

Varianza entre y dentro e índice de repetitividad de características cuantitativas de fruto de guayaba*

Variance between and within the index of repeatability of quantitative characteristics of guava fruit

José Saúl Padilla Ramírez^{1§}, Ernesto González Gaona¹, Víctor Manuel Rodríguez Moreno¹, Luis Reyes Muro¹, Esteban Salvador Osuna Ceja¹ y Efraín Acosta Díaz²

¹Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5. A. P. 20. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. C. P. 20660. Tel. 01 465 958 01 86. (jsaulpr@yahoo.com; gonzalez.ernesto@inifap.gob.mx; rodriguez.victor@inifap.gob.mx; reyes.luis@inifap.gob.mx; osuna.salvador@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental General Terán- INIFAP. Carretera Montemorelos-China, km. 31. General Terán, N. L. C. P. 67400. Tel. 01 826 26 70 260. (acosta.efrain@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: padilla.saul@inifap.gob.mx.

Resumen

Se estimó la varianza entre y dentro, un índice de repetitividad (IR) y las correlaciones fenotípicas de diez características cuantitativas de fruto (peso, diámetro polar y ecuatorial, relación DP/DE, grosor de casco, número y peso de semillas, peso por semilla, diámetro de la cavidad de cáliz y sólidos solubles totales) en 14 genotipos de guayaba del Banco de Germoplasma del INIFAP, establecido en el Sitio Experimental "Los Cañones" en Huanusco, Zacatecas. Las características del fruto fueron registradas en cinco frutos de cada genotipo en los ciclos de producción 2010 y 2012. La varianza entre los genotipos mostró los mayores valores en ambos años, lo que se reflejó en el índice de repetitividad, el cual fluctuó entre 0.85 y 0.98. Lo anterior indica la gran variabilidad de los genotipos, atribuido a los diferentes orígenes y al efecto ambiental (temperatura y precipitación) en cada ciclo. El coeficiente de correlación (r) entre el peso del fruto y los diámetros polar y ecuatorial, grosor de casco y diámetro de la cavidad de cáliz tuvo valores de 0.74 a 0.96 ($p \leq 0.01$), mientras que los SST tuvieron los valores más bajos de correlación con las otras variables. Los resultados muestran la disponibilidad de germoplasma que puede ser utilizado en programas de mejoramiento genético considerando la

Abstract

We estimated the variance between and within, an index of repeatability (IR) and the phenotypic correlations of ten quantitative characteristics of fruit (weight, polar and equatorial diameter, PD/ED ratio, hull thickness, number and weight of seeds, weight per seed, cavity diameter of calyx and total soluble solids) in 14 genotypes of the guava of the INIFAP seed bank, established in the Experimental Site "Los Cañones" in Huanusco, Zacatecas. Fruit characteristics were recorded in five fruits of each genotype in production cycles 2010 and 2012. The variance between genotypes showed the highest values in both years, which was reflected in the index of repeatability, which fluctuated between 0.85 and 0.98. This indicates the large variability of genotypes, attributed to the different origins and the environmental effect (temperature and precipitation) in each cycle. The correlation coefficient (r) between the fruit weight and the polar and equatorial diameters, hull thickness and cavity diameter of calyx had values from 0.74 to 0.96 ($p \leq 0.01$), while the TSS had the lowest values of correlation with the other variables. The results show the availability of germplasm that can be used in breeding programs considering the wide variability of the traits evaluated, as well as using the fruit weight as a selection criterion for fruits of larger diameter and hull thickness.

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: julio de 2014

amplia variabilidad de las características evaluadas, así como utilizar el peso de fruto como un criterio de selección para frutos de mayor diámetro y grosor de casco.

Palabras clave: *Psidium guajava*, colectas, descriptores, germoplasma.

Introducción

Respecto al origen del guayabo (*Psidium guajava* L.), se menciona como posible centro de origen la región comprendida entre el sur de México y el Perú (Ruehle, 1964; De Candolle, 1967; citados por Mata y Rodríguez, 1990; Negi y Rajan, 2005).

El guayabo, perteneciente a la familia de *Myrtaceae*, es un cultivo de importancia económica en varios países del mundo entre los que destacan India, Pakistán, Brasil, México, Venezuela, Colombia, Cuba, Tailandia, Malasia y Sudáfrica entre otros (Negi y Rajan, 2005). El área ecológica del guayabo se ubica entre la latitud 30° al norte y sur del ecuador y está distribuido en áreas con climas tropicales y subtropicales (Dinesh e Iyer, 2005).

En México, el guayabo ocupa el doceavo lugar en importancia dentro de los principales frutales, y se producen en promedio 300 mil toneladas anuales en alrededor de 22 500 hectáreas (SIAP, 2012). Borys y Leszczyńska, (2001), mencionan al guayabo como una especie nativa con potencial frutícola, así como uno de los que presenta mayor variabilidad en cuanto a caracteres del fruto. Estudios posteriores han confirmado la gran variabilidad del germoplasma de *P. guajava*, tanto a nivel morfológico como genético (Tapia y Legaria, 2007; Hernández-Delgado *et al.*, 2007; Padilla y González, 2010).

