






Genética vegetal y biodiversidad

Artículo de investigación científica y tecnológica

Comparación de las características de calidad de fruta en genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) provenientes de Shushufindi y La Joya de los Sachas, Ecuador

 Yadira Beatriz Vargas Tierras^{1*},  Alejandra Evelyn Díaz Martínez¹,
 Carlos Danilo Congo Yépez¹,  Leider Anibar Tinoco Jaramillo¹,
 William Fernando Viera Arroyo²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. La Joya de los Sachas, Ecuador.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador.

*Autor de correspondencia: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Km 3 vía a San Carlos, La Joya de los Sachas, Ecuador. yadira.vargas@iniap.gob.ec

Editor temático: Andrés Cortés (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 22 de abril de 2020

Aprobado: 18 de septiembre de 2020

Publicado: 16 de abril de 2021

Para citar este artículo: Vargas-Tierras, Y. B., Díaz-Martínez, A. E., Congo-Yépez, C. D., Tinoco-Jaramillo, L. A., & Viera-Arroyo, W. F. (2021). Comparación de las características de calidad de fruta en genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) provenientes de Shushufindi y La Joya de los Sachas, Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22 (1), e1930. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1930



Resumen

En el norte de la Amazonía ecuatoriana se encuentran genotipos de papaya que, si bien tienen características aceptables de producción y calidad de fruta, son heterogéneos. El objetivo de esta investigación fue evaluar estos genotipos para la selección de individuos con base en las características de calidad de fruta. El estudio se desarrolló en la Estación Experimental Central de la Amazonía del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, ubicada en el cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana. Se utilizó un diseño completamente al azar con diferente número de observaciones de acuerdo a la cantidad de individuos por cada genotipo de papaya. Las variables evaluadas fueron: peso de fruto (kg), peso de pulpa (kg), peso de cáscara (kg), diámetro de fruto (cm), longitud de fruto (cm), espesor de pulpa (cm), firmeza de fruto (kg-f), pH, sólidos solubles totales (°Bx), acidez titulable y relación sabor. Los datos se sometieron a un análisis de varianza de una vía, pruebas de comparación de medias de Tukey (95 %) para dendrograma, matriz de correlación y gráficos Biplot. Los resultados mostraron individuos con alta producción (más de 50 frutos/planta) y frutos con características exigidas por el mercado para consumo en fresco (peso de fruto entre 0,2 y \geq 2,0 kg y contenido de sólidos solubles \geq 11,5 °Bx). Además, se identificaron diez individuos élite que cumplen con la doble condición de producción y calidad de fruta, y deben ser considerados para posteriores programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: calidad de los alimentos, características agronómicas, genotipos, individuos élite, variación genética

Comparison of fruit quality traits of papaya (*Carica papaya* L.) genotypes from Shushufindi and La Joya de los Sachas, Ecuador

Abstract

In the northern region of the Ecuadorian Amazon, there are papaya genotypes with acceptable production and fruit quality traits; however, they are heterogeneous. The aim of this research was to evaluate papaya genotypes for the selection of individuals through fruit quality traits. The study was carried out at the Central Amazon Experimental Station of Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, located in the canton La Joya de los Sachas, Orellana Province. A completely randomized design with a different number of observations according to the number of individuals per genotype was used. The recorded variables were: fruit weight (kg), pulp weight (kg), peel weight (kg), fruit diameter (cm), fruit length (cm), pulp thickness (cm), fruit firmness (kg-f), pH, total soluble solids (°Bx), titratable acidity, and flavor ratio. Data were subjected to one-way analysis of variance, mean comparison tests (Tukey 95%) for dendrograms, correlation matrix, and Biplot graphs. Results showed individuals with high production (more than 50 fruits/plant) and fruits with market demanded traits for fresh consumption (fruit weight between 0.2 and ≥ 2.0 kg, and soluble solids content ≥ 11.5 °Bx). In addition, ten elite individuals were identified as they meet the dual production and fruit quality traits, and must be considered for future breeding programmes.

Keywords: agronomic characters, elite individuals, food quality, genetic variation, genotypes

Introducción

La papaya *Carica papaya* L. pertenece a la familia Caricaceae, nativa de América tropical, desde el sur de México hasta Costa Rica. Actualmente, este frutal es cultivado en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Umaña et al., 2011). En Ecuador, el cultivo se establece en las regiones Costa y Amazonía, y en el año 2018 el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2018) reportó que a nivel nacional existían 83.897 árboles dispersos de papaya, con una producción de 3.893 t. Por otra parte, en el año 2019, la Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones (Corpei) informó que la papaya se ubica en la categoría exótica, pero su demanda es menor si la comparamos con la piña y el mango (Granja, 2019).

Alrededor del mundo se cultiva un número creciente de variedades de papaya; los diferentes cultivares exhiben una morfología reproductiva diversa y muchos se han cultivado a partir de variedades que abundan en diferentes regiones del mundo. Los cultivares más conocidos son: a) los de fruta en forma de pera, piel de color amarillo verdoso y sabor dulce, y b) los que presentan pulpa de color rojo anaranjado, alto contenido de azúcar y sabor deseable (Nafiu et al., 2019). En las plantaciones comerciales de papaya, la densidad poblacional es de 1.500 y 2.500 plantas por hectárea y el rendimiento es de 50-136 t/ha/año (Cruz & Portal, 2010; Rodríguez et al., 2014). Sin embargo, la productividad de un cultivar de papaya se mide cuando produce 15-20 kg de frutos (45-50 frutos por planta) en el primer año (Alonso, Tornet, Ramos et al., 2008; Vázquez et al., 2010).

En Ecuador se cultiva papaya de las variedades Maradol, Tainung, tipo Hawaiana (Solo, Sunrise, Gram, Betty) y Criolla (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2015). Durante todo el año se exportan frutas que pesan entre 0,2 y 2,0 kg (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013); los frutos de la variedad Criolla pesan 1-3 kg con pulpa color rojo-amarillo y contenido de sólidos solubles de 10-11 °Bx. En el tipo Solo o Hawaiana, los frutos se caracterizan por ser de tamaño pequeño y pesar entre 0,4 y 0,6 kg (Gonçalves de Oliveira & Vitória, 2011). Los cultivares Sunset, Sunrise y Golden Solo presentan frutos de 0,5-0,7 kg y contenido de sólidos solubles de 12-17 °Bx; el cultivar Maradol produce frutos de 1,5-2,6 kg, pulpa de color rojo salmón y contenido de sólidos solubles de 12 °Bx, y el cultivar de Formosa (Tainung) genera frutos de 0,90 kg y contenido de sólidos solubles de 8-10 °Bx (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca & Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2015).

En el norte de la Amazonía ecuatoriana, la papaya forma parte de los sistemas agroforestales de cacao, café y potreros. En estos sistemas, un árbol puede llegar a producir de 15 a 50 frutos por planta (5-18 kg/planta); es decir, posee características agronómicas adecuadas para transformarse en un cultivo sostenible (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2015; Vargas Tierras et al., 2018). Sin embargo, el tamaño, la forma, los sólidos solubles y el color de pulpa son una limitante para su comercialización; además, se han encontrado plantaciones con la mitad de las plantas improductivas.

