

CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA SOBRESALIENTE DE GUAYABO DE LA REGIÓN CALVILLO-CAÑONES, MÉXICO

CHARACTERIZATION OF OUTSTANDING GUAVA GERMPLASM FROM THE CALVILLO-CAÑONES REGION, MÉXICO

José Saúl Padilla-Ramírez^{1*}, Ernesto González-Gaona¹, Francisco Esquivel-Villagrana¹,
Edmundo Mercado-Silva², Sanjuana Hernández-Delgado³ y Netzahualcóyotl Mayek-Pérez³

¹ Campo Experimental Pabellón, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apartado Postal 20, Pabellón de Arteaga. C. P. 20660, Aguascalientes, México. Correo electrónico: jsaulpr@yahoo.com ² Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario Cerro de las Campanas s/n, 76010, Querétaro, México ³ Departamento de Química, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Universidad 940, Bosques del Prado Sur. C. P. 20100, Aguascalientes, México.

* Autor responsable

RESUMEN

Se caracterizó fenotípica y genotípicamente a doce selecciones de guayabo (*Psidium guava* L.) de 12 años, establecidas en Huanusco, Zacatecas, México. Se midieron 10 características del fruto, su cinética de crecimiento, la fenología y la productividad de cada selección. Las selecciones se estudiaron con la técnica del ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD's). El diámetro ecuatorial, grosor de mesocarpio, peso de semilla, color de pulpa y forma de fruto mostraron alto valor descriptivo del fruto de guayabo. Se observó correlación negativa entre la cantidad de sólidos solubles y tamaño de fruto. El crecimiento del fruto mostró un crecimiento trimodal o doble sigmoide consistente en tres fases, las cuales tienen diferente tasa de crecimiento. La selección 106 difirió del resto de selecciones, debido a que mostró los valores mayores de diámetro polar y ecuatorial de fruto, grosor de mesocarpio y peso de semillas por fruto, así como los valores menores de peso promedio de semillas y contenido de sólidos solubles. El análisis de conglomerados de datos RAPD detectó una similitud genética de 88 a 96 % entre selecciones. Las selecciones más tardías en el periodo de producción, con menor rendimiento de fruto fresco y número de frutos por árbol y mayor producción de fruto con calidad de primera, mostraron un agrupamiento genéticamente homogéneo. Los resultados destacan la disponibilidad de germoplasma seleccionado de guayabo con altos índices de productividad y de calidad, adaptados a las condiciones de producción de México.

Palabras clave: *Psidium guava* L., variabilidad, análisis RAPD.

SUMMARY

Twelve guava (*Psidium guava* L.) selections were phenotypically and genetically characterized in 12 years-old plants growing at Huanusco, Zacatecas, México. Ten fruit characteristics, fruit growth kinetics, phenology and fruit productivity were evaluated. Selections were analyzed using Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD's). Equatorial diameter, mesocarp thickness, seed weight, mesocarp color and fruit shape were the best descriptive fruit characteristics. A negative relationship was found between total soluble solids content and fruit size. Guava fruit growth showed a trimodal or double-sigmoid growth pattern, that consisted on three phases having different growth rates. Selection 106 was different from all other selections, and showed the greatest fruit diameter, mesocarp thickness and seed

weight per fruit, but the lowest average seed weight and total soluble solids content. Cluster analysis of RAPD data showed a genetic similarity ranging from 88 to 96 % among selections. Late season selections showed less fruit yield and less fruits per tree, but these were top quality fruits. These selections formed a genetically homogenous group based on the cluster analysis. Results emphasize the availability of selected guava germplasm with high productivity and quality indexes, well adapted to the growing conditions in Mexico.

Index Words: *Psidium guava* L., variability, RAPD analysis.

INTRODUCCIÓN

México es el segundo productor mundial de guayaba (*P. guajava* L.) después de la India. Anualmente se cultivan aproximadamente 20 000 ha, y alrededor de 67 % de esta superficie se concentra en la región denominada "Calvillo-Cañones" (SAGARPA, 2001), la cual comprende los municipios de Calvillo en el estado de Aguascalientes y de Tabasco, Huanusco, Jalpa, Apozol y Juchipila en el estado de Zacatecas. La guayaba que se produce en dicha región se considera de la mejor calidad para su consumo en fresco, debido a su aroma, sabor y consistencia; esta última característica faculta al fruto para tener mayor vida de anaquel (Mercado-Silva *et al.*, 1998). En la región los rendimientos de fruta oscilan entre 13 y 15 t ha⁻¹. Estos bajos rendimientos se atribuyen a que la mayor parte de la superficie destinada al cultivo tiene suelos de baja fertilidad, reducida disponibilidad de agua de riego y a la incidencia de diversos agentes bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, heladas) que merman sensiblemente la producción (Padilla-Ramírez *et al.*, 1999).

