más estrechas fueron: linoleico-oleico ($Rho = -0,98^{**}$), araquídico-palmítico ($Rho = -0,61^{**}$), linoleico-esteárico ($Rho = -0,61^{**}$) y oleico-esteárico ($Rho = 0,58^{**}$). Los maíces producidos en Venezuela presentaron menores niveles de ácido linoléico y mayores de ácidos palmítico, esteárico y oleico con respecto los maíces referenciados para climas templados. Estas diferencias implican cambios en las propiedades alimenticias del aceite de maíz proveniente de maíces sembrados en Venezuela y deben tomarse en cuenta en el desarrollo de nuevos cultivares y en el procesamiento industrial con fines de aprovechamiento de aceites.

Palabras clave: Aceite, grasas saturadas, grasas insaturadas, trópico.

INTRODUCCION

El aceite de maíz presenta características sensoriales muy apreciadas por el consumidor tanto en aderezos para ensaladas como en la cocción de alimentos. Este aceite ofrece excelentes beneficios a la salud. Sus niveles de alfa y gamma-tocoferoles (vitamina E) le confieren estabilidad al evitar la rancidez oxidativa, además es considerado una fuente de ácidos grasos esenciales (1). Una de las ventajas comparativas del aceite de maíz radica en una mayor relación de los ácidos grasos insaturados/saturados (2), atribuido principalmente al alto contenido de ácido linoleico (polinsaturado), el cual es necesario para la integridad de la piel, las membranas celulares,

SUMMARY. Fatty acids profile characterization of white maize hybrids grown in Venezuela. In Venezuela, white corn is the most important crop regarding production, harvest area and consumption. One of its main by-products is corn oil, whose positive effect on health caused by the high content of unsaturated fatty acids has been widely recognized. In order to characterize the fatty acids profile of twelve white grained maize hybrids extensively grown in Venezuela, and the effect that divergent localities has on this profile, three semi commercial scale trials were established in Portuguesa, Yaracuy and Guárico states. Proportions of the main fatty acids in the raw oil of the different grain samples were determined using gas chromatography. Significant differences ($p < 0,01$) between hybrids were found for arachidic, palmitic, stearic, oleic, gadoleic and linoleic acids; non significant differences were found for linolenic acid. Significant differences between localities were found for all the fatty acids evaluated. High and significant correlations between fatty acids content were found; the most important relations were: linoleic-oleic ($Rho = -0,98^{**}$), arachidic-palmitic ($Rho = -0,61^{**}$), linoleic-stearic ($Rho = -0,61^{**}$) and oleic-stearic ($Rho = 0,58^{**}$). Corn produced in Venezuela presents lower levels of linoleic and higher levels of palmitic, stearic and oleic acids than the levels found in temperate corn. These differences involve significant changes in the nutritional properties of Venezuelan corn oil that should be considered in the development of new cultivars and industrial processes for oil production.

Key words: Vegetable oil, saturated fats, unsaturated fats, tropic.

el sistema inmunológico y la síntesis de icosanoides, requeridos para las funciones cardiovasculares, renales y la prevención de ciertas enfermedades (3). Adicionalmente, el aceite de maíz en la dieta incrementa la absorción de otros ácidos grasos y nutrientes solubles en grasa como las vitaminas (4). Se ha demostrado los efectos del aceite de maíz en la disminución de los niveles de colesterol en la sangre, en especial de las lipoproteínas de baja densidad (LDL por sus siglas en inglés) y por lo tanto en el riesgo de enfermedades del corazón (3).

En Venezuela se consumen unos 36,7 kg de harina precocida de maíz per capita / año (5), lo que la convierte en la primera fuente de calorías y la tercera fuente de proteínas

de este país, estas calorías provienen principalmente del almidón contenido en el grano. La harina precocida de maíz se obtiene mayormente de la molienda seca, este proceso se basa en la remoción física de los constituyentes del grano para obtener el endospermo utilizado para producir la harina. Como subproducto principal de este proceso se encuentra el germen de maíz del cual se extrae el aceite crudo. Durante el año 2007, en Venezuela se obtuvieron aproximadamente 220.768 toneladas de germen, para la extracción de 43.039 toneladas métricas de aceite crudo, basado en estas cifras podemos estimar que el aceite de maíz producido en Venezuela suministra el 1,5% de las calorías consumidas por el venezolano (5). El perfil de ácidos grasos de maíces sembrados en latitudes templadas como la del cinturón del maíz en EE. UU., ha sido ampliamente caracterizado (2), en contraste, existen pocas referencias para maíces desarrollados en el trópico.