Por su composición nutricional la guayaba es considerada como una excelente fuente de vitamina C, ya que llega a tener entre 200 y 400 mg de ácido ascórbico por 100 g de fruto fresco. Además, dadas las propiedades medicinales del guayabo (hojas, frutos y corteza) se le atribuye una amplia gama de usos etnobotánicos (Padilla *et al.*, 2007).

Por otra parte, es reconocido que los recursos fitogenéticos son la fuente inicial de características básicas tales como la adaptación a diferentes condiciones ambientales, productivas, resistencia a plagas y enfermedades, etc. Lo anterior, permite que mediante un uso adecuado se obtengan

Keywords: *Psidium guajava*, collections, descriptors, germplasm.

Introduction

Regarding the origin of guava (*Psidium guajava* L.), as a possible centre of origin is mentioned the region between southern Mexico and Peru (Ruehle, 1964; De Candolle, 1967; cited by Mata and Rodríguez, 1990; Negi and Rajan, 2005).

Guava, belonging to the family *Myrtaceae*, is an economically important crop in several countries like India, Pakistan, Brazil, Mexico, Venezuela, Colombia, Cuba, Thailand, Malaysia and South Africa, among others (Negi and Rajan, 2005). The guava ecological area is located between latitude 30° north and south of Ecuador and is distributed in areas with tropical and subtropical climates (Dinesh and Iyer, 2005).

In Mexico, guava ranks twelfth in importance within the main fruits, and produce an average of 300 000 tons per year in about 22 500 hectares (SIAP, 2012). Borys and Leszczyńska (2001) mentioned guava as a native fruit species with potential as well as one that presents large variability in fruit characters. Subsequent studies have confirmed the large variability of the germplasm of *P. guajava*, both at morphological and genetic level (Tapia and Legaria, 2007; Hernández-Delgado *et al.*, 2007; Padilla and González, 2010).

For its nutritional composition, guava is considered an excellent source of vitamin C, because ends up having between 200 and 400 mg of ascorbic acid per 100 g of fresh fruit. Moreover, given the medicinal properties of guava (leaves, fruits and bark) is given a wide range of ethnobotanical uses (Padilla *et al.*, 2007).

Moreover, it is recognized that plant genetic resources are the initial source of basic features such as adaptation to different environmental conditions, production, resistance to pests and diseases, etc. This allows obtaining though proper use, improved plant varieties. Thus, conservation and sustainable use of plant genetic resources are vital to improve agricultural productivity through genetic improvement. In this sense, we made a collection in several states of *P. guajava* germplasm, in order to have a broad genetic base that

variedades mejoradas de plantas. Así, la conservación y utilización sustentable de los recursos fitogenéticos son vitales para mejorar la productividad agrícola a través del mejoramiento genético. En este sentido, se ha realizado una colecta en varios estados del país de germoplasma de *P. guajava*, con el propósito de disponer de una amplia base genética que represente la diversidad de esta especie para su caracterización y posterior aprovechamiento en el desarrollo de variedades mejoradas que presenten ventajas comparativas.

El objetivo del presente trabajo consistió en estimar la varianza entre y dentro, así como un índice de repetitividad de características cuantitativas del fruto en un grupo de genotipos de guayaba en dos ciclos de producción. Además de realizó un análisis de correlación simple entre las variables registradas.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en Sitio Experimental “Los Cañones” (21° 44.7', 102° 58.0'; 1 508 msnm) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Huanusco, Zacatecas. El clima predominante es semicálido subhúmedo con lluvias en verano y corresponde a la clasificación BS₁hw(w) de acuerdo con García (1981). El promedio anual de temperatura máxima, mínima y media es de 31, 10 y 20.5 °C, respectivamente (Padilla *et al.*, 2012a). La precipitación anual promedio es de 500-550 mm y el mayor porcentaje de esta lluvia ocurre en el periodo julio-septiembre. Las principales características físico-químicas del suelo en sitio de estudio son: textura media, ligeramente alcalino (pH de 8.2), contenido de nitrógeno inorgánico y materia orgánica de 28.9 ppm y 1.1%, respectivamente los cuales son considerado de bajos a medio, aunque el contenido de potasio y calcio son altos (2 345 y 5 849 ppm, resp.), Padilla *et al.* (2012b).

Germoplasma y características de fruto registradas

Se incluyeron 14 genotipos de guayabo, los cuales fueron colectados, propagados y establecidos en condiciones de campo y forman parte de la colección *ex situ* del germoplasma de *P. guajava* del INIFAP (Padilla *et al.*, 2010). El germoplasma bajo estudio fue colectado en siete estados de país, desde altitudes que van de los 17 hasta los 1 893

metros, lo que representa la diversidad de esta especie para caracterización y posterior uso en el desarrollo de variedades mejoradas que presenten ventajas comparativas.

El objetivo de este estudio fue estimar la varianza entre y dentro, así como un índice de repetitividad de características cuantitativas del fruto en un grupo de genotipos de guayaba en dos ciclos de producción. Además de realizó un análisis de correlación simple entre las variables registradas.