El estudio de los genotipos de papaya en la Amazonía ecuatoriana es una alternativa para la producción sostenible de esta fruta, ya que se pueden encontrar genes que ayuden a incrementar la producción, mejoren la calidad de los frutos, soporten los cambios ambientales y resistan/toleren el ataque de plagas. En la actualidad, los consumidores prefieren frutos pequeños de 500-800 g, alargados, con

sólidos solubles por encima de 11,5 °Bx y pulpa de color anaranjada; por su parte, los frutos grandes con peso promedio de 801-1.800 g son muy apreciados por la agroindustria (Alonso, Tornet, Aranguren, et al., 2008; Honoré et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo del estudio fue comparar las características de calidad de fruta de los genotipos de papaya adaptados a las condiciones de la Amazonía, con el fin de identificar candidatos potenciales para posteriores programas de mejoramiento genético.

Materiales y métodos

Localización y caracterización del sitio experimental

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap), ubicada en la parroquia San Carlos del cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana (Ecuador), a 29°10'13,0" N, 99°60'33,05" O y una altitud de 282 m s. n. m. El clima es de tipo megatérmico (A'), lluvioso (A) en su mayoría y sin falta de agua (r); se caracteriza por un índice de humedad superior a 100 %, evapotranspiración potencial media de 135,38 mm, temperatura promedio mensual de 26,6 °C y precipitación promedio anual de 2.955 mm, con un periodo más húmedo en el mes de agosto y uno seco en el mes de mayo (Poma-Copa & Usca-Tiuquinga, 2020).

Material vegetal

Se recolectaron ocho genotipos de papaya presentes en los sistemas de producción agrícola de dos cantones de la Amazonía ecuatoriana: Shushufindi y La Joya de los Sachas (tabla 1, figura 1). Se seleccionaron plantas con características sobresalientes (arquitectura y rendimiento), se sembraron en la EECA y, una vez que estuvieron en etapa de cosecha, se tomaron los frutos para el análisis. Se cosecharon tres frutos fisiológicamente maduros de cada individuo por genotipo; posteriormente, se pesaron, se midió longitud y diámetro y, mediante los descriptores del International Board for Plant Genetic Resources (1988), se determinó la forma del fruto y de su cavidad interna. El color de pulpa se identificó con la tabla de colores de la Royal Horticultural Society de 2015. Cada fruto fue colocado en una bolsa plástica, etiquetado con origen y coordenadas GPS (tabla 2) y llevado al Laboratorio de Calidad de Alimentos de la EECA.

Tabla 1. Lugares de recolección de genotipos de papaya en dos provincias de la Amazonía ecuatoriana

Provincia	Cantón	Localidad	Genotipo	Codificación	N.º individuos	Observaciones (frutos) por genotipo	Latitud	Longitud
Sucumbíos	Shushufindi	7 de Julio	1	1 a 12	12	36	00°11'6,60"S	76°42'45,45"W
			2	13 a 25	13	36		
		Vía Primavera	4	47 a 50	4	12	00°05'37,77"S	76°38'46,32"W
		Vía Puerto Ecuador	7	54 y 55	2	6	00°14'5,20"S	76°32'15,72"W
		Vía Pantera	8	56	1	3	00°11'55,50"S	76°33'32,58"W
Orellana	La Joya de los Sachas	San Carlos	5	51	1	3	00°21'30,69"S	76°52'40,12"W
			6	52 y 53	2	6		
		Enokanqui	3	26 a 46	21	63	00°13'23,97"S	76°51'18,68"W

Fuente: Elaboración propia

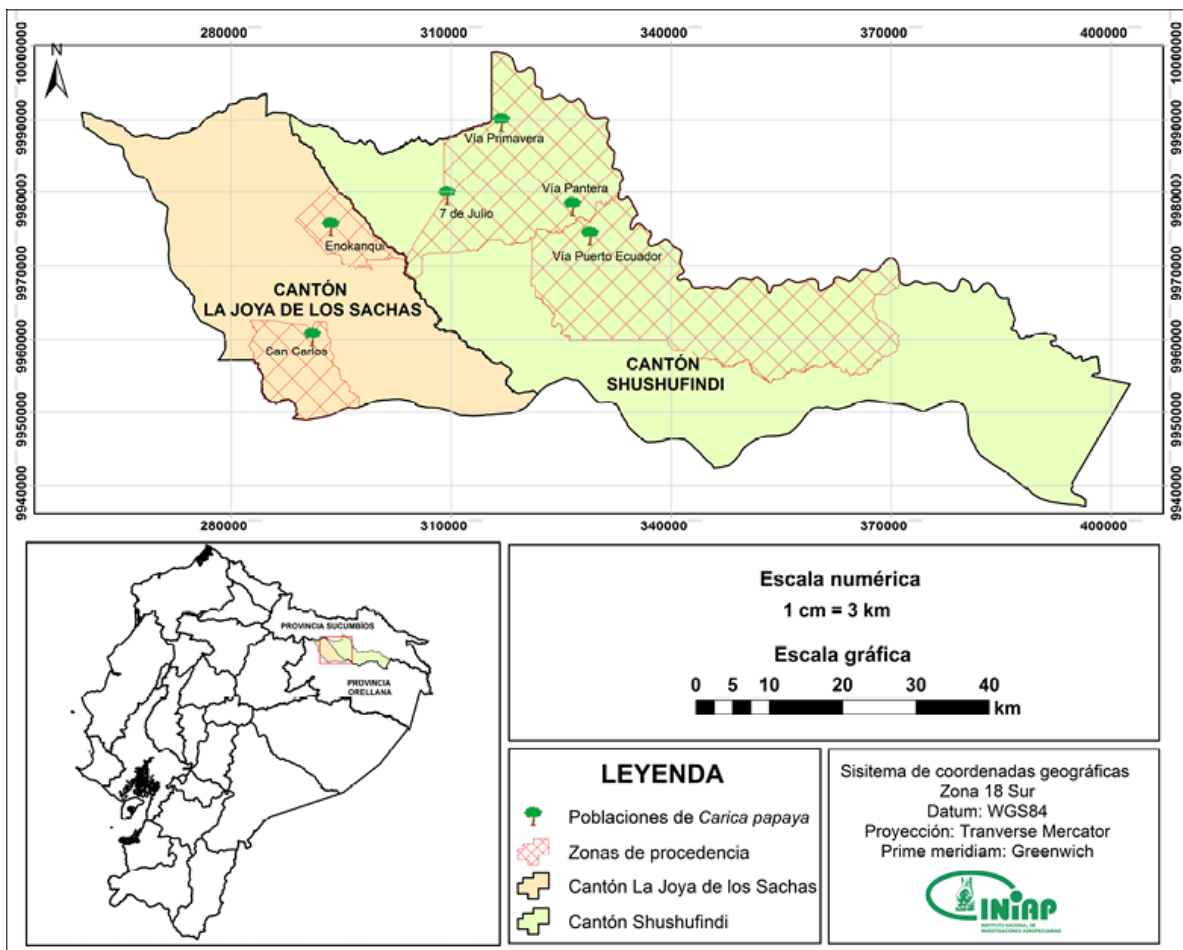





Figura 1. Ubicación de las zonas de procedencia de los genotipos de papaya en los cantones Shushufindi y La Joya de los Sachas.