En un estudio correspondiente a un proyecto de caracterización de maíces en Latinoamérica (LAMP, por sus siglas en inglés), se encontró que existe una amplia variabilidad en la composición de ácidos grasos en maíces de los diferentes países latinoamericanos, que resultan en fuentes promisorias para la producción de aceites de composición específica de ácidos grasos (6). Al evaluar el perfil de ácidos grasos de maíces sembrados en Colombia y compararlos con maíces de EE. UU., se encontró que generalmente los maíces tropicales presentaron menor insaturación de ácidos grasos, es decir, una menor presencia de ácidos grasos con dobles enlaces (7), lo cual podría implicar cambios en las propiedades alimenticias en detrimento de la salud humana. Se ha indicado que una dieta rica en ácidos grasos saturados constituye un factor de riesgo de enfermedades en humanos (8).

Dentro de los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el perfil de ácidos grasos está la temperatura ambiental, la cual al aumentar incrementa la proporción de ácidos grasos saturados a expensas de los insaturados (1). La caracterización del perfil de ácidos grasos en aceites de maíces comerciales cultivados en Venezuela no ha sido ampliamente conocida ni divulgada. Mayormente, las harinas y el aceite de maíz generados en la industria nacional se obtienen a partir de mezclas de granos de diferentes cultivares, los cuales han sido mejorados para el potencial de rendimiento en campo, la resistencia del cultivo a plagas y enfermedades y la dureza del grano, pero sin ninguna especificación en cuanto al perfil de ácidos grasos. Esto ha limitado a las empresas en conocer las posibles causas de variación del perfil de ácidos grasos de la materia prima que pudieran afectar negativamente las bondades del aceite del maíz. También ha limitado la orientación de los programas de mejoramiento genético nacionales para la obtención de maíces con una composición de ácidos grasos específica en atención a las demandas actuales de salud de los

consumidores. Por ello el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el perfil de ácidos grasos obtenidos de maíces comerciales y estudiar su comportamiento en algunas zonas de producción de Venezuela.

MATERIALES Y METODOS

Diseño experimental

El diseño experimental estuvo constituido por la combinación de 12 híbridos y tres localidades. Los híbridos empleados en el estudio fueron maíces blancos comerciales cultivados a nivel nacional y se indican con sus respectivos obtentores en paréntesis como sigue: D-2002, D-2562 y D-3160 (Fundación Danac); H-3000 (HIMECA); HS-9 y HS-11 (Cristiani Burkard); P-30R92, P-30B87 y P-30F94 (Pioneer), SEM-176C (SEMINACA); SF-02 (SEFLOARCA) y SK-198 (SEHIVECA); estos se sembraron en unidades de producción de tres zonas maiceras de Venezuela, ubicadas en: i) Píritu, Turén, estado Portuguesa, ii) Unidad de producción agrícola "Finca las Guacamayas", ubicada en El Sombrero estado Guárico y iii) Las Velas, estado Yaracuy, y fueron manejados agrónomicamente por los mismos productores agrícolas con el fin de emular las condiciones reales de campo. Las características de cada una de las unidades de producción se describen en la Tabla 1. Los híbridos fueron sembrados en parcelas contiguas constituidas por ocho hileras de 150 m de largo, distanciadas a 0,8 m, para una superficie total de 960m² por híbrido. La unidad experimental fue una muestra compuesta de 150 g de maíz tomada, con ayuda de un calador, en varios puntos de sacos de 50 kg provenientes de cada parcela de híbridos en campo. Los granos se cosecharon a 22-24 % de humedad, siendo colocados en los sacos al momento de la descarga de la cosechadora mecánica en diferentes puntos de cada parcela.

Preparación de las muestras

Las muestras de grano de los híbridos fueron trasladadas al Laboratorio del Centro Tecnológico Polar (Caracas, Venezuela) luego fueron molidas con el uso de un equipo Cemotec 1090 (FossTecator, Suiza). De cada muestra se pesaron 90 mg de harina en tubos a los cuales se les agregaron 0,75 mL de metóxido de sodio y 2 mL de hexano, luego se agitaron por 30 minutos en un Hofer Red Rotor Shaker y centrifugaron a 2500 RPM, por 5 minutos a 10°C. Con una pipeta Pasteur se extrajo el sobrenadante (hexano) y se colocó en viales de reacción de fondo cónico, este proceso fue repetido pero agregando sólo 1 mL de hexano. El hexano resultante de ambas extracciones fue mezclado y se agregó un poco de sulfato de magnesio anhidro para remover el agua y evitar el deterioro de la columna. El producto final de la mezcla fue considerado como el extracto.