Una forma para incrementar la producción de guayaba consiste en el diseño de estrategias de mejoramiento genético del cultivo. Para ello es necesario proceder a la

caracterización de la variabilidad genética de la especie en México, con el objetivo de detectar poblaciones sobresalientes para las condiciones de las diferentes regiones productoras. En la región "Calvillo-Cañones" no existen variedades cultivadas caracterizadas y con ventajas agronómicas para la homogenización de las huertas. La variabilidad morfológica y bioquímica en el germoplasma regional se ha incrementado debido a que el guayabo se propaga a través de semilla e hijuelos de raíz (Laksminarayana y Moreno, 1978; Tong *et al.*, 1991). Actualmente, sólo se dispone de material criollo manejado como variedades con los nombres de "China" y "Media China" y no existen trabajos consistentes con relación a la selección de germoplasma sobresaliente y menos aún su registro. Durante 1989 y 1990 se colectaron 45 accesiones de guayabo tipo criollo en la región "Calvillo-Cañones", pertenecientes a *P. guajava*, *P. cattleianum* y *P. friedrichsthalianum* (Perales, 1993; Macías *et al.*, 1997) y con ellas se estableció un banco de germoplasma en Huanusco, Zacatecas, con el objetivo de evaluar su productividad y calidad de fruto.

En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización fenotípica y genética de doce selecciones de guayabo y el germoplasma sobresaliente que podría ser recomendado para su establecimiento en la región productora Calvillo-Cañones, México, con base en criterios de alta productividad y calidad de fruto fresco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el banco de germoplasma de guayabo que se mantiene en el Campo Experimental "Los Cañones" (CEDEC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a partir de 1990. Dicho banco incluye 45 accesiones y se localiza en el ejido San Pedro, municipio de Huanusco, Zacatecas (21° 45' LN; 102° 58' LO; 1500 msnm). Cada accesión está representada por un árbol, los cuales están plantados a una distancia de 3 x 3 m (1111 árboles/ha) y se manejan de acuerdo al paquete tecnológico propuesto por el INIFAP (Padilla-Ramírez *et al.*, 1999). De este germoplasma se seleccionaron doce accesiones de *P. guajava* por su potencial de rendimiento de fruto fresco mayor de 30 t ha⁻¹, y por características agronómicas y de calidad de fruto que favorecen su cultivo en la región productora (Macías *et al.*, 1997).

Caracterización morfológica del fruto

y del rendimiento

La caracterización morfológica del fruto se llevó a cabo durante el ciclo 2000-2001 y del rendimiento se incluye información relativa a los ciclos 1999-2000 y 2000-2001.

Caracterización de frutos. En diez frutos de cada selección se midió el diámetro polar, ecuatorial y de la cavidad del cáliz, grosor de mesocarpio, número de semillas por fruto, peso de semillas, peso promedio de semilla, sólidos solubles totales (SST), color de pulpa y forma del fruto (UPOV, 1987). Se determinó la cinética del crecimiento del fruto durante 2000-2001, con el diámetro ecuatorial de 10 frutos de cada selección, medido cada siete días durante el periodo de crecimiento del fruto; el crecimiento se expresó en tasa de crecimiento del fruto por día (mm d⁻¹) (Mattiuz *et al.*, 1997).

Rendimiento. Los árboles brotaron vegetativamente en la primera semana de junio en 1999 y 2000 y se cosecharon de noviembre a marzo de 2000 y 2001. Se consideró el inicio de la cosecha cuando había 10 % de la producción total de cada accesión, mientras que el final se estimó cuando la producción representaba 90 % del total. Los frutos que llegaban a madurez fisiológica se cosecharon dos veces por semana. La madurez fisiológica se consideró cuando el color del fruto cambió de verde-amarillo a amarillo (Mercado-Silva *et al.*, 1998). Los frutos cosechados se contaron, pesaron y clasificaron en categorías extra (más de 90 g/fruto), primera (60-90 g/fruto) y segunda (menos de 60 g/fruto).