Fuente: Elaborado por Carlos Danilo Congo Yépez

Tabla 2. Características físicas de los frutos de ocho genotipos de papaya recolectados en dos provincias de la Amazonía ecuatoriana

Codificación	Genotipos	Características
1		Peso: 1.385,5 g Longitud de fruto: 25,14 cm Diámetro de fruto: 43,36 cm Forma del fruto: alargado Forma de la cavidad: redonda Color de pulpa: yellow orange group 21-C
2		Peso: 1.061,0 g Longitud de fruto: 23,43 cm Diámetro de fruto: 38,37 cm Forma del fruto: redondo-alargado Forma de la cavidad: redonda Color de pulpa: orange group N-25-C
3		Peso: 1.140,0 g Longitud de fruto: 24,28 cm Diámetro de fruto: 41,72 cm Forma del fruto: alargado elipsoidal Forma de la cavidad: angular Color de pulpa: yellow orange 21-C
4		Peso: 1.060,0 g Longitud de fruto: 22,0 cm Diámetro de fruto: 43,0 cm Forma del fruto: alargado Forma de la cavidad: ligeramente estrellada Color de pulpa: yellow orange group 23-B
5		Peso: 1.521,5 g Longitud de fruto: 26,0 cm Diámetro de fruto: 43,0 cm Forma del fruto: cilíndrico alargado Forma de la cavidad: redonda Color de pulpa: orange group 32-A
6		Peso: 1.265,0 g Longitud de fruto: 22,0 cm Diámetro de fruto: 42,0 cm Forma del fruto: globular Forma de la cavidad: estrella Color de pulpa: orange group N 25-D
7		Peso: 1.603,0 g Longitud de fruto: 26,0 cm Diámetro de fruto: 45,0 cm Forma del fruto: globular Forma de la cavidad: redonda Color de pulpa: orange group 153-A
8		Peso: 4.525,0 g Longitud de fruto: 49,0 cm Diámetro de fruto: 46,0 cm Forma del fruto: club Forma de la cavidad: irregular Color de pulpa: orange group 32-D

Nota: Se muestran los valores promedio.

Fuente: Elaboración propia. Fotografías: Carlos Danilo Congo Yépez

Manejo específico del experimento

Se extrajeron las semillas de los frutos recolectados y con estas se formó la población segregante para cada genotipo. Las semillas se sembraron en bolsas negras de polietileno de 8 cm de ancho \times 15 cm de largo. El trasplante se llevó a cabo a los 50 días, para lo cual se realizaron hoyos de 30 \times 30 \times 30 cm y se sembraron las plantas a una distancia de 2 m entre hilera y 2 m entre planta. Se sembraron los individuos de cada genotipo en forma sistematizada y, para el análisis, se cosecharon tres frutos por individuo de cada genotipo. La fertilización aplicada a la parcela de campo fue de 141 g/planta de fósforo, 222 g/planta de nitrógeno y 226 g/planta de potasio. Se utilizaron fórmulas comerciales de 12-52-0, 33-0-0 y 0-0-60 fraccionadas mensualmente (Mora & Bogantes, 2004).

A los ocho días después del trasplante, se realizaron controles preventivos para enfermedades fungosas mediante aplicaciones foliares con clorotalonil 720 g/l y dos aplicaciones posteriores cada 30 días. A los treinta días postrasplante, se eliminaron los vástagos de la base del tallo y las axilas de las hojas. Entre la octava y la decimosegunda semana postrasplante, cuando el botón floral tuvo 0,5 cm de diámetro, se realizó el sexado (Bogantes et al., s. f.). La cosecha inició en el mes de enero y se prolongó hasta septiembre, periodo durante el cual se registró el número total de frutos por individuo de cada genotipo. En el tercer mes de cosecha, se seleccionaron tres frutos por cada individuo para analizarlos. Estos frutos tenían características homogéneas, estaban libres de enfermedades o daños mecánicos y se trasladaron en un termo plástico al Laboratorio de Calidad de Alimentos de la EECA para los análisis correspondientes.

VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables cuantitativas evaluadas fueron: peso de fruto (kg), diámetro de fruto (cm), longitud de fruto (cm), espesor de pulpa (cm), firmeza de fruto (kg-f), peso de pulpa (kg), peso de cáscara (kg), pH, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Bx), acidez titulable y relación sabor. Las variables cualitativas fueron: forma de la base del fruto, cavidad central y color de pulpa y de cáscara. También se contabilizó el número de frutos por individuo en cada genotipo para tener un dato complementario de producción; sin embargo, esta variable no fue considerada para el análisis estadístico debido a que hubo genotipos con un solo individuo, por lo que solo se reportaron datos promedio.

VARIABLES CUANTITATIVAS

En el Laboratorio de Calidad de Alimentos de la EECA, las variables diámetro de fruto, longitud de fruto y espesor de pulpa se evaluaron con un calibrador digital Mitutoyo, modelo CD-6" CS. La firmeza de la fruta se determinó con un penetrómetro manual Force Gauge, modelo GY-4, con un puntal de 7,50 mm de diámetro. Luego se realizaron dos lecturas en la parte ecuatorial del fruto y los resultados se expresaron en kilogramos fuerza (kg-f) (Sotomayor Correa et al., 2019). Posteriormente, se separó la pulpa del endocarpio (cáscara) y se pesaron los dos componentes por separado; para esto se utilizó una balanza digital Citizen Scale, modelo CG 4102C con precisión de 0,01 g (Sotomayor Correa et al., 2019) y se registraron los resultados en kilogramos. Para medir los sólidos solubles, el pH y la acidez, se homogeneizó la muestra (licuadora convencional) de los tres frutos.

Los sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Bx}$) se midieron utilizando el refractómetro digital marca Hanna Instruments, modelo Hi 96801; el pH se determinó mediante un potenciómetro modelo PT-380 y la acidez titulable se realizó por titulación con hidróxido de sodio al 0,1 % N (Sotomayor Correa et al., 2019) hasta que el pH llegó a 8,1. El valor obtenido se expresó en gramos de ácido cítrico 10/0 cm^3 . La relación sabor se obtuvo a través de la relación entre el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Bx}$) y la acidez titulable del fruto. Las variables anteriores se determinaron con la metodología de análisis oficial de la Association of Official Analytical Chemists (Latimer, 2012).

Variables cualitativas

La forma de la base del fruto y de la cavidad central se caracterizó con la ayuda de los descriptores del International Board for Plant Genetic Resources (1988). El color de la cáscara y la pulpa se determinó mediante la tabla de colores de la Royal Horticultural Society de 2015, que posee cuatro matices: amarillo a rojo, rojo-púrpura a azul, azul-verdoso a amarillo-verdoso y grisáceos. Para esto, parte del fruto y la pulpa se colocaron en el agujero central y se compararon con el matiz señalado. El color seleccionado se rotuló con un número y una letra.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con diferente número de observaciones según la cantidad de individuos por cada genotipo. Se cosecharon tres frutos por individuo de cada genotipo, por lo que el número de observaciones varió desde 3 (genotipos 5 y 8) hasta 63 observaciones (genotipo 3). En consecuencia, los tratamientos estuvieron constituidos por los diferentes genotipos. El análisis de varianza se realizó mediante el modelo lineal generalizado (GLM, por su sigla en inglés) y correlaciones bivariadas de Pearson (coeficiente de correlación $\geq 0,6$). Posteriormente, se realizaron las pruebas de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) de los ocho genotipos.

Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales (CP), que se construyó con la matriz de correlaciones, y se seleccionaron los factores con la regla de Kaiser hasta que el porcentaje de la varianza explicada fuera ≥ 80 % acumulado. Se construyeron gráficos de Biplot para visualizar las correlaciones de los individuos con las variables. Para las agrupaciones, se efectuó un análisis de conglomerados usando distancias euclidianas. De igual manera, se calcularon los valores de Bootstrap para los grupos mayores que se formaron en el dendrograma, con el fin de reducir el sesgo en el análisis y aproximar la varianza a través de remuestreos aleatorios de la muestra inicial y no de la población. Adicionalmente, se aplicó la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) sobre los individuos agrupados. Todos los análisis se realizaron con el *software* SPSS Statistics (International Business Machines Corporation, 2020).

Resultados y discusión

Promedio del número de frutos por individuo

Se registró el número de frutos por individuo para cada genotipo y, aunque esta variable no se incluyó en el análisis estadístico, los resultados promedio se presentan en la figura 2. El individuo 17 del genotipo 2 sobresalió con 179 frutos/planta, seguido de otros 31 individuos que superaron los 50 frutos/planta. El número de frutos por individuo observado en este estudio es superior a los reportados para la papaya Maradol Roja cultivada en Cuba y México, con 41 y 11 frutos/planta, respectivamente (Rodríguez et al., 2014), la Red Lady 786, con 25 frutos/planta (Kaur & Kaur, 2017), la Golden, con 69 frutos/planta (De Souza et al., 2017), la Coimbatore, con 75-80 frutos/planta (Nafiu et al., 2019), la Tainung, con 29-38 frutos/planta (Marmolejo et al., 2019) y la variedad descrita por Vargas Tierras et al. (2018), con 15 a 50 frutos/planta.

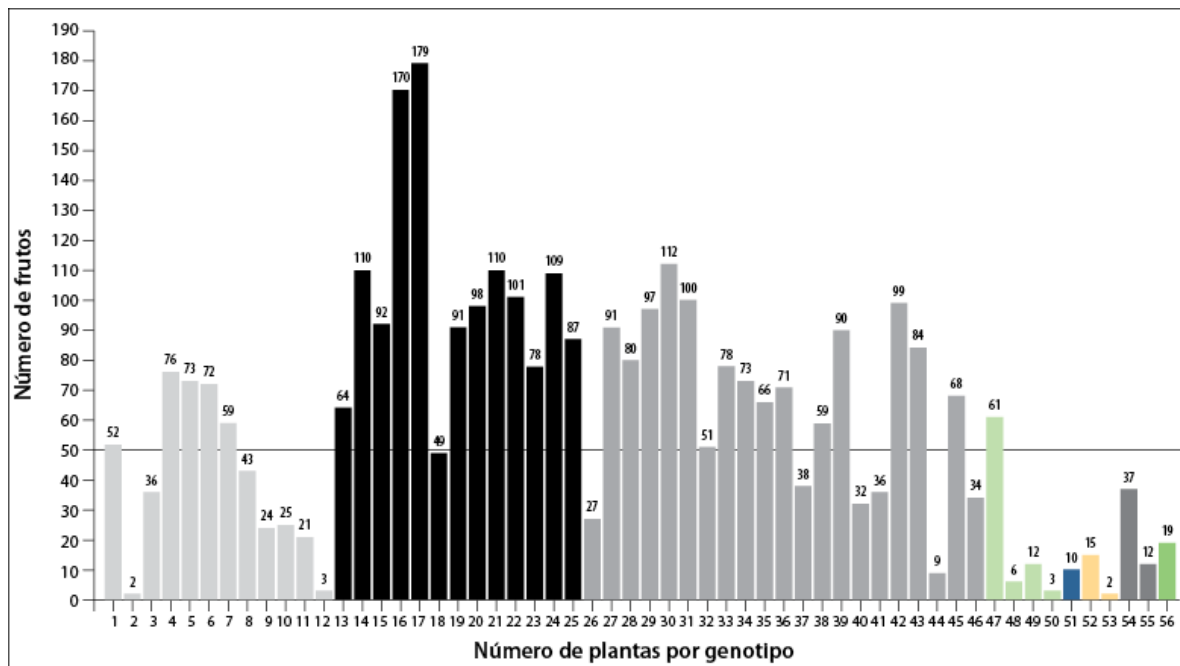


Figura 2. Número de frutos por individuo de los ocho genotipos de papaya provenientes de los cantones Shushufindi y La Joya de los Sachas.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de papaya ($p \leq 0,05$) para las variables cuantitativas (tabla 3).

Tabla 3. Medias para las variables en estudio de los genotipos de papaya provenientes de Shushufindi y La Joya de los Sachas

Variable	Genotipos								R ²	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8		
PF	1,61±0,08 ^b	1,12±0,08 ^b	1,21±0,06 ^b	1,52±0,14 ^b	1,31±0,29 ^b	1,10±0,2 ^b	1,45±0,2 ^b	3,78±0,29 ^a	0,67	21,26
DF	12,81±0,21	11,46±0,49	11,15±0,39	13,61±0,89	14,39±1,78	12,51±1,26	14,23±1,26	14,21±1,78	0,28	14,83
LF	18,36±0,88 ^b	15,87±0,84 ^b	15,53±0,66 ^b	19,75±1,52 ^b	19,34±3,04 ^b	15,30±2,15 ^b	18,07±2,15 ^b	45,74±3,04 ^a	0,68	17,65
EP	4,41±0,49	4,05±0,47	3,14±0,37	4,00±0,84	7,47±1,69	4,17±1,19	5,07±1,19	6,51±1,69	0,22	42,93
FP	2,54±0,26	2,02±0,25	2,06±0,19	1,48±0,45	3,88±0,89	2,34±0,63	1,45±0,63	3,66±0,89	0,21	41,35
P	1,08±0,09 ^b	0,72±0,08 ^b	0,88±0,07 ^b	1,41±0,15 ^b	1,11±0,30 ^b	0,94±0,21 ^b	1,31±0,21 ^b	3,74±0,30 ^a	0,70	30,00
C	0,20±0,02 ^b	0,16±0,02 ^b	0,16±0,01 ^b	0,22±0,03 ^b	0,19±0,06 ^b	0,16±0,04 ^b	0,20±0,04 ^b	0,66±0,06 ^a	0,62	30,44
pH	5,14±0,08 ^{ab}	5,04±0,07 ^b	4,98±0,06 ^b	5,15±0,13 ^{ab}	5,18±0,27 ^{ab}	5,04±0,19 ^b	4,87±0,19 ^b	5,90±0,27 ^a	0,24	5,25
SST	9,70±0,45	10,97±0,43	11,39±0,34	11,48±0,77	11,40±1,54	12,10±1,09	11,50±1,09	10,50±1,54	0,19	14,08
AT	0,21±0,02	0,23±0,02	0,25±0,02	0,18±0,04	0,20±0,08	0,17±0,06	0,17±0,06	0,20±0,08	0,10	36,37
RSF	49,33±7,85	59,42±7,54	54,74±5,93	65,07±13,59	58,35±27,18	77,42±19,22	73,71±19,22	53,74±27,18	0,07	47,73

^{a, b, c} Medias con letras iguales en la fila no difieren estadísticamente (Tukey 0,05). PF: peso de fruto (kg); DF: diámetro de fruto (cm); LF: longitud de fruto (cm); EP: espesor de pulpa (cm); FP: firmeza de fruto (N); P: peso de pulpa (kg); C: peso de cáscara (kg); SST: sólidos solubles totales (°Bx); AT: acidez titulable; RSF: relación sabor del fruto. Se indica el error experimental para cada variable.

