

Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de parentales e híbridos de lulo de Castilla

Evaluation of the yield and fruit quality of parental and hybrids of lulo de Castilla

Liz K. Lagos-Santander¹; Tulio César Lagos-Burbano²; David Esteban Duarte-Alvarado³;
Hernando Criollo-Escobar⁴; Néstor F. Angulo-Ramos⁵

¹Ing. Agrónoma, M.Sc. Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: lkagoss@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9932-0909>

²Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: tclago3@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

³Ing. Agrónomo. Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: david890223@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8896-3594>

⁴Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: hcriolloescobar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8690-4486>

⁵Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad de Nariño. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: nefelan@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0589-3330>

Cómo citar: Lagos-Santander, L.K.; Lagos-Burbano, T.C.; Duarte-Alvarado, D.E.; Criollo-Escobar, H.; Angulo-Ramos, N.F. 2019. Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de parentales e híbridos de lulo de Castilla. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(2):e1344. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1344>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Recibido: Agosto 8 de 2018

Aceptado: Agosto 23 de 2019

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Solanum quitoense es una planta de gran relevancia para emprender proyectos productivos con fines de exportación, como frutal exótico o para la industria. Su importancia radica en la posibilidad de aportar al desarrollo de los productores de la región andina, debido a que el lulo es demandado en el mercado por su sabor, aroma, propiedades nutritivas y organolépticas. A pesar de su importancia, esta especie presenta deficiencias tecnológicas, entre las cuales, se destaca la falta de cultivares mejorados, que permitan garantizar mayores rendimientos y calidad de fruta y establecer su eficiencia agronómica, a través de diferentes ambientes. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del rendimiento y de las variables relacionadas con la fruta, en poblaciones de lulo de Castilla. Se utilizaron ocho parentales y 10 híbridos. En los

municipios de La Florida y Buesaco, ubicados en el departamento de Nariño, se establecieron dos ensayos, bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones. La interacción genotipo por ambiente fue significativa para el peso de fruto (PF), diámetro ecuatorial, sólidos solubles totales, contenido de jugo y rendimiento (RTO). En La Florida, B1, B2, B3, B4xB5 y B2XLaSelva fueron los de mejor comportamiento en cuanto a RTO, con promedios entre 6,64 a 9,35t.ha⁻¹ y PF, con 143 a 167g, en su orden. En Buesaco, se destacaron B1 y B2xB8 con RTOs de 7,72 y 9,43t.ha⁻¹ y PF, entre 92,03 y 112,97g, promedios que están por encima del promedio regional y son la base para mejorar estas características.

Palabras clave: *Solanum quitoense*; rendimiento; peso de fruto; índice de selección; interacción genotipo ambiente.

ABSTRACT

Solanum quitoense is a plant of great relevance to undertake productive projects for export as an exotic fruit or for industry. Its importance lies in the possibility of contributing to the development of producers in the Andean region, because the lulo is demanded in the market for its flavor, aroma, nutritional and organoleptic properties. Despite its importance, this species has technological deficiencies, among which, the lack of improved cultivars that guarantee greater yields and fruit quality and establish its agronomic efficiency through different environments is highlighted. The objective of this work was to evaluate the performance of the yield and traits related to the fruit in populations of lulo de Castilla. Eight parents and 10 hybrids were used. In the municipalities of La Florida and Buesaco located in the department of Nariño, two trials were established under a Randomized Complete Blocks design with three repetitions. Genotype interaction by environment was significant for fruit weight (FP), equatorial diameter, total soluble solids, juice content and yield (RTO). In La Florida, B1, B2, B3, B4xB5 and B2XLaSelva were the best performers in terms of RTO with averages between 6.64 to 9.35t.ha⁻¹ and PF with 143 to 167g, in order. In Buesaco, B1 and B2xB8 stood out with RTOs of 7.72 and 9.43t.ha⁻¹, PF between 92.03 and 112.97g, averages that are above the regional average and are the basis for improving these characteristics.

Keywords: *Solanum quitoense*; yield; fruit weight; selection index; genotype environment interaction.

INTRODUCCIÓN

El lulo *Solanum quitoense* es una fruta con potencial nutritivo considerable (Gancel *et al.* 2008) y apetecido por los mercados nacionales e internacionales, gracias a sus propiedades organolépticas. En este sentido, las exportaciones de la fruta crecieron de 27,88t, para el 2016, a 33,35t, para el 2017, con una participación menor al 0,01% del valor de todas las frutas exportadas por el país (ANALDEX, 2019).