Caracterización genética

Las doce selecciones se analizaron con la técnica del ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD). El ADN de cada selección se obtuvo mediante el protocolo descrito por Esparza *et al.* (2000), a partir de 0.5 g de tejido fresco cosechado de un árbol de cada accesión. El ADN obtenido se cuantificó visualmente en geles de agarosa 0.8 %. Se incluyeron 12 oligonucleótidos decaméricos para el análisis de todo el germoplasma (OPA-02, OPA-08, OPA-09, OPA-10, OPA-11, OPA12, OPA-14, OPA-15, OPA-16, OPA-18, OPB-386 y OPB-459; Operon Technologies, Alameda, Ca., EEUU), y para llevar a cabo la amplificación al azar del ADN genómico de las selecciones por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). La PCR se efectuó en un volumen de 25 µL de solución que contenía 16.35 µL de agua desionizada estéril, 2.5 µL de buffer de PCR 10X, 3 µL del oligonucleótido 2 µM, 2 µL de ADN genómico 25 ng, 1 µL de dNTP's (10 mM de cada dNTP) y 0.15 µL de *Taq* polimerasa (5 U µL⁻¹). La amplificación consistió de un ciclo de precalentamiento de 2 min a 94 °C, 40 ciclos de 1 min a 94 °C de desnaturalización, 2 min a 36 °C para el anillado, y 2 min a 72 °C para la polimerización. Al final se aplicó un ciclo de extensión adicional de 7 min a 72 °C. La amplificación se realizó en termociclador (modelo 9700, Perkin-Elmer, Alemania) y los productos se separaron por medio de

electroforesis en gel de agarosa 1.2 %, y finalmente se visualizaron y fotografiaron bajo luz UV, después de teñir el gel con bromuro de etidio.

Análisis estadístico

La información derivada del análisis fenotípico de frutos se sometió al análisis de varianza (ANAVA), con base en un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones (frutos). El ANAVA de la producción y calidad de fruto se hizo con un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones, cuyos factores fueron las selecciones (tratamientos) y los años de evaluación (bloques). En los casos en que el ANAVA detectó diferencias significativas entre tratamientos, se calculó la diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.05$) para la separación de medias.

Las variables del fruto también se sometieron a un análisis de componentes principales (PROC PRINCOMP), para determinar las características que tienen mayor valor descriptivo y que mejor explican la variabilidad del fruto. Para el análisis genético se cuantificó el número de productos de amplificación generados por cada oligonucleótido y se les asignó un número de acuerdo con su migración en el gel. A las bandas con el peso molecular más alto se les asignó el número uno y así sucesivamente hasta la banda con el menor peso molecular. Se supuso que las bandas con el mismo peso molecular en individuos diferentes eran idénticas. Para cada individuo, la presencia o ausencia de una banda se determinó designando la presencia de la banda como 1 y la ausencia como 0. La distancia genética entre individuos se estimó por medio del coeficiente de apareamiento simple. La matriz de distancias generada se utilizó para producir un dendrograma por medio del método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averages). El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete SAS 6.12 para Windows (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

RESULTADOS

Calidad de fruto

Los componentes principales CP1 y CP2 explicaron 64 % de la variabilidad en las características del fruto de las selecciones de guayabo estudiadas (datos no incluidos). Cinco de las diez variables de fruto incluidas en el análisis

exhibieron el mayor valor descriptivo: diámetro ecuatorial, grosor de mesocarpio y peso de semillas en el CP1, y color de pulpa y forma de fruto en el CP2 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores característicos para los dos primeros componentes principales en doce selecciones de guayaba en México.