Materials and methods

Description of the study area

The study was conducted at Experimental Field “Los Cañones” (21° 44.7', 102° 58.0', 1 508 m) of the National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) located in the town Huanusco, Zacatecas. The climate is semi-warm, subhumid with summer rains and corresponds to the classification BS₁hw(w) according to García (1981). The annual mean maximum, minimum and average temperature is 31, 10 and 20.5 °C, respectively (Padilla *et al.*, 2012a). The average annual precipitation is 500-550 mm and the highest percentage of this rainfall occurs in the period July-September. The main physico-chemical soil characteristics in the study site are: medium texture, slightly alkaline (pH 8.2), content of inorganic nitrogen and organic matter of 28.9 ppm and 1.1%, respectively, which are considered low to medium, but the potassium and calcium content is high (2 345 and 5 849 ppm, resp.), Padilla *et al.* (2012b).

Recorded germplasm and fruit traits

14 guava genotypes were included, which were collected, propagated and established in field conditions and are part of the *ex situ* germplasm collection of the INIFAP (Padilla *et al.*, 2010). The germplasm under study was collected in seven states of the country, from elevations ranging from 17 to 1 893 meters. The fruit pulp is of different colours, such as white-creamy, cream, pink and orange-salmon among others (Table 1).

During the 2010 and 2012 cycles, a random sample of five fruits of the same plant of each genotype in both cycles was taken. In the 2011 cycle, no fruit was obtained in all genotypes included in this study, so it was not considered. Fruit yield

msnm. La pulpa de los frutos es diversos colores como el blanco-cremoso, crema, rosa y naranja-salmón entre otros (Cuadro 1).

was not recorded in any cycle, giving great emphasis to the morphological characterization of germplasm. The fruits were harvested at physiological maturity (when the fruit

Cuadro 1. Origen de los genotipos de guayabo establecidos en el Banco de Germoplasma del INIFAP-Sitio Experimental “Los Cañones”.

Table 1. Origin of guava genotypes established in the Seed Bank of INIFAP- Experimental Site “Los Cañones”.

Genotipo	Color de pulpa	Municipio	Estado	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)
113 i	Blanco-crema	Calvillo	Aguascalientes	21° 55'	102° 43'	1 788
138	Blanco-crema	Colima	Colima	19° 07'	103° 46'	319
140	Blanco-crema	Colima	Colima	19° 14'	103° 48'	401
87	Rosa	Mixtlan	Jalisco	20° 26'	104° 24'	1 546
95	Crema	Atenguillo	Jalisco	20° 24'	104° 29'	1 317
SJN	Rosa	Sn Juan N.	Michoacán	19° 25'	102° 07'	1 880
58	Crema	B. Juárez	Michoacán	19° 17'	100° 26'	1 310
64	Blanco-crema	Zitacuaro	Michoacán	19° 24'	100° 22'	1 746
Seve	Naranja-salmón	Santiago	Nayarit	21° 48'	105° 12'	17
Mirna-1	Rosa	Ruiz	Nayarit	21° 57'	105° 09'	38
Berna-3	Rosa	Ruiz	Nayarit	21° 56'	105° 08'	24
129 d	Blanco-crema	Tamuín	San Luis Potosí	22° 00'	98° 46'	36
Fuentes	Crema	Jalpa	Zacatecas	21° 33'	102° 54'	1893
Mezquitera	Blanca	Jalpa	Zacatecas	21° 38'	102° 58'	1380

Durante los ciclos de 2010 y 2012 se tomó una muestra al azar de cinco frutos de la misma planta de cada genotipo en ambos ciclos. En el ciclo 2011, no se obtuvo fruto en todos los genotipos incluidos en este estudio, por lo que no se consideró. El rendimiento de fruta no se registró en ningún ciclo, dando mayor énfasis a la caracterización morfológica del germoplasma. Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica (cuando el fruto cambia de verde a verde-amarillo) y se registraron las siguientes características cuantitativas: peso de fruto, diámetros polar “DP”, diámetro ecuatorial “DE”, relación DP/DE, grosor de casco, número y peso de semillas por fruto, peso por semilla (promedio de 100 semillas), diámetro de la cavidad de cáliz y el contenido de sólidos solubles totales (°Brix), este último se registró utilizando un refractómetro manual ATAGO^{MR} modelo N-1E (0-32 °Brix).

Los diámetros se midieron con un vernier digital MITUTOYO^{MR}, con aproximación a 0.00 de milímetro, mientras que los pesos se registraron en una báscula OHAUS^{MR} con aproximación a 0.000 de g. Una vez registrados el peso y los diámetros, los frutos se cortaron transversalmente para medir el grosor de pulpa. Posteriormente se extrajeron las semillas de cada fruto, separándolas del mesocarpio bajo constante flujo de agua utilizando un cedazo para retener

changes from green to yellow-green) and the following quantitative characteristics were recorded: fruit weight, polar diameters “PD”, equatorial diameter “ED”, PD/ED ratio, hull thickness, number and weight of seeds per fruit, seed weight (average 100 seeds), cavity diameter of calyx and the content of total soluble solids (°Brix), the latter was recorded using a hand refractometer ATAGO^{MR} model N-1E (0-32 °Brix).

The diameters were measured with a digital vernier MITUTOYO^{MR}, with 0.00 millimeter approximation, while the weights were recorded on a balance OHAUS^{MR} of 0000 g approximation. Once weight and diameter are registered, the fruits were cut transversely to measure the thickness of pulp. Subsequently extracting the seeds of each fruit, separating them from the mesocarp under constant water flow using a sieve to retain the seeds, which are dried in the shade at room temperature (22 ± 2 °C) for 72 h before being counted and weighted.