TABLE 1
Información sobre las localidades de ensayo

Localidad	Estado	Prec Δ	TM °C δ	msnm	Coordenadas	
					N	W
Píritu	Portuguesa	736	27,3	126	09°16'40"	69°04'37"
El Sombrero	Guárico	831	27,7	166	09°18'32"	66°47'43"
Las Velas	Yaracuy.	795	26,2	344	10°02'45"	69°09'12"

Δ Precipitación acumulada en mm durante el ciclo de cultivo; δ Temperatura media en °C durante el ciclo del cultivo.

Cromatografía de gases

La cromatografía se realizó siguiendo la metodología descrita por Belitz y Grosch (9). Previo a la inyección del extracto, la columna se purgó con un flujo de helio de 20 cm/seg a 250° C por un tiempo de 30 min a 1 hora, con el detector FID encendido, hasta lograr estabilizarse en 17–20 pA. Luego se inyectaron 2 μ l del estándar certificado diluido en un cromatógrafo de gases serie 6890 (Hewlett-Packard, USA), acoplado a un detector de ionización de llama cuyas

condiciones se especifican en la Tabla 2 y se calibraron los tiempos de elución para los ácidos grasos: palmítico (C16:0), palmítoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0) y gadoleico (C20:1). Finalmente, se inyectó 0,2 μ L del extracto en la columna para determinar la proporción presente en el grano de los diferentes ácidos grasos. Los contenidos de ácidos grasos fueron obtenidos del promedio de tres lecturas y fueron expresadas en g /100 g del contenido de grasa total.

TABLE 2
Parámetros del método de análisis de ácidos grasos de cereales y derivados por Cromatografía de Gases (GC-FID)

Parámetros	GC-FID
Nombre del método	GRASCOR1
Tipo / dimensiones de la columna	Supelco SP-2380, N° cat. 24110-U 90% cianopropil 10% cianopropil fenil siloxano. 30 m x 0,25mm x 0,2 μ m
Volumen/modo de inyección	0,2 μ l, en columna
Temperatura del inyector	Ajustado en ratreo del horno (track oven)
Temperatura inicial del horno	140°C (por 2 min)
Rampa de calentamiento	4 °C/min
Temperatura final	250°C
Flujo	0,6 mL/min
Velocidad promedio	20 cm/seg
Tiempo de corrida	29,50 min
Temperatura del detector	Fuente: 250°C
Flujos de gases en el detector (FID)	Flujo de hidrógeno: 35 mL/min
	Flujo de aire: 350 mL/min
	Modo: flujo de ajuste constante (45 mL/min)
	Gas de ajuste: Helio

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y se determinaron los efectos híbridos y localidad, asimismo, se realizó la prueba de medias para ambas fuentes de variación usando t' student y Tukey a un nivel de probabilidad de 5%. Por otra parte, se aplicó correlación no paramétrica de Spearman Rho para conocer las asociaciones entre los distintos ácidos

grasos contenidos en el grano de maíz y la temperatura ambiental durante la maduración del grano. Los datos climáticos provienen de estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de ensayo. En "Finca Las Guacamayas" se utilizaron los datos de la Estación Carrizales Aviación Militar Bolivariana El Sombrero Estado Guárico, latitud 09°25' norte y longitud 66°55' oeste y a una altura de 161 msnm. En Las Velas se

emplearon los datos de la Estación climatológica de Yaritagua del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) del estado Yaracuy, latitud 10°21'55" norte y longitud 68°39'12" oeste ubicada a 308 msnm de altura; y en Píritu se utilizaron los datos climáticos de la Estación Meteorológica de Araure del Centro de Investigaciones Agropecuarias del INIA Estado Portuguesa de coordenadas Latitud 9° 36' norte y Longitud 69° 13' oeste Altura: 200 msnm. Todos los análisis se hicieron con el software JMP 7 (10).

RESULTADOS

Los promedios de ácidos grasos saturados e insaturados de los híbridos fueron de 17,6 y 82,3 g/100g de grasa total, respectivamente (Tabla 3). De todos los ácidos grasos evaluados, los promedios y rangos mayores fueron obtenidos para el ácido linoleico (46,8 g/100g de grasa total) seguido del oleico (33,9 g/100g de grasa total); mientras los menores promedios fueron obtenidos para los ácidos palmitoleico, linolénico y gadoleico, estos a su vez, presentaron diferentes rangos, atribuido a las diferencias genéticas entre los maíces.