Variable	Componente Principal 1	Componente Principal 2
Diámetro polar	0.336	-0.298
Diámetro ecuatorial	0.485	0.194
Diámetro de la cavidad del cáliz	0.171	0.375
Grosor de mesocarpio	0.404	0.209
Número de semillas por fruto	0.343	-0.319
Peso de semillas por fruto	0.393	-0.137
Peso promedio de semilla	0.134	0.247
Sólidos solubles totales	-0.389	-0.022
Color de pulpa	-0.063	0.504
Forma de fruto	-0.032	-0.503

El análisis de componentes principales mostró un grupo conformado por 11 selecciones con frutos de características similares, que excluye a la selección 106 (Figura 1). La selección 106 mostró los mayores valores de diámetro polar y ecuatorial de fruto, grosor de mesocarpio y peso de semillas por fruto, pero también mostró el menor peso promedio de semilla y contenido de sólidos solubles totales. En contenido de SST destacaron las selecciones 37, 126 y 11, con más de 13.9 ° Brix en promedio (Cuadro 2). La selección 106 fue la única que mostró pulpa de color blanco; el resto exhibió pulpa de color crema, y todas tuvieron frutos de forma ovoide. El crecimiento del fruto de guayaba mostró una cinética "trimodal" o doble sigmoide, que incluye tres fases: la fase I con tasas de crecimiento que van de 0.4 a 0.6 mm d⁻¹; la fase II con una disminución paulatina del crecimiento del fruto hasta alcanzar valores por debajo de 0.1 mm d⁻¹ durante un periodo de 30 a 40 días, y también ocurre la formación de semillas; en la fase III la tasa de crecimiento se vuelve a incrementar en magnitudes que varían entre selecciones. En la fase III la selección 20 creció más de 0.8 mm d⁻¹, mientras que la selección 11 creció menos de 0.3 mm d⁻¹ (Figura 2).

Se detectó correlación negativa entre el contenido de SST y el tamaño de fruto (diámetro ecuatorial y grosor de mesocarpio), así como entre el color de pulpa y la forma del fruto, y entre el diámetro ecuatorial y grosor de mesocarpio en el fruto. Estos resultados indican que el contenido de SST, el color de la pulpa y la forma del fruto son características independientes (Cuadro 3).

Cuadro 2. Características del fruto de doce selecciones de guayabo en el Campo Experimental "Los Cañones". Huanusco, México, 2001.

Selección	Variable [†]								
	DP	DE --- (cm) ---	DP/DE	DCC	GC --- (cm) ---	NSF	PSF (g)	PPS (mg)	SST (° Brix)
10	6.0def [‡]	4.9bc	1.2bc	0.8c	0.6b	238bcd	2.9 ^a	12.3abcdef	12.8abcd
11	6.1cde	4.9bc	1.2bc	0.9bc	0.7b	260b	2.9 ^a	11.0cdefg	13.9abc
12	6.5abc	4.7cd	1.4a	0.9bc	0.6b	207cdf	2.2def	10.7cdefg	13.0abcd
20	6.7a	4.9bc	1.4a	0.9bc	0.7b	181efghi	2.1ef	11.3bcdefg	12.5abcd
37	6.1cde	4.8cd	1.3ab	0.8c	0.6b	203defgh	2.6abcd	12.7abcd	14.6a
38	5.4h	4.6d	1.2bc	0.9bc	0.6b	173efghi	2.2def	12.9abc	12.0abcd
47	5.5h	4.8cd	1.2bc	0.8c	0.6b	138i	1.9f	13.5ab	12.7abcd
48	6.0def	4.8cd	1.2bc	1.0a	0.6b	204defg	2.6abcd	12.6abcde	13.2abcd
106	6.6ab	6.0a	1.1c	0.9bc	1.0a	314a	2.9 ^a	9.3g	10.4d
116	6.2bcd	5.1b	1.2bc	0.9bc	0.6b	214cde	2.7abc	12.6abcd	12.7abcd
117	5.9defg	4.9bc	1.2bc	0.8c	0.5b	250bc	2.8ab	11.0cdefg	12.5abcd
126	5.6fgh	5.1b	1.1c	0.9bc	0.7b	178efghi	2.5abcde	14.1 ^a	14.1ab
DMS (0.05)	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	45	0.4	2.2	3.2

[†] DP=Diámetro polar; DE=Diámetro ecuatorial; DP/DE=Relación DP/DE; DCC=Diámetro de la cavidad del cáliz; GC=Grosor de mesocarpio; NSF=Número de semillas por fruto; PSF=Peso de semillas por fruto; PPS=Peso promedio de semilla; SST=Contenido de sólidos solubles totales.

[‡] Medias con letras iguales en el sentido de columnas son estadísticamente similares (DMS=P ≤ 0.05).