The fruit characteristics are recorded from the descriptors for *P. guajava* according to the Union for the Protection of New Plant Varieties (UPOV, 1987) and are used for testing distinctness, uniformity and stability between genotypes.

las semillas, las cuales se secaron a la sombra y temperatura ambiente (22 °C ± 2) durante 72 h antes de ser contadas y pesadas.

Las características de fruto registradas son parte de los descriptores para *P. guajava* de acuerdo con la Unión para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV, 1987) y son utilizados para las pruebas de distinción, homogeneidad y estabilidad entre los genotipos.

Datos de clima

Las condiciones de temperatura (máxima, mínima y media) y precipitación fueron registradas diariamente en ambos años del estudio en la estación meteorológica ubicada dentro del sitio experimental y cercana al lote de germoplasma de *P. guajava*, para determinar las condiciones climáticas prevalentes en cada ciclo de producción.

Análisis estadísticos

De acuerdo con varios autores(as) citados por Tanya *et al.* (2013), mencionan que el índice de repetitividad (IR) puede definirse desde un punto de vista estadístico como la correlación entre mediciones de características en el mismo individuo, en el cual las determinaciones fueron repetidas en el tiempo o espacio. Así, el IR refleja el grado de similitud entre los valore fenotípicos observados en diferentes periodos del mismo individuo.

El IR para las características de fruto de los genotipos de guayaba se estimó mediante el procedimiento de análisis completamente aleatorio (Becker, 1984; Thaipong y Boonprakob, 2006), cuya fórmula es:

$$IR = \frac{S^2_E}{S^2_E + S^2_D}$$

donde: S²_E es la varianza entre genotipos, y S²_D es la varianza dentro de genotipos. Se calculó además el error estándar (EE) para el índice de repetitividad (IR) (Thaipong y Boonprakob, 2006).

$$EE = \sqrt{\frac{[2(1 - IR)^2][1 + (k - 1)IR]^2}{k(k - 1)(n - 1)}}$$

Climate data

The conditions of temperature (maximum, minimum and average) and precipitation were recorded daily in both years of the study at the weather station located within the experimental and closest to the site of germplasm *P. guajava* to determine the prevailing weather conditions in each cycle production.

Statistical analysis

According to several authors quoted by Tanya *et al.* (2013) mention that the index of repeatability (IR) can be defined from a statistical point of view as the correlation between measurements on the same individual characteristics, in which the determinations were repeated in time or space. Thus, the IR reflects the degree of similarity between phenotypic values observed in different periods of the individual.

The IR for the fruit characteristics of guava genotypes was estimated by the method of completely random analysis (Becker, 1984; Thaipong and Boonprakob, 2006), the formula is:

$$IR = \frac{S^2_E}{S^2_E + S^2_D}$$

Where: S²_E is the variance between genotypes, and S²_D is the variance within genotypes. The standard error (SE) for the index of repeatability (IR) was also calculated (Thaipong and Boonprakob, 2006).

$$EE = \sqrt{\frac{[2(1 - IR)^2][1 + (k - 1)IR]^2}{k(k - 1)(n - 1)}}$$

Where: k is the number of observations per genotype (fruit), and n is the number of genotypes.

With the values observed in the 14 genotypes in both cycles of evaluation, the simple correlation coefficient (r) between the characteristics measured directly in each of the five fruits was estimated. Correlation analysis was performed with the SAS statistical package (1987).

donde: k es el número de observaciones por genotipo (frutos), y n es el número de genotipos.

Con los valores observados en los 14 genotipos en ambos ciclos de evaluación se estimó el coeficiente de correlación simple (r) entre las características medidas directamente en cada uno de los cinco frutos. El análisis de correlación se realizó con el paquete estadístico SAS, (1987).

Resultados y discusión

Condiciones climatológicas

Cada ciclo de producción evaluado, presentó condiciones climatológicas diferentes. En 2010, se registró un promedio anual de temperatura ligeramente más bajo que en 2012. La temperatura media anual en 2010 fue de 19.6 °C, comparada con 2012 que fue de 20.5 °C. Esto se reflejó en mayor acumulación de unidades calor (temperatura base=9 °C) en 2012 (4 200), en contraste con 3 868 acumuladas en 2010. Lo anterior, pudo afectar el desarrollo de las plantas en cada ciclo, ya que se considera que el guayabo es muy sensible a la acumulación de unidades calor (Padilla *et al.*, 2012a). La temperatura media anual más baja y consecuentemente menor acumulación de unidades calor en 2010, se atribuye a que en este año la precipitación total acumulada fue mayor (636 mm) que en 2012 (444 mm) (Figura 1).

Results and discussion

Weather conditions

Every production cycle evaluated presented different weather conditions. In 2010, an average annual temperature was recorded slightly lower than in 2012. The average annual temperature in 2010 was 19.6 °C, compared to 2012 at 20.5 °C. This was reflected in increased accumulation of heat units (base temperature=9 °C) in 2012 (4200), in contrast to 3 868 collected in 2010. This situation could affect the development of plants for each cycle, and that guava considered quite sensitive to heat accumulation units (Padilla *et al.*, 2012a). The lowest annual average temperature and consequently less heat build units in 2010 is attributed to this year, the total accumulated rainfall was higher (636 mm) than in 2012 (444 mm) (Figure 1).