TABLA 3
Perfil de ácidos grasos del aceite de doce híbridos de maíz blanco proveniente de tres localidades de Venezuela

Híbridos	Ácidos grasos (g/100 g grasa total) ^λ											
	Palmitico C16:0	Palmito- leico C16:1	Esteárico C18:0	Oleico C18:1	Linoleico C18:2	Linolénico C18:3	Araquídico C20:0	Gadoleico C20:1	Satu- rados	Insatu- rados	Mono insaturados	Poli insaturados
D-2002	13,7 ^{bc}	0,20	3,3 ^a	34,9 ^{ab}	45,7 ^c	0,90	0,73 ^{abc}	0,50	17,7	82,2	35,6 ^{ab}	46,6 ^c
D-2562	13,4 ^c	0,23	3,2 ^a	34,3 ^{abc}	46,4 ^{bc}	0,93	0,73 ^{abc}	0,57	17,4	82,4	35,1 ^{abc}	47,3 ^{bc}
D-3160	14,1 ^{abc}	0,20	3,1 ^a	35,2 ^{ab}	45,2 ^c	0,90	0,67 ^{bc}	0,50	17,8	82,0	35,9 ^{ab}	46,1 ^c
H-3000	14,5 ^a	0,23	2,6 ^{bc}	33,0 ^c	47,5 ^b	0,93	0,70 ^{bc}	0,47	17,8	82,1	33,7 ^c	48,4 ^b
HS-11	14,0 ^{abc}	0,20	2,4 ^c	34,5 ^{abc}	46,6 ^{bc}	0,97	0,77 ^{ab}	0,50	17,2	82,7	35,2 ^{abc}	47,5 ^{bc}
HS-9	13,6 ^{bc}	0,23	2,7 ^{bc}	33,7 ^{bc}	47,3 ^b	0,97	0,70 ^{bc}	0,57	17,0	82,8	34,5 ^{bc}	48,3 ^b
P-1409BW	14,5 ^a	0,27	2,7 ^b	34,9 ^{ab}	45,5 ^c	1,03	0,60 ^c	0,33	17,9	82,0	35,5 ^{ab}	46,5 ^c
P-30B87	13,9 ^{abc}	0,23	3,1 ^a	35,8 ^a	45,1 ^c	0,97	0,67 ^{bc}	0,43	17,6	82,5	36,4 ^a	46,1 ^c
P-30F94	13,6 ^{bc}	0,20	3,1 ^a	34,5 ^{abc}	46,2 ^{bc}	0,93	0,80 ^{ab}	0,33	17,5	82,2	35,1 ^{abc}	47,2 ^{bc}
SEM-176C	14,4 ^a	0,23	2,6 ^{bc}	30,5 ^d	50,2 ^a	0,97	0,60 ^c	0,33	17,6	82,2	31,1 ^d	51,2 ^a
SF-02	13,6 ^{bc}	0,20	3,2 ^a	35,1 ^{ab}	45,4 ^c	0,90	0,87 ^a	0,50	17,7	82,1	35,8 ^{ab}	46,3 ^c
SK-198	14,2 ^{ab}	0,23	2,7 ^{bc}	30,7 ^d	49,9 ^a	0,93	0,67 ^{bc}	0,47	17,5	82,3	31,4 ^d	50,9 ^a
Media	14	0,2	2,9	33,9	46,8	0,9	0,70	0,5	17,6	82,3	34,6	47,7
Rango	1,1	0,07	0,9	5,3	5,1	0,13	0,27	0,24	0,9	0,8	5,4	5,1
CV%	3,0	19,8	6,8	2,9	2,0	6,7	11,2	30,8	2,4	0,5	2,7	2,0

^λ = Letras diferentes indican diferencias significativas (t, Student's 5%), la ausencia de letras indica no diferenciación.

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas entre híbridos para los ácidos grasos esteárico, oleico y linoleico ($p > 0,01$), palmítico y araquídico ($p > 0,05$) y no se detectaron diferencias para los ácidos grasos palmitoleico, linolénico y gadoleico. El ácido palmítico presentó un rango de variación de 1,1 g/100g de grasa total, entre híbridos y la comparación de medias reveló el establecimiento de tres grupos homogéneos, destacando niveles superiores para los híbridos H-3000, P-1409BW y SEM-176C, e inferiores para el híbrido D-2562. Los promedios de ácido palmítico de los híbridos D-3160, HS-11 y P-30B87 alcanzaron niveles intermedios que no fueron estadísticamente diferenciables del resto de los maíces, mientras que los híbridos restantes formaron parte de dos grupos homogéneos con promedios altos y bajos. En cuanto al contenido de ácido palmitoleico, este fue similar entre los híbridos y presentó la menor contribución porcentual y el menor rango de todos los ácidos grasos determinados.