Fuente: Elaboración propia

El peso promedio de los frutos de papaya presentó gran variabilidad. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, con pesos de 1,10 a 1,61 kg, y el genotipo 8, con 3,78 kg (tabla 3). De acuerdo con esta característica, los individuos deberían destacarse por su abundante peso; sin embargo, fueron menos pesados que el cultivar Maradol Roja (2,25 kg) (Alonso et al., 2009). Por otro lado, el individuo 56 del genotipo 8 sobresalió por presentar los frutos de mayor peso (3,78 kg) y mostrar diferencias significativas con los demás individuos; este valor superó al cultivar Maradol Roja y al híbrido T1XZM de Costa Rica (Mora & Bogantes, 2004).

El peso del fruto está correlacionado con su tamaño y la demanda depende de los requerimientos de los consumidores. El peso de fruto de los diferentes genotipos en estudio se encuentra dentro de los rangos reportados por la Norma Técnica Ecuatoriana para la papaya Codex Stan 183-1993 (INEN, 2013) en frutos de exportación (0,2 a $\geq 2,0$ kg) (figura 3). En Latinoamérica y Asia, los consumidores prefieren frutos grandes de 1,0-1,5 kg (Alonso et al., 2009; Mora & Bogantes, 2004), mientras otros mercados prefieren frutos del grupo Solo (0,46-0,69 kg) debido a los altos costos de la fruta y el posible desperdicio (Rodríguez et al., 2014).

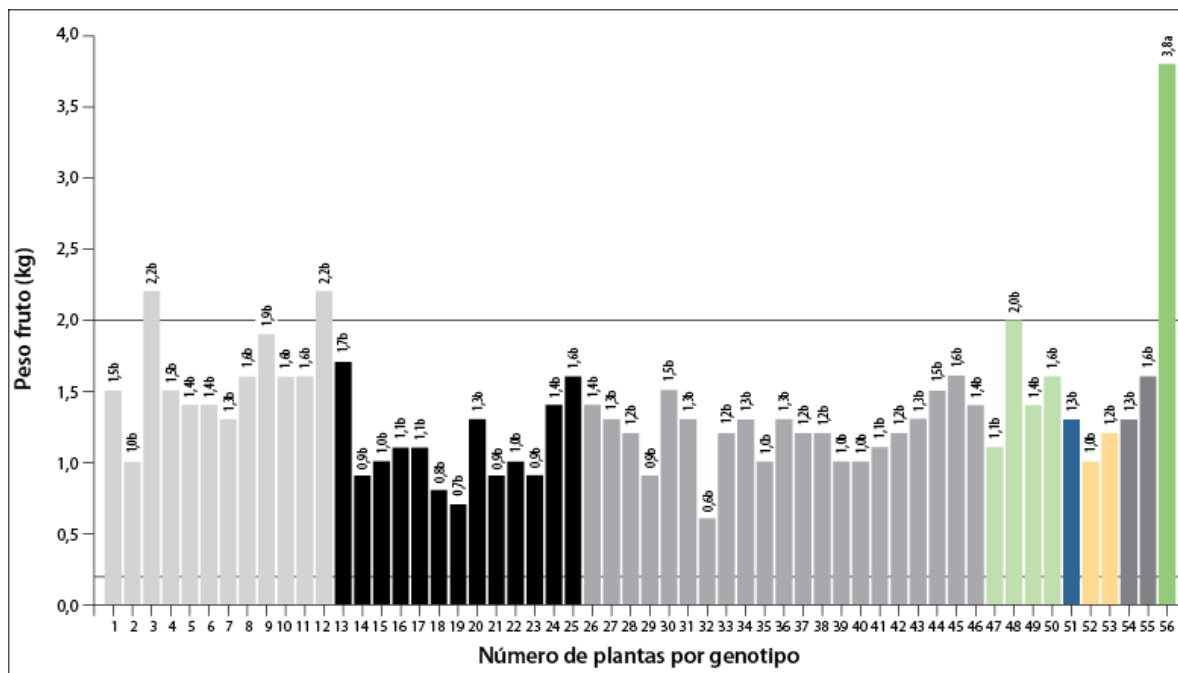


Figura 3. Peso del fruto en individuos de los ocho genotipos de papaya provenientes de los cantones Shushufindi y La Joya de los Sachas.

Nota: La línea sólida (gris) distingue a los individuos de papaya que presentan pesos de fruto acordes con la norma Codex Stan 183-1993 para frutos de exportación (0,2 a $\geq 2,0$ kg).

Fuente: Elaboración propia

El contenido de sólidos solubles totales no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$); sin embargo, el promedio más alto fue de $12,10^{\circ}\text{Bx}$, que corresponde al genotipo 6 (tabla 3). La concentración de azúcar en los individuos de los ocho genotipos varió de $6,80$ a $13,60^{\circ}\text{Bx}$ (figura 5). Los frutos del individuo 4 (genotipo 1) tuvieron la menor concentración de sólidos solubles ($6,80^{\circ}\text{Bx}$), mientras que la mayor concentración de estos azúcares ($>13^{\circ}\text{Bx}$) se registró en los individuos 21 (genotipo 2), 30, 31 y 38 (genotipo 3) (figura 2). Estos últimos valores se consideraron como altos dado que el mercado de exportación recomienda que la concentración de azúcares en los frutos de papaya alcance los $11,5^{\circ}\text{Bx}$ en variedades del grupo Solo (Alcántara et al., 2010; Rodríguez et al., 2014). En este contexto, 24 de los 56 individuos de los genotipos 1, 2, 3, 4, 6 y 7 superaron esta condición (figura 4); sin embargo, Ecuador está exportando frutos con $8-17^{\circ}\text{Bx}$ (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca & Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2015).