Variance components and index of repeatability

The total variance (S^2_t) of the fruit characteristics of guava was different in each cycle, indicating an influence of environmental conditions, probably due to the temperature and precipitation, as these were different in both years. In the 2010 cycle, the highest values of S^2_t were observed in most of the characteristics of the fruit, except for the DP/ED ratio where values were similar in both cycles and the number of seeds "NS" where a higher value recorded in 2012 (Table 2).

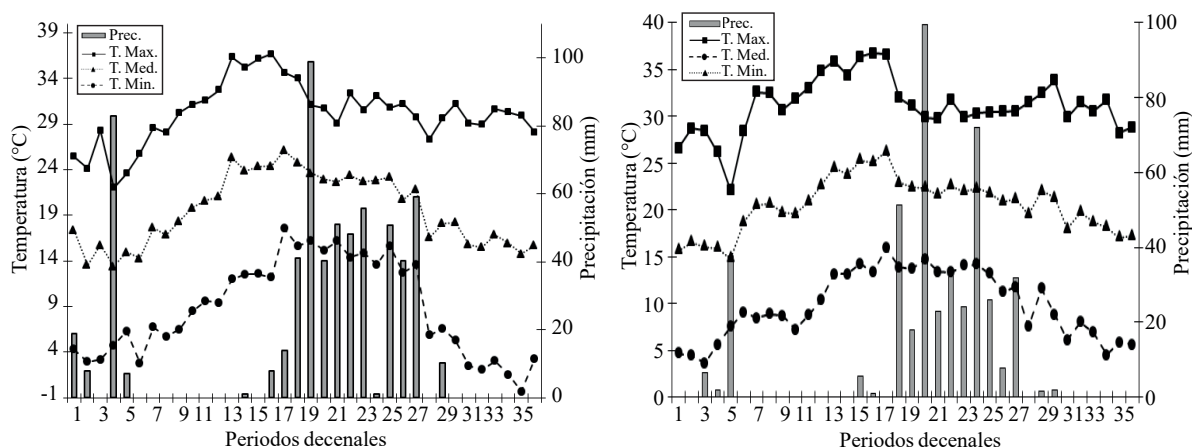


Figura 1. Promedios de temperatura máxima, mínima y media y precipitación acumulada en periodos decenales durante los ciclos de 2010 (izquierda) y 2012 (derecha) en el Sitio Experimental de Los Cañones. Huanusco, Zacatecas.

Figure 1. Average maximum temperature, minimum and mean and, accumulated precipitation in dryland periods during 2010 cycles (left) and 2012 (right) at the Experimental Site of Los Cañones. Huanusco, Zacatecas.

Componentes de varianza e índice de repetitividad

La varianza total (S^2_t) de las características del fruto de guayaba fue diferente en cada ciclo, lo que indica una influencia de las condiciones ambientales sobre las características del fruto, probablemente debido a la temperatura y precipitación, ya que estas fueron diferentes en ambos años. En el ciclo 2010, se observaron los valores más altos de S^2_t , en la mayor parte de la características del fruto, excepto en la relación DP/DE donde los valores fueron similares en ambos ciclos y en el número de semillas “NS” donde se registró un valor más alto en 2012 (Cuadro 2).

Similar results were reported for chemical characteristics of guava fruits harvested during the rainy season, the fruits showed the lowest values (Rathore, 1976; Thaipong and Boonprakob, 2006). Effects of temperature and precipitation on the accumulation of total soluble solids in guava was previously reported by Padilla *et al.* (2010). Betancourt *et al.* (2006) mentioned that, the combined action of temperature, wind speed, insolation, precipitation and relative humidity influenced the maturity of grapefruit "*Citrus paradisi*", reflected in characteristics such as total soluble solids, measurable acidity and maturity index.

Cuadro 2. Componentes de la varianza, índice de repetitividad (IR) y error estándar (EE) de características cuantitativas de fruto de guayaba en dos ciclos de producción.

Table 2. Components of variance, index of repeatability (IR) and standard error (SE) of quantitative characteristics of guava fruit in two production cycles.

Caract. ¹	S^2_t		S^2_e		S^2_d		IR ± EE	
	2010	2012	2010	2012	2010	2012	2010	2012
PF	13955.9	5650.4	13727.4	5525.8	228.5	124.6	0.98±0.003	0.98±0.003
DP	7.15	5.47	7.03	5.3	0.121	0.172	0.98±0.003	0.97±0.005
DE	4.69	3.3	4.59	3.2	0.094	0.108	0.98±0.003	0.97±0.005
DP/DE	0.05	0.05	0.046	0.046	0.005	0.004	0.90±0.016	0.91±0.015
NS	27645.6	47033.1	25583.4	44543.6	2062.2	2489.5	0.93±0.012	0.95±0.01
PS	3.33	4.81	3.15	4.59	0.177	0.22	0.95±0.01	0.95±0.01
PPS	29.87	19.6	28.36	16.6	1.513	2.98	0.95±0.01	0.85±0.023
GC	0.26	0.08	0.25	0.074	0.01	0.006	0.96±0.007	0.93±0.012
DCC	0.26	0.14	0.25	0.134	0.007	0.005	0.97±0.005	0.96±0.007
SST	33.05	23.57	31.27	21.51	1.781	2.054	0.95±0.01	0.91±0.014

¹PF= peso de fruto; DP= diámetro polar; DE= diámetro ecuatorial; DP/DE=relación de diámetros; NS= número de semillas; PS= peso de semillas; PPS= peso por semillas; GC= grosor de casco; DCC= diámetro de la cavidad de cáliz; SST= solidos solubles totales.