El ácido esteárico presentó un rango reducido entre híbridos y la comparación de sus promedios evidenció el

establecimiento de tres grupos homogéneos. Los híbridos D-2002, D-2562, D-3160, P-30B87, P-30F94 y SF-02 conformaron un grupo estadísticamente superior, mientras que el híbrido HS-11, conformó el grupo de los menores promedios. Los híbridos restantes formaron parte de dos grupos homogéneos debido a sus promedios intermedios (Tabla 3).

El ácido oleico presentó el más amplio rango de variación (6,7 g/100g de grasa total). La comparación de medias reveló el establecimiento de cuatro grupos homogéneos, destacando niveles superiores para el híbrido P-30B87, e inferiores para los híbridos SEM-176C y SK-198. Los híbridos restantes formaron parte de dos o tres grupos homogéneos con promedios intermedios de ácido oleico (Tabla 3).

Para el ácido linoleico, la comparación de medias entre híbridos indica la definición de tres grupos homogéneos, donde los híbridos SEM-176C y SK-198 presentaron promedios significativamente superiores, mientras que los híbridos D-2002, D-3160, P-1409BW, P-30B87 y SF-02

pertenecieron al grupo con valores menores (Tabla 3).

Los híbridos presentaron promedios similares de ácido linoléico y gadoleico. En cuanto al ácido araquídico, los maíces se diferenciaron en tres grupos homogéneos, donde el mayor promedio fue alcanzado por el híbrido SF-02 y los menores promedios por los híbridos SEM-176 y P-1409BW; el resto de los híbridos presentaron promedios similares (Tabla 3).

En cuanto a la proporción de ácidos saturados e insaturados en la grasa, y a la división de estos últimos en monoinsaturados y polinsaturados se encontró que a pesar de que no se encuentran diferencias entre las primeras fracciones, si se observan diferencias altamente significativas entre los híbridos para las fracciones monoinsaturadas y polinsaturadas (Tabla 3).

En la proporción de ácidos monoinsaturados, la comparación de medias entre híbridos identifica cuatro grupos homogéneos, donde el mayor promedio fue alcanzado por el híbrido P-30B87 y los menores promedios por los híbridos SEM-176 y SK-198. Para los ácidos polinsaturados, esta comparación define la formación de tres grupos de medias, donde los mayores promedios fueron alcanzados por los híbridos SEM-176C y SK-198, mientras que los menores por los híbridos D-2002, D-3160, P-1409BW, P-30B87 y SF-02 (Tabla 3).

El análisis de varianza por ácido graso, revela que existen diferencias significativas ($p > 0,01$) para la fuente de variación “localidad” en casi todos los ácidos grasos a excepción del ácido gadoleico, así como en las fracciones saturadas,

monoinsaturadas y polinsaturadas. La Tabla 4 presenta la comparación de medias por localidad de los diferentes ácidos grasos para los doce híbridos bajo estudio, así como la suma de las fracciones saturadas e insaturadas y la subdivisión mono y poli insaturada. Dentro de las fracciones saturadas e insaturadas los promedios encontrados en “Las Velas” y “El Sombrero” fueron similares, mientras que “Píritu” obtuvo los mayores niveles de saturación de todas las localidades evaluadas. Asimismo, “Las Velas” posee los mayores valores de monoinsaturación. Los máximos rangos de variación entre localidades fueron encontrados para los ácidos graso oleico y linoleico y las fracciones mono y polinsaturadas, mientras que para el resto de las fracciones evaluadas las diferencias entre localidades fueron inferiores a 0,6 g/100g de grasa total.

La comparación de medias por “localidad” también revela el establecimiento de dos grupos diferentes, para los ácidos grasos considerados en el estudio, salvo el ácido gadoleico el cual no presentó diferencias importantes en sus promedios. Los niveles de ácido palmítico, linoleico y linoléico fueron significativamente superiores en “El Sombrero” y “Píritu” con respecto a “Las Velas”; mientras que el contenido de ácido palmítoleico resultó significativamente superior en “Píritu” con respecto a “Las Velas” y “El Sombrero” y estas últimas, a su vez, fueron similares. Los promedios de ácido esteárico y araquídico presentaron sus valores máximos en “Las Velas” y mínimos en “Píritu”. A pesar de las diferencias existentes de los promedios para ácidos grasos, no se evidenciaron efectos importantes en la proporción saturada-insaturada a través de las localidades (Tabla 4).