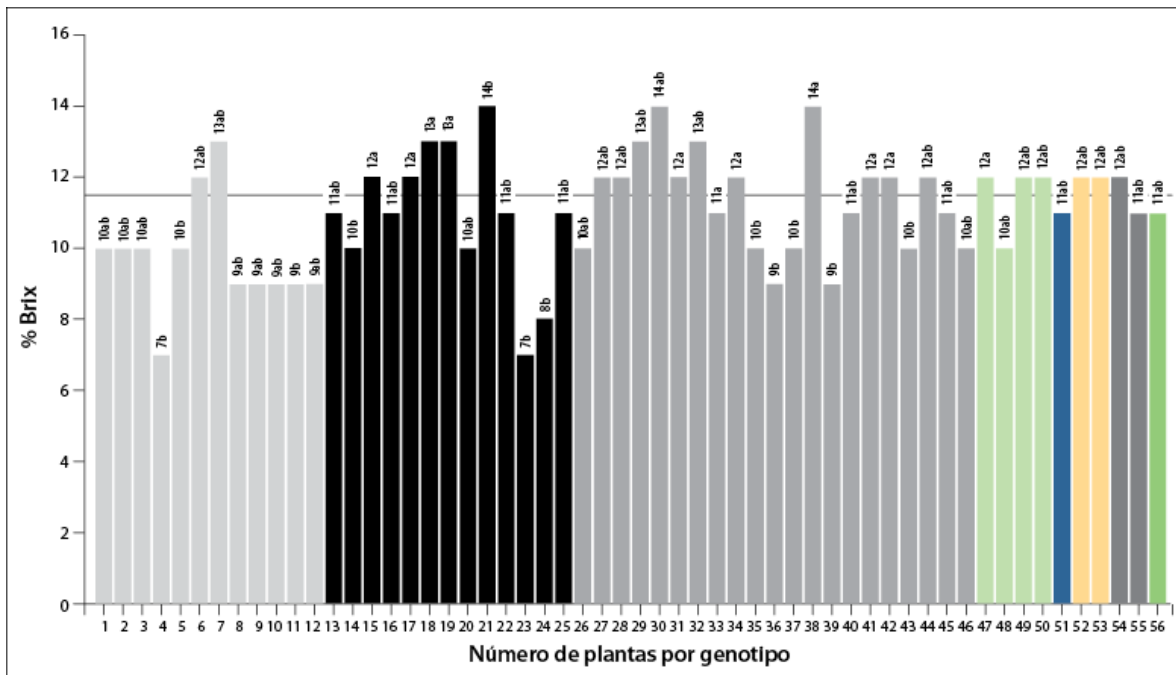


Figura 4. Contenido de sólidos solubles en los individuos de los ocho genotipos de papaya provenientes de los cantones Shushufindi y La Joya de los Sachas.

Nota: La línea sólida (gris) distingue a los individuos con contenidos mayores de 11,5 °Bx. La significación de los individuos es con base en las diferencias estadísticas obtenidas en la formación de grupos del análisis de conglomerados.

Fuente: Elaboración propia

Componentes principales

Los primeros tres componentes principales (CP) explicaron el 84,32 % de la variación total de los genotipos en estudio (tabla 3). Las características asociadas al CP1 fueron peso de cáscara y de pulpa, peso de fruto y pH, con una varianza acumulada del 46 %. En el CP2, el espesor de pulpa y el diámetro de fruto aportaron significativamente a la variación (15,83 %). En el CP3, la acidez titulable y la relación sabor contribuyeron a la variación, mientras en el CP4 resultaron significativos los sólidos solubles totales y la firmeza de fruto (tabla 4).

Tabla 4. Autovectores, autovalores y proporción de la variación explicada de los cuatro primeros componentes principales de las variables en estudio

Características	C1	C2	C3	C4
C	0,94	0,15	0,03	0,09
P	0,91	0,24	-0,00	0,12
PF	0,87	0,34	0,00	0,19
LF	0,83	0,42	0,00	0,12
pH	0,71	-0,37	0,26	-0,03
EP	0,13	0,89	-0,00	-0,04
DF	0,41	0,80	0,02	0,05
AT	-0,14	-0,02	-0,95	-0,06
RSF	-0,03	-0,03	0,93	-0,23
SST (° Bx)	-0,08	-0,11	0,12	-0,83
FP	0,13	-0,10	-0,02	0,81
Autovalor	4,63	2,06	1,48	1,09
Variación explicada (%)	42,12	18,78	13,51	9,91
Variación acumulada (%)	42,12	60,89	74,40	84,32

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. PF: peso de fruto (kg); DF: diámetro de fruto (cm); LF: longitud de fruto (cm); EP: espesor de pulpa (cm); FP: firmeza de fruto (N); P: peso de pulpa (kg); C: peso de cáscara (kg); SST: sólidos solubles totales (°Bx); AT: acidez titulable; RSF: relación sabor del fruto.

Fuente: Elaboración propia

El individuo 56 (genotipo 8) obtuvo los mejores resultados para las variables peso de fruto (3,78 kg), longitud de fruto (45,74 cm), peso de pulpa (3,74 kg) y peso de cáscara (0,66 kg). Del mismo modo, los individuos 3 y 12 (genotipo 1) sobresalieron en las variables longitud de fruto (18,63 cm) y espesor de pulpa (4,59 cm) (figura 5).

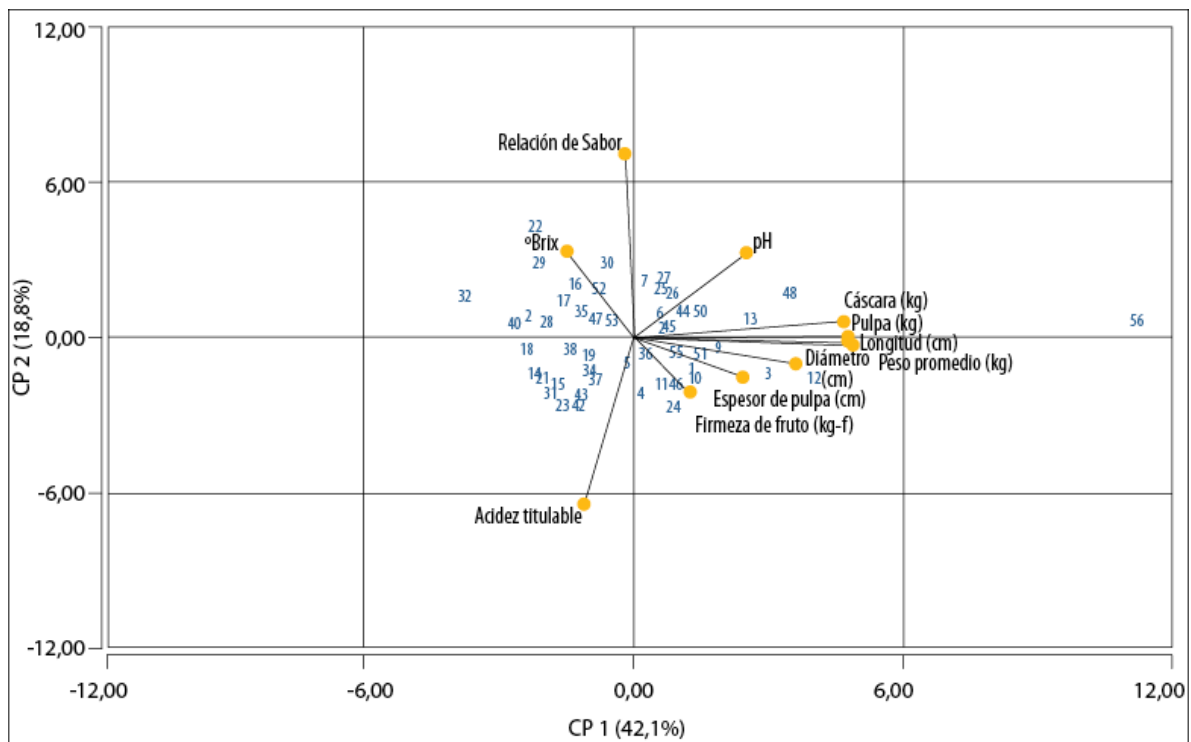


Figura 5. Biplot de 56 individuos de los ocho genotipos de papaya con los dos primeros componentes principales de las variables en estudio.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de conglomerados a partir de las variables permite identificar los cuatro grupos representados en el dendrograma tomando como base el punto medio de la distancia euclidiana (Di Rienzo et al., 2008).