Resultados similares fueron reportados para características químicas de frutos de guayaba, donde frutos cosechados durante la época lluviosa mostraron los valores más bajos (Rathore, 1976; Thaipong y Boonprakob, 2006). Efectos de la temperatura y precipitación sobre la acumulación de solidos solubles totales en guayaba fue reportados previamente por Padilla *et al.* (2010). Betancourt *et al.* (2006) mencionan que la acción combinada de temperatura, velocidad de viento, insolación, precipitación y humedad relativa influyeron sobre la madurez de frutos de toronja "*Citrus paradisi*", reflejándose en características como solidos solubles totales acidez titulable y el índice de maduración.

La varianza entre genotipos (S^2_e) fue más alta en la mayoría de las características del fruto, en comparación a la varianza dentro de genotipos (S^2_d) en ambos años, excepto en DP/DE y NS. Lo anterior, indica que las características del fruto de guayaba fueron más influenciadas por las condiciones ambientales que por la posición o grado de madurez del fruto, además de diversidad de los genotipos incluidos en este estudio.

The variance between genotypes (S^2_e) was higher in most fruit characteristics, compared to the variance in genotypes (S^2_d) in two years except in DP/ED and HL. This indicates that guava fruit characteristics were more influenced by environmental conditions than by position or degree of maturity of the fruit, in addition to the diversity of genotypes included in this study.

The index of repeatability (IR) of the characteristics of the guava fruit were high in both study cycles (Table 2). IR values slightly lower (0.40 to 0.87) were reported for morphological and chemical guava characteristics, but were considered acceptable, further indicating that a sample three to five was sufficient to evaluate the characteristics of the guava fruit (Thaipong and Boonprakob, 2006). These authors point out that higher values (>0.80) observed in the IR, traits like hull thickness, measurable acidity and ascorbic acid content are attributed to the genetic diversity of materials, and considered that this genetic diversity is essential in breeding programs

El índice de repetitividad (IR) de las características de los frutos de guayaba fueron altos en ambos ciclos de estudio (Cuadro 2). Valores de IR ligeramente más bajos (0.40 a 0.87) fueron reportados para características morfológicas y químicas de guayaba, aunque fueron considerados aceptables, indicando además que una muestra de tres a cinco frutos fue suficiente para evaluar las características de los frutos de guayaba (Thaipong y Boonprakob, 2006). Estos autores, señalan que valores superiores (>0.80) del IR observados en características como grosor de casco, acidez titulable, y contenido de ácido ascórbico se atribuyen a la diversidad genética de los materiales, y se considera que esta diversidad genética es esencial en los programas de mejoramiento genético para obtener mayor variación. Valores similares del IR han sido reportados para características de frutos en genotipos de diversas especies como: palma de aceite "*Elaeis guineensis*" (Tanya *et al.*, 2013;), naranjas "*Citrus sinensis*" (Negreiros *et al.*, 2014) ciruelas "*Prunus salicina*" y duraznos "*Prunus persica*" (Danner *et al.*, 2010). En general las características asociadas al tamaño de fruto mostraron los mayores valores de IR, seguidos por características químicas del fruto.

Correlaciones fenotípicas

La matriz de correlaciones simples (r) para las 10 características del fruto se muestra en el Cuadro 3. El PF mostró una correlación positiva y significativa ($p \leq 0.01$) con los diámetros de fruto DP y DE, el GC y DCC ($r = 0.73$ a 0.96), mientras que con NS y PS, la correlación fue moderada ($r = 0.38$ a 0.44), en tanto que con DP/DE y PPS fueron muy bajas ($r = 0.048$ a 0.17). La correlación de SST con el resto de las variables fue muy baja y en algunos casos negativa. Resultados similares fueron reportados por Thaipong y Boonprakob (2006), quienes además señalan que la característica PF puede ser utilizada como criterio de selección para incrementar tamaño de fruto y GC, lo cual daría mayor rendimiento de pulpa y probablemente menor NS y PS.

for more variation. Similar IR values have been reported for fruit characteristics in different genotypes of species such as palm oil "*Elaeis guineensis*" (Tanya *et al.*, 2013), orange "*Citrus sinensis*" (Negreiros *et al.*, 2014) Plums "*Prunus salicina*" and peaches "*Prunus persica*" (Danner *et al.*, 2010). In general the characteristics associated with fruit size showed the highest values of IR, followed by chemical characteristics of the fruit.