TABLA 4
Perfil de ácidos grasos del aceite de doce híbridos de maíz blanco por localidad de siembra

Localidad	Ácidos grasos (g/100 g grasa total) ^λ											
	Palmitico	Palmitoleico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linoléico	Araquídico	Gadoleico	Saturados	Insaturados	Mono insaturados	Poli insaturados
Las Velas	13,6 ^b	0,2 ^b	3,0 ^a	35,2 ^a	45,8 ^b	0,9 ^b	0,8 ^a	0,5	17,4 ^b	82,6	35,8 ^a	46,4 ^b
El Sombrero	14,1 ^a	0,2 ^b	2,7 ^b	33,1 ^b	47,7 ^a	1,0 ^a	0,7 ^{ab}	0,5	17,5 ^{ab}	82,5	33,8 ^b	48,6 ^a
Píritu	14,2 ^a	0,3 ^a	3,0 ^a	33,5 ^b	47,0 ^a	1,0 ^a	0,6 ^b	0,4	17,8 ^a	82,2	34,2 ^b	48,0 ^a
Rango	0,6	0,1	0,3	2,1	1,9	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	2,0	2,2

λ = Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, 5%), la ausencia de letras indica no diferenciación.

En lo referente a los análisis de correlación, se encontró que la mayoría de los ácidos grasos estuvieron asociados significativamente de manera positiva y/o negativa, salvo los ácidos palmítoleico y gadoleicos, los cuales no presentaron correlación significativa con el resto de los ácidos grasos (Tabla 5). Los mayores coeficientes de correlación fueron negativos y las asociaciones más importantes fueron obtenidas para los ácidos linoleico-oleico (-), araquídico-palmítico (-), linoleico-esteárico (-), oleico-esteárico (+) y palmítico-esteárico (-) el

resto de las asociaciones fueron débiles. Por otra parte, se encontraron correlaciones significativas entre la temperatura media ambiental durante el desarrollo y maduración del grano y la concentración de los distintos ácidos grasos (Tabla 6). La temperatura media ambiental estuvo asociada positivamente con la concentración de los ácidos grasos palmítico, palmítoleico, linoleico, linoléico y los ácidos grasos saturados y polinsaturados y negativamente con los ácidos grasos, oleico y araquídico y los monoinsaturados.

Correlaciones^α entre ácidos grasos de doce híbridos de maíz blanco sembrados en tres localidades de Venezuela

	Palmitoleico	Esteárico	Oléico	Linoléico	Linolénico	Araquídico	Gadoleico
Palmitico	0,31ns	-0,55**	-0,47**	0,39*	0,33ns	-0,61**	-0,29ns
Palmitoleico		-0,10ns	-0,29ns	0,26ns	0,13ns	-0,25ns	-0,07ns
Esteárico			0,58**	-0,61**	-0,52**	0,41ns	0,04ns
Oleico				-0,98**	-0,43**	0,34*	0,03ns
Linoleico					0,44**	-0,34*	0,02ns
Linolénico						-0,48**	-0,19ns
Araquídico							0,32ns

α = Correlaciones no paramétricas de Spearman Rho; ns = no significativo, * y ** = significativo estadísticamente al 5 y 1%, respectivamente.

TABLA 6

Correlaciones entre temperatura media ambiental durante el desarrollo y maduración del grano y la concentración de ácidos grasos de doce híbridos de maíz blanco sembrados en tres localidades de Venezuela

Variable	Acidos grasos	Spearman p	Prob> p
Temperatura media	Palmitico (C16:0)	0,465	0,004
Temperatura media	Palmitoleico (C16:1)	0,517	0,001
Temperatura media	Esteárico (C18:0)	-0,056	0,745
Temperatura media	Oleico (C18:1)	-0,388	0,019
Temperatura media	Linoleico (C18:2)	0,354	0,034
Temperatura media	Linolénico (C18:3)	0,427	0,009
Temperatura media	Araquídico (C20:0)	-0,472	0,004
Temperatura media	Gadoleico (C20:1)	-0,287	0,090
Temperatura media	Saturados	0,411	0,013
Temperatura media	Insaturados	-0,113	0,511
Temperatura media	Monoinsaturados	-0,414	0,012
Temperatura media	Poli insaturados	0,392	0,018

DISCUSION

Las diferencias encontradas en la composición de ácidos grasos, tanto para el efecto genético como de localidad de los híbridos evaluados en este trabajo, han sido evidenciadas también en maíces cultivados en ambientes de clima templado (1,11) y ecuatoriales (12). Los granos de los cultivares en Venezuela alcanzaron una mayor acumulación de ácido esteárico y oleico que los señalados por Duvick *et al.* (13), en maíces cultivados en EE.UU.; presentaron mayores niveles de ácido palmítico y menores de ácido linoleico, con respecto a los obtenidos por Dunlap *et al.* (6), en maíces cultivados en Argentina, Chile, EE.UU. y Uruguay. Por otra parte, presentaron niveles de ácido palmítico, esteárico, linoleico y linolénico similares a los obtenidos por Onyango *et al.* (12) en maíces cultivados en Kenia. Las altas temperaturas para las condiciones tropicales de Venezuela, a diferencia de las de climas templados probablemente afectan negativamente la actividad de las enzimas responsables de la insaturación

durante la síntesis de ácidos grasos (20).