La técnica de remuestreo denominada *Bootstrapping* se emplea en estadística cuando las muestras sucesivas se extraen de la muestra del estudio y no de la población originaria. El procedimiento sigue una serie de pasos repetitivos para obtener el estadístico deseado y se utiliza como estimador de la población (Hesterberg et al., 2003). En el presente estudio, el valor Bootstrap varió de 18,0 % a 66,0 % de certeza en la formación de los grupos (figura 6).

El primer grupo incluyó solo el individuo 22 del genotipo 2 y se diferenció de los otros cuatro grupos porque los frutos fueron más pequeños. El segundo grupo se formó con ocho individuos: 7 del genotipo 1; 16 y 25 del genotipo 2; 27, 29 y 30 del genotipo 3; 52 del genotipo 6, y 54 del genotipo 7, los cuales registraron la mayor concentración de sólidos solubles (>11,5 °Bx). El tercer grupo se conformó por 22 individuos: 1, 3, 4, 5, 9, 10, 11 y 12 del genotipo 1; 14, 15, 21, 23 y 24 del genotipo 2, y 31, 33, 34, 37, 39, 41, 42, 43 y 46 del genotipo 3, que presentaron una mayor firmeza de fruto. El grupo cuatro fue integrado por 25 individuos: 2, 6 y 8 del genotipo 1; 13, 17, 18, 19 y 20 del genotipo 2; 26, 28, 32, 35, 36, 38, 40, 44 y 45 del genotipo 3; 47, 48, 49 y 50 del genotipo 4; 51 del genotipo 5, 53

del genotipo 6, 55 del genotipo 7, y 56 del genotipo 8; estos individuos se destacaron por presentar mayor peso de pulpa (tabla 5).

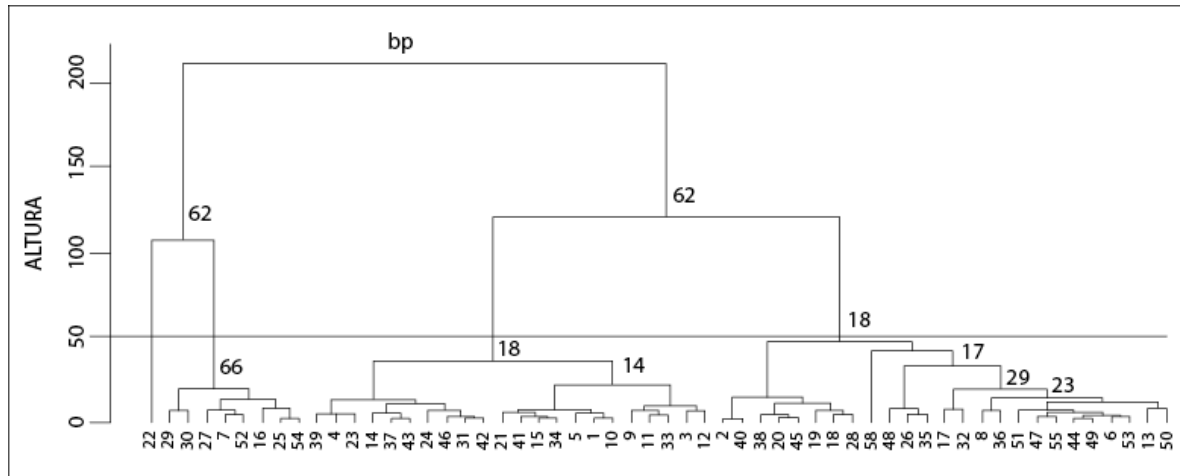


Figura 6. Dendrograma de clasificación de 56 individuos de los ocho genotipos de papaya con base en las variables estudiadas mediante el algoritmo de varianza mínima de Ward y la distancia métrica euclidiana. Los valores *bp* en los ramales de los grupos mayores indican el resultado del Bootstrapping. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Medias de las variables cuantitativas y análisis discriminante de los grupos formados por los individuos de los ocho genotipos de papaya

Grupo	1	2	3	4	R ²	CV (%)	Sig.
PF	0,96	1,26	1,37	1,37	0,02	35,26	0,790
DF	9,96	11,73	12,08	12,14	0,03	16,54	0,718
LF	14,65	16,09	16,98	17,86	0,02	29,79	0,783
EP	4,99	3,64	4,09	3,82	0,02	46,27	0,849
FP	1,44	1,90	2,44	2,02	0,07	43,21	0,296
P	0,29	0,93	0,96	1,07	0,05	50,89	0,447
C	0,06	0,18	0,17	0,20	0,07	46,13	0,314
pH	4,99	5,14	4,94	5,13	0,11	5,43	0,095
SST	11,30	12,20	10,12	11,25	0,21	13,39	0,006
RSF	173,52 ^a	93,63 ^b	34,99 ^d	59,83 ^c	0,93	12,98	0,000
AT	0,07 ^c	0,13 ^{bc}	0,29 ^a	0,19 ^b	0,66	21,42	0,000

^{a, b} Medias con letras iguales en la columna no difieren estadísticamente (Tukey 0,05). PF: peso de fruto (kg); DF: diámetro de fruto (cm); LF: longitud de fruto (cm); EP: espesor de pulpa (cm); FP: firmeza de fruto (N); P: peso de pulpa (kg); C: peso de cáscara (kg); SST: sólidos solubles totales (°Bx); AT: acidez titulable; RSF: relación sabor del fruto.

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las variables que resultaron más importantes en la formación de los grupos y que aportaron a la diferenciación de individuos, se realizó el análisis discriminante y se verificó que existía un efecto diferenciado en los cuatro grupos de papaya formados según las variables evaluadas (Lambda de Wilks = 0,008; $p = 0,000$) (tabla 5).

Las variables relación sabor y acidez titulable ($p \leq 0,000$) fueron altamente significativas y la de sólidos solubles totales ($p = 0,002$) fue significativa para diferenciar los grupos de individuos que se formaron de los ocho genotipos. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Hernández-Salinas et al. (2019).

Al analizar las variables cualitativas, se encontró que el grupo 1 estaba constituido únicamente por el individuo 22 del genotipo 2, que presentó frutos con forma de base deprimida y cavidad estrellada. El grupo 2 se formó por ocho individuos de los genotipos 1, 2, 3 y 7, cuyos frutos tuvieron una forma de base deprimida en un 88 % e inflada en un 12 %. Además, en este grupo, la forma de la cavidad central del fruto fue redonda (38 %), estrellada (37 %) y ligeramente estrellada (25 %). Los frutos del grupo 3, compuesto por los individuos de los genotipos 1, 2 y 3, presentaron una base deprimida (46 %), aplanada (36 %) y puntiaguda e inflada (18 %). En este grupo, el 32 % de los frutos mostraron una cavidad ligeramente estrellada, el 32 % una cavidad circular o redondeada, el 22% una cavidad angular y el 14 % una cavidad central estrellada.

El grupo 4, que incluyó individuos de los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, produjo frutos con base en forma deprimida (68 %), aplanada (16 %) e inflada (16 %). Los frutos de estos individuos presentaron cavidades de forma circular (40 %), ligeramente estrellada (20 %), angular (20 %) y varias formas como estrellada e irregular (20 %). La forma circular, que predominó en todos los grupos, es la más apreciada por los consumidores y la agroindustria porque facilita la extracción de las semillas, genera menor pérdida de pulpa y disminuye los costos operativos del proceso (Mora & Bogantes, 2004; Rodríguez et al., 2014).