Phenotypic correlations

The matrix of simple correlations (r) for the 10 fruit characteristics shown in Table 3. The PF showed a significant positive correlation ($p \leq 0.01$) with diameters of fruit PD and ED, CO, and DCC ($r = 0.73$ to 0.96), while with NS and PS was a moderate correlation ($r = 0.38$ to 0.44), while DP/ED and PPS were very low ($r = 0.048$ - 0.17). TSS correlation with the remaining variables were very low and in some cases negative. Similar results were reported by Thaipong and Boonprakob (2006), who also noted that, the PF trait can be used as selection criteria to increase fruit size and GC, which would give higher yield of pulp and probably lower NS and PS.

However, the selection of larger fruits probably tends to reduce TSS; however, correlations were not significant. These results indicated that, the selection of large fruit with high values of TSS is indeed feasible.

Average fruit characteristics of guava

The mean values of the 10 characteristics recorded in the fruits of 14 guava genotypes in both years are shown in Table 4. The fruits obtained in the 2010 cycle were larger, reflecting higher values for variables PF, PD, ED, GG, DCC and TSS, compared with values obtained in 2012; however, the

Cuadro 3. Matriz de correlaciones fenotípicas de características cuantitativas de fruto de guayaba.

Table 3. Matrix of phenotypic correlations of quantitative characteristics of guava fruit.

Características	PF	DP	DE	DP/DE	NS	PS	PPS	GC	DCC	SST
PF	1									
DP	0.899** ²	1								
DE	0.961**	0.91**	1							
DP/DE	0.048ns	0.397**	-0.012ns	1						
NS	0.381**	0.375**	0.443**	-0.067ns	1					
PS	0.447**	0.403**	0.523**	-0.181*	0.905**	1				
PPS	0.17*	0.124ns	0.21*	-0.175*	-0.222**	0.163ns	1			
GC	0.764**	0.734**	0.767**	0.065ns	-0.02ns	0.109ns	0.328**	1		
DCC	0.738**	0.573**	0.684**	-0.114ns	0.328**	0.357**	0.137ns	0.540**	1	
SST	-0.001ns	0.03ns	-0.039ns	0.163ns	-0.41ns	-0.323**	0.231**	0.152ns	-0.146ns	1

PF= peso de fruto; DP= diámetro polar; DE= diámetro ecuatorial; DP/DE= relación de diámetros; NS= número de semillas; PS= peso de semillas; PPS= peso por semillas; GC= grosor de casco; DCC= diámetro de la cavidad de cáliz; SST= sólidos solubles totales. ²ns; *, **= no significativo; significativo a $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

Sin embargo, la selección de frutos de mayor tamaño, probablemente tienda a reducir SST, no obstante las correlaciones fueron no significativas. Estos resultados indican que es factible la selección de frutos grandes con altos valores de SST.

Promedios de las características del fruto de guayaba

Los valores medios de las 10 características registradas en los frutos de los 14 genotipos de guayaba en ambos años se muestran en el Cuadro 4. Los frutos obtenidos en el ciclo 2010 fueron de mayor tamaño, reflejándose en valores más altos para las variables PF, DP, DE, GG, DCC y SST, comparados con los valores obtenidos en 2012. No obstante, el NS y PS, fueron ligeramente más bajos en 2010. Lo anterior, muestra la influencia que tuvieron las condiciones ambientales prevalecientes en cada ciclo de crecimiento. Aunque, en general las características mantienen la proporcionalidad.

Conclusiones

Los valores del índice de repetitividad fueron altos para el PF, DP, DE y GC, indicando que es factible el uso de PF como criterio de selección para incrementar tamaños y rendimiento de pulpa e indirectamente reducir número y peso de semillas en programas de mejoramiento genético.

El uso de una amplia diversidad genética incrementa la posibilidad de obtener ganancias genéticas en el desarrollo de nuevas variedades que combinen características morfológicas y químicas.

Se dispone de genotipos de guayabo que representan una gama amplia de tipos de fruto, para su uso en programas de mejoramiento genético.

Agradecimientos

Se agradece al SNICS-SINAREFI por el apoyo brindado para la colección, conservación, y caracterización del germoplasma de *P. guajava*, así como al personal del Sitio Experimental Los Cañones por la ayuda en el mantenimiento de la colección *ex situ* de guayaba.

NS and PS, were slightly lower at 2010. The foregoing shows the influence exerted by the environmental conditions in each growth cycle. While generally maintain proportionality characteristics.

Cuadro 4. Promedio y error estándar de características cuantitativas de fruto de 14 genotipos de guayaba por ciclo de desarrollo.

Table 4. Mean and standard error of quantitative characteristics of fruits of guava of 14 genotypes per development cycle.

Característica	2010	2012
	Promedio ± EE	Promedio ± EE
Peso de fruto (g)	82.41 ± 6.29	54.51 ± 4.04
Diámetro Polar (cm)	5.95 ± 0.14	5.00 ± 0.13
Diámetro Ecuatorial (cm)	4.93 ± 0.12	4.32 ± 0.1
DP/DE	1.21 ± 0.01	1.16 ± 0.01
Núm. semillas	173.89 ± 9.63	211.6 ± 12.2
Peso de semillas (g)	1.89 ± 0.1	2.14 ± 0.12
Peso por semilla (mg)	11.09 ± 0.31	10.36 ± 0.28
Grosor de casco (mm)	8.6 ± 0.03	6.3 ± 0.02
Cavidad cáliz (mm)	8.3 ± 0.03	7.8 ± 0.02
SST (°Brix)	12.82 ± 0.32	11.7 ± 0.29

Conclusions

The index of repeatability values were higher for the PF, PD, ED and GC, indicating that it is feasible to use PF as a selection criterion for increasing sizes and pulp yield and indirectly reduce the number and weight of seeds in breeding programs.