Los niveles de ácidos grasos saturados e insaturados, presentaron pocas diferencias entre los híbridos y los ambientes probados, pero mostraron un mayor nivel de saturación que los señalados para los aceites en maíces de clima templado. Las diferencias encontradas entre los maíces para los ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico, podrían implicar cambios en las propiedades alimenticias, ya que estos representaron la mayor proporción de los ácidos grasos totales.

Los niveles de ácido esteárico y ácido oleico de los maíces, superaron ampliamente los niveles típicos de un maíz normal cultivado en clima templado (6,14-15), pero fueron inferiores a los indicados para maíces de alto contenido en oleico por Warner y Knowlton (16). Los maíces de alto contenido en oleico, o como se les conoce comúnmente “maíces alto oleico”, han sido desarrollados vía mejoramiento genético mediante selección y recombinación de genotipos con mayores niveles de este componente. Estos maíces concentran mayores niveles ácido oleico que los maíces convencionales, sin embargo poseen un inferior desempeño agronómico (datos no publicados). El aceite de maíz tiene alta demanda debido a su efecto positivo sobre la salud por parte del ácido linoleico (polinsaturado), no obstante, una alta concentración de este ácido le confiere inestabilidad al aceite, produciendo una rápida oxidación cuando se emplea para freír alimentos (2). Los aceites con un contenido superior de ácido oleico, como los encontrados en nuestro estudio, son recomendados para preparar frituras alimenticias, debido a que resultan más termoestables que el resto de los aceites de maíz (16).

La composición de ácidos grasos de los maíces evaluados, resultó similar a las margarinas (33-52 g/100g de grasa total de ácidos grasos saturados y 17-19 g/100g de grasa total de monoinsaturados), de manera que si se interesterifican pudieran ser usados para la producción de margarinas y salsas untables conforme a lo señalado por (16). Lo anterior evidencia los posibles usos alternativos de maíces, los cuales debe ser verificados en trabajos posteriores.

Las correlaciones más importantes fueron encontradas entre los ácidos grasos de 18 carbonos, esto puede ser atribuido a que estos ácidos comparten una ruta biosintética común de insaturación de orden: ácido esteárico (18:0), ácido oleico (18:1), ácido linoleico (18:2) y linoléico (18:3) (17-18).

El alto nivel de asociación encontrado entre los ácidos grasos oleico y linoleico, fue consistente a los señalados en maíces cultivados en zonas de clima templado (17,19). Lo anterior se atribuye a la gran predominancia de ambos ácidos, sobre la composición de los ácidos grasos totales. Los niveles de ácido palmítico estuvieron asociados de manera significativa, pero débil, con los ácidos esteárico, oleico y linoléico, lo que puede ser atribuido a la divergencia del ácido palmítico, en la ruta metabólica para la síntesis de los ácidos grasos de 18 carbonos (16,17).

Los mayores niveles de saturación de los híbridos en el presente estudio, estuvieron asociados a las localidades de mayor temperatura como resultado de la susceptibilidad térmica de las enzimas responsables de la insaturación durante la síntesis ácidos grasos en el grano de maíz (11). Para incrementar la insaturación durante la síntesis de ácidos grasos en las plantas y sus derivados, se requiere por lo general del aumento de la actividad de las enzimas ácido graso sintetasas, que es proporcional a la concentración de oxígeno disuelto (20). Sin embargo, incrementos de temperaturas ambientales reducen la concentración de este gas. Otra manera de incrementar la actividad, consiste en aumentar la expresión genética de las enzimas responsables de la insaturación.