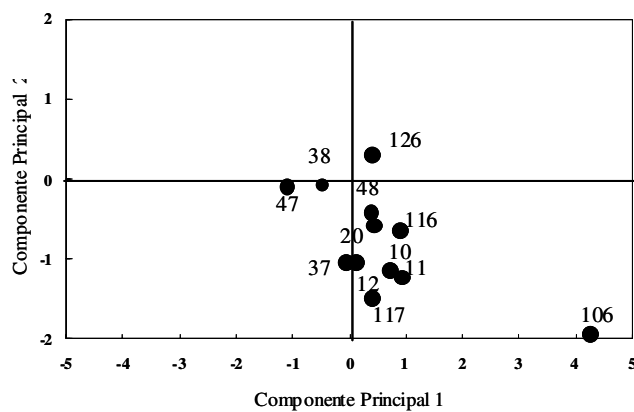


Figura 1. Variabilidad del fruto de doce selecciones de guayabo con base al análisis de componentes principales. Huanusco, México, 2001.

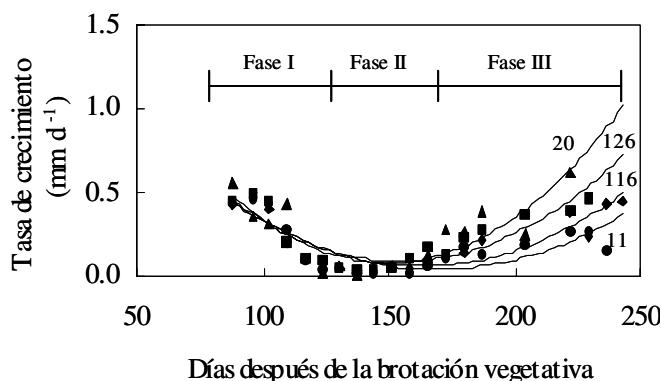


Figura 2. Tasa de crecimiento del fruto en cuatro selecciones de guayabo. Huanusco, México, 2001.

Rendimiento de fruto

El periodo de producción, el rendimiento y la calidad de fruto de las doce selecciones de guayaba durante los ciclos 1999-2000 y 2000-2001, se presentan en el Cuadro 4. Las selecciones 10, 12 y 20 resultaron precoces, pues en ellas el inicio de cosecha ocurrió, en promedio, a los 210 días después de la brotación (ddb) vegetativa de los árboles, mientras que el resto de selecciones lo hizo a los 236 ddb, que corresponde a precocidad intermedia. Así mismo, el final de la cosecha en las tres primeras selecciones varió de 253 a 260 ddb, 25 días antes que el resto de las selecciones. En rendimiento de fruto fresco destacaron las selecciones 11, 12 y 20, debido a que tuvieron un rendimiento mayor en 10 a 40 % que el resto de selecciones. La selección 106 produjo el porcentaje más alto de frutos con calidad extra (71 %), seguido de las selecciones 10 y 116, cuya proporción de frutos de calidad extra osciló entre 8 y 9 %. Las selecciones 117, 48, 116 y 10 tuvieron más de 60 % de frutos con calidad de primera, aunque también mostraron pocos frutos producidos por árbol (Cuadro 4).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación simple de Pearson entre algunas características del fruto de guayabo.

Variable [†]	GM	NSEM	PSEM	SST	CPUL	FFR
DEC	0.83**	0.37*	0.51**	-0.60**	0.21ns	-0.37*
GM		0.18ns	0.16ns	-0.59**	0.15ns	-0.49**
NSEM			0.75**	-0.31*	-0.52**	0.26*
PSEM				-0.29*	-0.22ns	0.13ns
SST					0.09ns	0.03ns
CPUL						-0.75**

[†] DEC = Diámetro ecuatorial; GM = Grosor de mesocarpio; NSEM = Número de semillas; PSEM = Peso de semillas; SST=Contenido de sólidos solubles totales; CPUL = Color de pulpa; FFR = Forma de fruto; ** Significativo (P≤0.01), * Significativo (P≤0.05), ns=No significativo (P>0.05).