Using broad genetic diversity increases the possibility of genetic gains in the development of new varieties that combine morphological and chemical characteristics.

We have guava genotypes representing a wide range of types of fruit, for use in breeding programs.

End of the English version



Literatura citada

Becker, W. A. 1984. Manual of quantitative genetics. 4th (Ed.). Academic Enterprises. Pullman, Washington, DC. 188 p.

- Betancourt, G. M.; Sistachs, V. V.; Sánchez, G. C.; García, A. M. E.; Núñez, V. M.; Solano, O. O.; Noriega, C. C.; Oliva, D. H.; Acosta, P. Z. M.; Gloria, D. C. y Martín, P. M. E. 2006. Influencia del mesoclima sobre la madurez de fruto de toronjo (*Citrus paradise* Macf.) en Cuba. *Agric. Téc. Méx.* 32(2):153-160.
- Borys, M. W. y Leszczyńska, B. H. 2001. El potencial genético frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, México. 99 p.
- Danner, M. A.; Bassols, R. M. do C.; Zolet, S. S. A.; Citadin, I. e Scariot, S. 2010. Repetibilidade de peso de fruto e de duração do ciclo em ameixeira e pessegueiro. *Pesq. Agrop. Bras.* Brasília. 45(8):872-878.
- Dinesh, M. R. and Iyer, C. P. A. 2005. Significant research achievements in guava -improvement and future needs. *In: Souvenir 1st International Guava Symposium.* Lucknow, India. 7-16 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 252 p.
- Hernández-Delgado, S.; Padilla-Ramírez, J. S.; Nava-Cedillo, A. and Mayek-Pérez, N. 2007. Morphological and genetic diversity of Mexican guava germplasm. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization.* 5(3):131-141.
- Mata, B. I. y Rodríguez, M. A. 1990. Cultivo y producción del guayabo. Editorial Trillas-UAAAN. México. 160 p.
- Negi, S. S. and Rajan, S. 2005. Improvement of guava through breeding. *In: Souvenir 1st International Guava Symposium.* Lucknow, India. 1-6 pp.
- Negreiros, J. R. Da S.; Andrade, N. R. Da C.; Miqueloni, D. P. e Lessa, L. S. 2014. Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranja-doce. *Pesq. Agrop. Bras.* Brasília. 49(1):40-48.
- Padilla, R. J. S.; González, G. E.; Perales de la, C. M. A.; Reyes, P. H. R. y Osuna, C. E. S. 2007. Variabilidad del fruto de la guayaba (*Psidium guajava* L.) mexicana. INIFAP-SAGARPA-SNICS. Campo Experimental Pabellón. Publicación especial Núm. 31. 61 p.
- Padilla, R. J. S. and González, G. E. 2010. Collection and characterization of Mexican guava (*Psidium guajava* L.) germplasm. *Acta Hort.* 849:49-54.
- Padilla, R. J. S.; González, G. E.; Osuna, G. J. A.; Pérez, B. M. H. y Sánchez, L. R. 2010. Influencia de la temperatura y precipitación sobre los sólidos solubles de la guayaba (*Psidium guajava* L.). *In: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola.* Campeche, Campeche. 251 p.
- Padilla, R. J. S.; González, G. E.; Pérez, B. M. H.; Osuna, G. J. A.; Espindola, B. M. de la C. and Reyes, A. J. C. 2012a. Phenological behavior of guava trees (*Psidium guajava* L.) under different climatic conditions of México. *Acta Hort.* 959:97-102.
- Padilla, R. J. S.; Cortés, P. C. J.; Maldonado, S. N. E. and Sánchez, R. T. 2012b. Comparative analysis for °Brix and ascorbic acid concentration of guava fruits under two fertilization treatments in Zacatecas, México. *Acta Hort.* 959:111-115.
- Rathore, D. S. 1976. Effect of season on the growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *J. Hort. Sci.* 51:41-47.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1987. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 1028.
- Sistema de Información Agropecuario. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SIAP-SAGARPA. 2012. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Tapia, P. D. y Legaria, S. J. P. 2007. Variabilidad genética en cultivares de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 39(4):391-401.
- Thaipong, K. and Boonprakob, U. 2006. Repeatability, optimal sample size of measurement and phenotypic correlations of quantitative traits in guava. *Kasetsart J. (Nat. Sci.).* 40:11-19.
- Tanya, P.; Hadkam, Y.; Taepayoon, P. and Srinives, P. 2013. Estimates of repeatability and path coefficient of bunch and fruit traits in Bang Boet *dura* oil palm. *J. Oil Palm Res.* 25(1):108-115.
- UPOV. 1987. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability: Guava (*Psidium guajava* L.). Geneva, Switzerland. 27 p.