CONCLUSIONES

Los híbridos de maíz evaluados varían en su composición de ácidos grasos de acuerdo a las localidades de Venezuela consideradas en este estudio. No se encontraron diferencias importantes en la relación de ácidos grasos saturados/insaturados. La variación en la composición específica de ácidos grasos de los híbridos podría implicar cambios en sus propiedades alimenticias según el ambiente donde se cultiven, lo que debe tomarse en cuenta en los programas de investigación y en el procesamiento industrial con fines de aprovechamiento del aceite de maíz para la alimentación humana. Por otra parte, los efectos de la temperatura ambientales sobre las enzimas involucradas en la síntesis de ácidos grasos en maíces de Venezuela deben ser consideradas en futuros estudios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer un reconocimiento al Centro Tecnológico Polar por la colaboración prestada en el análisis de ácidos grasos en granos de maíz y al Dr. Eduardo Graterol por la revisión y sugerencias realizadas en el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. White P, Weber E. Lipids of the kernel. 2003. In: White PJ, Johnson LA, editors. *Corn Chemistry and Technology*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc. 2003;p 355-405.
2. Orthoefer F, Eastman J, List G. Corn oil: composition, processing and utilization. In: White PJ, Johnson LA, editors. *Corn Chemistry and Technology*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc. 2003;p 671-694.
3. Dupont J, White J, Carpenter M, Schaefer E, Meydani S, Elson, C. et al. Food uses and health effects of corn oil. *J Am Coll Nutr*. 1990; 9(5):438-470.
4. Loy D, Wright K. Nutritional properties and feeding value of corn and its by-products. In: White PJ, Johnson LA, editors. *Corn Chemistry and Technology*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc; 2003. p 571-604.
5. Instituto Nacional de Nutrición (INN); Hojas de balance de alimentos de Venezuela 2002-2004. Caracas (Venezuela); 2007.
6. Dunlap F, White P, Pollak L. Fatty Acid Composition of Oil from Exotic Corn Breeding Materials. *J Am Oil Chem Soc*. 1995; 72(9): 989-993.
7. Peñaranda M, Navas A. Caracterización molecular y evaluación bioquímica de cultivares colombianos y germoplasma elite de maíz según contenido de aceite. *Agron. Colom*. 2005; 23:7-16.
8. Hornstra G, Kester AD. Effect of the dietary fat type on arterial thrombosis tendency: systematic studies with a rat model. *Atherosclerosis*. 1997;131:25-33.
9. Belitz H, Grosch W. *Food Chemistry*. 2nd ed; Germany: Springer-Verlag; 1999.
10. SAS INSTITUTE, JMP a business unit of SAS. Version 7.0.2. SAS Institute Inc; 2007.
11. Thompson D, Jellum M, Young C. Effect of Controlled Temperature Environments on Oil Content and on Fatty Acid Composition of Corn Oil. *J Am Oil Chem Soc*. 1973;50(12): 540-542.
12. Onyango A, Mwasaru M, Koaze H, Baba, N. Lipids characterization of some Kenyan Varieties. *Scientific Reports of The Faculty of Agriculture Okayama University*: 2000; 89:1-3.
13. Duvick S, Pollak L, Shen N, White, P. Utilizing the "fast-track breeding" technique to alter the fatty composition of Corn Belt corn oils. 1999; (Suppl 10): S105.
14. Shen N, Duvick S, White P, Pollak L. Oxidative Stability and Aroma Scan Analyses of Corn Oils with Altered Fatty Acid Content. *JAOCS*. 1999; 76(12):1425-1429.
15. Weber J. Changes in Structure of Triglycerides from Maturing Kernels of Corn. *Lipids*. 1973; 8(5):295-302
16. Warner K, Knowlton S. Frying Quality and Oxidative Stability of High-Oleic Corn Oils. *JAOCS*. 1997; 74(10):1317-1321.
17. Wassom J, Mikkilineni V, Bohn M, Rocheford T. QTL for Fatty Acid Composition of Maize Kernel Oil in Illinois High Oil × B73 Backcross-Derived Lines. *Crop Sci*. 2008; 48:69-78.
18. Stumpf P, 1980. Biosíntesis of saturated and unsaturated fatty acid. In: Stumpf P, Conn E, editors. *The Biochemistry of plants. A comprehensive treatise*. Vol. 4, Lipids: Structure and Function. Academia Press, New York. 1980; p 177-204.

19. Defacio R, Percibaldi M, Bramardi S, Ferrer M. Fatty acid composition of oil from 141 Argentinean maize (*Zea mays*) accessions from Buenos Aires province. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [serial on the Internet]. 2007. [cited 2010 May 10]; Available from: http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/t_maiz/artic36.htm
20. Harwood J. Environmental effects on plant lipid biochemistry in: Harwood J, editor. Plant lipid biosynthesis Series: Society for Experimental Biology Seminar Series (No. 67). Cambridge University Press; 1998.

Recibido: 07-08-2010

Aceptado: 14-12-2010