Análisis genético

Los doce oligonucleótidos utilizados en el análisis RAPD produjeron un total de 107 bandas, 60 % de las cuales fueron polimórficas (Cuadro 5). Los productos de amplificación tipo RAPD, separados en gel de agarosa, se presentan en la Figura 3. El análisis de conglomerados detectó similitud genética en el germoplasma que varió de 88 a 96 % y se formaron dos agrupamientos: el A incluyó a las selecciones 38, 47, 11, 12, 20, 106, 10 y 37; mientras que el B agrupó a las selecciones 116, 117, 48 y 126 (Figura 4). No se observó relación alguna entre los agrupamientos del análisis genético con el análisis del fruto; sin embargo, se observó cierta relación entre los resultados del análisis genético y varias características fenológicas y de productividad. Con algunas excepciones, las selecciones 116, 117, 126 y 48 fueron las más tardías en el inicio y fin del periodo de producción, tuvieron menor rendimiento de fruto fresco y número de frutos por árbol, y tendieron a producir mayor proporción de fruto con calidad de primera (Cuadro 4).

Cuadro 4. Periodo de producción (PP), rendimiento por árbol (RA) y calidad de fruto (CF) de selecciones de guayaba durante los ciclos 1999-2000 y 2000-2001. Campo Experimental Los Cañones, Huanusco, México.

Selección	PP [†]		RA [‡]		CF [§]		
	Inicio	Fin	Fruto (kg)	Número de frutos	Extra	Primera (%)	Segunda
10	217	253	57bcd [§]	1112cd	9b	62abcd	29gh
11	231	266	74a	1600ab	5b	57cde	38cdefg
12	210	260	63b	1887a	1b	33jk	66a
20	203	253	60bc	1250bc	2b	48efgh	50abcd
37	231	266	42fgh	975cdef	1b	51ef	48bcdef
38	240	274	35h	660f	2b	49efg	49abcde
47	223	266	54bcde	1062cde	1b	46fghi	53abc
48	237	271	49defg	912cdef	3b	68ab	29gh
106	226	271	51cdef	753ef	71a	25k	4i
116	236	278	35h	701f	8b	63abc	29gh
117	237	281	40gh	767def	6b	72a	22gh
126	236	274	49defg	989cdef	1b	40ghij	59ab
DMS (0.05)			9	356	13	10	17

[†] Datos del ciclo 2000-2001, en días después de la brotación vegetativa de cada árbol.

[‡] Promedio de los ciclos 1999-2000 y 2000-2001.

[§] Medias con letras iguales en el sentido de columnas son estadísticamente similares (DMS=P ≤ 0.05).

DISCUSIÓN

En este trabajo se registró una reducida variabilidad fenotípica y genotípica en el germoplasma de guayabo seleccionado. Resultados similares fueron observados por Du Preez y Welgemoed (1990) y por Tong *et al.* (1991). Ribeiro *et al.* (1998) tampoco observaron variación significativa en la productividad de 21 variedades de guayabo en Brasil. No obstante, es de destacar que todas las selecciones aquí estudiadas fueron más precoces y superaron el rendimiento promedio de fruto fresco reportado a la fecha

para la región productora de "Calvillo-Cañones", además de incluir selecciones con mayor contenido SST que algunos genotipos del tipo "Media China", que es el cultivado en la región (Mercado-Silva *et al.*, 1998) y que otros cultivares mejorados (Muy-Rangel *et al.*, 1999).

Cuadro 5. Oligonucleótidos decaméricos evaluados y número de productos de amplificación producidos.

Oligonucleótido	Productos		
	Amplificados	Monomórficos	Polimórficos
OPA-02	4	2	2
OPA-08	12	5	7
OPA-09	2	1	1
OPA-10	11	5	6
OPA-11	9	1	8
OPA-12	21	8	13
OPA-14	6	2	4
OPA-15	8	6	2
OPA-16	10	1	9
OPA-18	12	4	8
OP-B386	10	4	6
OP-B459	2	2	0
Total	107	41	66



Figura 3. Productos de amplificación tipo RAPD con el oligonucleótido decamérico OPA 12 en doce accesiones de guayabo separados en el gel de agarosa 1.2 %. Los números corresponden a la identificación de cada accesión y M = Fago λ digerido con HindIII

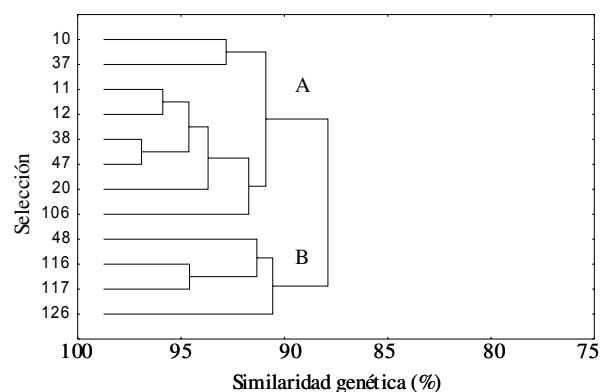


Figura 4. Dendrograma de la similitud genética de doce selecciones de guayabo evaluadas con doce oligonucleótidos decaméricos tipo RAPD.