El color de cáscara y pulpa en los frutos de los cuatro grupos de papaya se clasificó en la categoría orange group N-25, C y D (anaranjadas). La intensidad del color de pulpa y de cáscara se relaciona con la acumulación de caroteno, atributo importante en la percepción del consumidor. Rodríguez et al. (2014) informaron que el color es el factor que determina la aceptación de la fruta en mercados nacionales e internacionales y los consumidores prefieren frutos de pulpa anaranjada oscura. Sin embargo, los cultivares de pulpa amarilla también son aceptados en el mercado nacional e internacional (Rodríguez et al., 2014).

Conclusiones

Los resultados del estudio permitieron identificar diez individuos elite (6, 15, 19, 27, 28, 29, 32, 34, 38 y 42), que presentaron un contenido alto de sólidos solubles totales (12-13 °Bx) y 51-97 frutos/planta. Estos individuos deberían conservarse en el banco de germoplasma y multiplicarse con el propósito de estudiar su potencial morfoagronómico y su resistencia/tolerancia a plagas en zonas aledañas de

crecimiento que faciliten su conservación *in situ*. Los individuos seleccionados permitirán generar programas de mejoramiento en este frutal, que tiene buena demanda a nivel nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores, por entregar la fruta para desarrollar este estudio, a los agrónomos del Programa de Fruticultura de la Estación Experimental Central de la Amazonía, y al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, por el financiamiento de esta investigación.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Alcántara, J., Hernández, E., Ayvar, S., Nava, A., & Brito, T. (2010). Características fenotípicas y agronómicas de seis genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) de Tuxpan, Guerrero, México. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 35-46. <https://sites.google.com/site/1rvcta/v1-n1-2010/r3>
- Alonso, M., Tornet, Y., Aranguren, M., Ramos, R., Rodríguez, K., & Pastor, M. C. R. (2008). Caracterización de los frutos de cuatro cultivares de papaya del grupo solo, introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 169-175. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6764/6451>
- Alonso, E., Tornet, Q., Ramos, R., Farrés, A., Aranguren, G., & Rodríguez, M. (2008). Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 333-339. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n3/v34n3a8.pdf>
- Alonso, M., Tornet, Y., Ramos, R., Farrés, E., & Rodríguez, D. (2009). Evaluación de híbridos de papaya introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 267-274. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6725/6413>
- Bogantes, A., Mora, E., Umaña, G., & Loría, L. (s. f.). *Guía para la producción de la papaya en Costa Rica*. <https://bit.ly/34eZPbp>
- Cruz, M., & Portal, O. (2010). Estrategias para la obtención de plantas transgénicas de papaya con resistencia al *Virus de la mancha anular de la papaya* (PRSV). *Biotecnología Vegetal*, 10(4), 195-207. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/287/261>
- De Souza, F., Tesch, K., Dousseau, S., & Moreira, S. (2017). Productivity and quality of Formosa and Solo papaya over two harvest seasons. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(8), 599-606. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800005>

- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, C. (2008). *InfoStat* (Versión 2008) [Software]. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba.
- Gonçalves de Oliveira, J., & Vitória, A. (2011). Papaya: nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*, 44(5), 1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.035>
- Granja, M. (2019, enero 2). *Frutas exóticas ecuatorianas en mercados internacionales*. Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones. <https://corpei.org/2019/01/02/frutas-exoticas-ecuatorianas-en-mercados-internacionales/#>
- Hernández-Salinas, G., Soto-Estrada, A., García-Pérez, E., Pérez-Vázquez, A., Rocandio-Rodríguez, M., & Córdova-Téllez, L. (2019). Variación morfológica *in situ* de *Carica papaya* L. nativa de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1), 47-55. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-1/6a.pdf>
- Hesterberg, T., Monaghan, S., Moore, D., Clipson, A., & Epstein, R. (2003). *Bootstrap methods and permutation test*. W. H. Freedman and Company. <https://statweb.stanford.edu/~tibs/stat315a/Supplements/bootstrap.pdf>
- Honoré, M. N., Belmonte-Ureña, L. J., Navarro-Velasco, A., & Camacho-Ferre, F. (2019). The production and quality of different varieties of papaya grown under greenhouse in short cycle in continental Europe. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1789. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101789>
- Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. (2015). *Análisis sectorial papaya 2015*. <https://bit.ly/2EQCQz>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). *Norma para la papaya (Codex Stan 183-1993, MOD)*. Pub. L. No. NTE INEN 2788. <https://bit.ly/3l18Mf9>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2018). *Estadísticas agropecuarias. Información estadística. Tabulados*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- International Board for Plant Genetic Resources. (1988). *Descriptors for papaya*. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/150.pdf
- International Business Machines Corporation. (2020). *SPSS Statistics* (version 22.0) [Software]. IBM Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-220-available-download>
- Kaur, K., & Kaur, A. (2017). A study on the performance of vegetative characters and yield of papaya cv. Red Lady 786 under open and protected conditions. *International Journal of Development Research*, 7(9), 15150-1153. <https://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/10110.pdf>
- Latimer, G. (Ed.). (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (19th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Marmolejo, D., Santa-Catarina, R., Florio, J., Cancela, H., Pio, A., & Gonzaga, M. (2019). Development of superior lines of papaya from the Formosa group using the pedigree method and REML/Blup procedure. *Bragantia*, 78(3), 350-36. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.20180253>

- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca & Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro. (2015). *Buenas prácticas agrícolas para papaya. Resolución Técnica N.º 0049*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu167503.pdf>
- Mora, E., & Bogantes, A. (2004). Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 15(1), 39-44 <https://doi.org/10.15517/am.v15i1.11927>
- Nafiu, A., Alli-Oluwafuyi, A., Haleemat, A., Olalekan, I., & Rahman, M. T. (2019). Chapter 3.32 - Papaya (*Carica papaya* L., Pawpaw). En S. M. Nabavi & A. S. Silva (Eds.), *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements* (pp. 335-359). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00048-5>
- Poma-Copa, M. P., & Usca-Tiuquinga, M. R. (2020). Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana. *Revista Científica FIPCAEC*, 5(5), 3-26. <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v5i5.183>
- Rodríguez, J., Díaz, Y., Pérez, A., Cruz, Z., & Rodríguez, P. (2014). Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 36-44. <http://dx.doi.org/10.1234/ct.v35i3.892>
- Sotomayor Correa, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Physical chemical evaluation of pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus*) in different development stages. *Enfoque UTE*, 10(1), 89-96. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.386>
- Umaña, G., Loría, C., & Gómez, J. (2011). Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de papaya híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 61-73. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6679>
- Vargas Tierras, Y., Prado-Beltrán, J., Nicolalde-Cruz, J., Casanoves, F., Virginio-Filho, E., & Viera-Arroyo, W. (2018). Caracterización y rol de los frutales amazónicos en fincas familiares en las provincias de Sucumbíos y Orellana (Ecuador). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 485-499. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num3_art:812
- Vázquez, E., Mata, H., Ariza, R., & Santamaría, F. (2010). *Producción y manejo postcosecha de papaya Maradol en la Planicie Huasteca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias; Centro de Investigación Regional del Noreste. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/855.pdf>