Las variables de calidad del fruto, tales como diámetro ecuatorial, grosor de mesocarpio, peso de semilla, color de pulpa y forma de fruto, explicaron eficientemente la variabilidad fenotípica de las selecciones de guayabo. Lo anterior también ha sido observado por El Agamy *et al.* (1976) y por Du Preez y Welgemoed (1990). Los resultados indican que el mayor tamaño de fruto no está relacionado positivamente con la cantidad de SST, aunque sí lo está con el contenido de semillas. Esta relación resulta desfavorable dado que para consumo fresco y para el mercado industrial se prefieren frutos con excelentes cualidades sensoriales, con alto porcentaje de pulpa, bajo contenido de semillas y tamaños grandes (Quijano *et al.*, 1999). Se observó además que el rendimiento no está relacionado con la calidad de fruto, y que la forma o color del fruto no garantizan la mejor calidad del mismo. En comparación con el germoplasma de otros países como Colombia (Quijano *et al.*, 1999), Venezuela (Tong *et al.*, 1991), Malasia o Vietnam (Yusof, 1989), las selecciones evaluadas en este trabajo exhiben menores tamaños promedio de fruto y grosor de mesocarpio, y mayor contenido de sólidos solubles totales.

El fruto de guayaba mostró una cinética de crecimiento trimodal o doble sigmoide, típico de la especie (Mattiuz *et al.*, 1997; Mercado-Silva *et al.*, 1998), que consiste en tres fases: crecimiento rápido en diámetro (fase I); crecimiento mínimo durante la formación de las semillas (fase II), e incremento del crecimiento hasta que el fruto alcanzó el tamaño final (fase III). Es durante la fase III cuando se definen las diferencias en el tamaño de fruto entre genotipos de guayabo y en la que probablemente tendrán mayor efecto las condiciones de producción, ya que esta fase se caracteriza por el rápido crecimiento del volumen del fruto, como resultado del alargamiento y expansión celular. Este patrón de crecimiento es similar al reportado por Akamine y Goo (1979) en otras variedades de guayabo, aunque difiere del consignado por Yusof y Suhaila (1987). Yusof y Suhaila (1987) determinaron que el fruto de guayaba muestra un incremento moderado en peso durante los 50 días después de antesis, seguido por un incremento rápido en peso de los 50 a los 110 días, y un periodo final de crecimiento lento. En este trabajo el periodo de crecimiento del fruto fue menor en alrededor de 40 a 50 días que el reportado por Mercado-Silva *et al.* (1998) en otros cultivos del tipo "Media China", debido principalmente al acortamiento de la fase II por 20 a 30 días.

El análisis RAPD detectó similitud genética en el germoplasma superior a 88 %. Esto confirma la reducida variabilidad genética, posiblemente debido a que el material genético fue previamente seleccionado por su potencial productivo y con base a las características fenotípicas del fruto preferidas en el mercado regional. Es posible también que la alta similitud genética esté relacionada con el

origen del germoplasma, pues todas las accesiones fueron colectadas en la región Calvillo-Cañones y pertenecen al tipo denominado "Media China". No se observó relación estrecha entre los resultados del análisis genético y el análisis del fruto, debido a que sólo se observó cierta relación entre el análisis genético y la fenología y productividad. Los resultados de este trabajo sugieren que un análisis genético en más germoplasma de *Psidium* podría dar una relación clara entre el genotipo y la productividad, misma que servirá para la selección rápida de germoplasma promisorio por su alta productividad, sin la necesidad de evaluaciones en campo durante periodos prolongados.

CONCLUSIONES

Se observó reducida variabilidad fenotípica y genotípica en el germoplasma evaluado, aunque existió cierta relación entre el fenotipo y el genotipo en guayabo, debido a que las selecciones más tardías en el inicio y fin del periodo de producción, con menor producción de fruto fresco, menor número de frutos por árbol y mayor producción de fruto con calidad de primera, mostraron un agrupamiento genéticamente homogéneo.

Se determinó la disponibilidad de germoplasma seleccionado de guayabo con altos índices de productividad y de calidad, adaptados a las condiciones de producción de México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de este trabajo por parte del SIHGO-CONACYT (Proyecto 19990201011), así como a J. F. Morales-Domínguez y E. Pérez-Molphe Balch (UAA) por sus útiles sugerencias en el análisis genético incluido en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Akamine E K, T Goo (1979) Respiration and ethylene production in fruits of species and cultivars of *Psidium* and species of *Eugenia*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 632-635.
- Du Preez R J, C P Welgemoed (1990) Variability in fruit characteristics of five guava selections. Acta Hort. 275: 351-360.
- El Agamy S Z, A El Azzouni, M Badawi (1976) Variability in fruit characters among guava seedling in Egypt. Proc. Florida State Hort. Soc. 89: 249-250.
- Esparza M, J K Serwatowski, J F Morales (2000) Establecimiento de una metodología adecuada para la extracción de ácidos nucleicos (DNA y RNA) en guayaba (*Psidium guajava* L.). Séptimo Simp. Invest. Des. Tecnológico. Aguascalientes, México. p. 10.
- Lakshminarayana, S, M A Moreno (1978) Estudio preliminar para determinar la existencia de las variaciones en guayaba Mexicana. Rev. Chapingo 10: 37-47.
- Macías L M, E González, F Esquivel (1997) Caracterización de selecciones de guayaba en la región Calvillo-Cañones. Memorias VII Congr. Nal. Hort. Culiacán, México. 5: 128.

- Mattiuz B H, N L Gonzaga, F J M Pinheiro-Lima (1997)** Fruit development of three guava cultivars (*Psidium guajava* L.). Acta Hort. 452: 83-86.
- Mercado-Silva E, P Benito-Bautista, M A García-Velasco (1998)** Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. Postharvest Biol. Technol. 13: 143-150.
- Muy-Rangel M D, V Pérez-Rubio, M Báez-Sañudo, R García-Estrada, J. Siller-Cepeda (1999)** Calidad poscosecha en cultivos mejorados de guayaba (*Psidium guajava*). Hortic. Mex. 7: 410-418.
- Padilla-Ramírez, J S, E González-Gaona, C Valadez-Marín, F Esquivel-Villagrana, L Reyes-Muro (1999)** Tecnología para aumentar la productividad del guayabo en la región Calvillo-Cañones. In: Avances de Investigación. Publicación Especial 28. Campo Experimental Pabellón, INIFAP-SAGARPA. Pabellón, México. 38 p.
- Perales M A (1993)** Evaluación del rendimiento y calidad de fruta de colectas de guayaba tipo criollo en la región Calvillo-Cañones. V Congr. Nal. Hortic. Veracruz, México. 1: 74.
- Quijano C E, M M Suárez, C Duque (1999)** Constituyentes volátiles de dos variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.): Palmira ICA-1 y Glum Sali. Rev. Colombiana de Química 28: 55-64.
- Ribeiro R, F Picarelli, I J Antunes, L Magali, T Igue (1998)** Guava yield in Monte Alegre do Sul, State of Sao Paulo, Brazil: II. Final results. Bragantia, Campinas 57: 117-126.
- SAGARPA (2001)** Reunión nacional sistema-producto Guayaba. Coatepec Harinas, México. Documento de trabajo. 60 p.
- Tong F, D Medina, D Esparza (1991)** Variabilidad en poblaciones de guayaba (*Psidium guajava* L.) del municipio Mara del estado Zulia. Rev. de Agronomía (LUZ) 8: 15-27.
- UPOV (1987)** Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. Guava (*Psidium guajava* L.). Geneva, Switzerland. 29 p.
- Yusof S (1989)** Physico-chemical characteristics of some guava varieties in Malaysia. Acta Hort. 269: 301-306.
- _____, **M Suhaila (1987)** Physicochemical changes in guava (*Psidium guajava* L.) during development and maturation. J. Sci. Food Agric. 38: 31-59.