Por otro lado, en los últimos años, el área de siembra, la producción y el rendimiento en el departamento de Nariño, han disminuido. Según AGRONET (2019), en 2007, se sembraban 515,5ha, las cuales, se redujeron en 2016, a 484,5ha, representando una disminución en área sembrada del 6,01%. En el 2017, la producción y el rendimiento de lulo fueron de 2823,5t y 5,48t.ha⁻¹, en su orden. Para el 2016, estas variables presentaron una disminución del 16,93 y 11,61%, consecutivamente. Esto se debe, al abandono del cultivo por los agricultores (Lagos *et al.* 2015), causado, principalmente, por problemas fitosanitarios limitantes, como el pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* (Díaz & Brochero, 2012) y las enfermedades radiculares *Fusarium oxysporum* y *Meloidogyne incognita* (Polanco *et al.* 2018).

En cuanto a material de siembra, en el país existe una oferta limitada de cultivares mejorados con tolerancia a los problemas sanitarios más limitantes de la producción; se destaca el cultivar La Selva (Franco *et al.* 2002), por su tolerancia a *Fusarium oxysporum*; éste, a pesar de su calidad industrial, tiene baja adopción del sur del país, debido

a los requerimientos de los compradores de fruta fresca, que fijan el precio por tamaño y por su alta tendencia al rajado, que lo hace muy delicado al transporte.

El material genético de lulo disponible para Colombia ha sido colectado en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Huila, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Santander, Tolima y Valle del Cauca, el cual, carece de datos de pasaporte publicados. La conservación de esta semilla, la realiza el sistema de Bancos de germoplasma de la Nación Colombiana para alimentación y Agricultura, a cargo de Agrosavia, que posee accesiones de las especies de *S. quitoense*, *S. hirtum*, *S. pseudolulo*, *S. vestissimum*, *S. pectinatum*, *S. sessiliflorum*, *S. stramonifolium* y *S. ferox*; pertenecientes a la sección Lasiocarpa. Los trabajos que se han desarrollado sobre estos materiales, se han conducido hacia la caracterización y la evaluación de variabilidad y ampliación de la misma, a través de la obtención del único material mejorado “La Selva”, que posee características, tales como ausencia de espinas, hábito de crecimiento erecto, cuajamiento elevado de frutos, entre otras (Medina *et al.* 2009).

Como parte de los procesos de premejoramiento, se destaca la domesticación y la ampliación de la base genética del taxón, realizada por Lobo Arias *et al.* (2007), quienes domesticaron y evaluaron la adaptación de cruzamientos interespecíficos entre *S. hirtum* y *S. quitoense*, con retrocruzamientos hacia *S. quitoense*.

Hay que mencionar, además, que a nivel nacional se han caracterizado, morfológica y molecularmente, materiales de lulo. En este sentido, se destacan los trabajos realizados por Morillo-Coronado *et al.* (2017) y Morillo *et al.* (2019), quienes reportaron la existencia de diversidad genética para los materiales genéticos evaluados. Estos trabajos, se realizaron con el objetivo de apoyar los programas de mejoramiento genético de la especie, por su importancia económica, en varias regiones del país.

Lagos *et al.* (2015) evaluaron un ciclo de selección recurrente de familias de medios hermanos de lulo, logrando incrementar el rendimiento, peso de fruto y contenido de jugo, caracteres de importancia económica, que determinan el potencial de la fruta en el mercado.

Si bien los aportes antes mencionados son de gran importancia para el desarrollo del cultivo, la falta de esquemas de mejoramiento genético en lulo, no ha permitido obtener soluciones a largo plazo. Por consiguiente, se debe incrementar la productividad y la sostenibilidad del cultivo de lulo, a partir de una línea estratégica de generación y evaluación de germoplasma para producir variedades, clones, líneas e híbridos con alta adaptación y buen rendimiento, para el sur occidente de Colombia.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del rendimiento y de variables relacionadas con la fruta en parentales e híbridos de lulo de Castilla, bajo condiciones de la región natural Andina, de los municipios de la Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de cruzamientos, se desarrolló bajo invernadero en el Centro Experimental Botana, localizado en el municipio de Pasto, a 2.700m s.n.m. Los ensayos de campo, se realizaron en fincas de agricultores, en los municipios de La Florida y Buesaco, a 1.873 y 2.120m s.n.m., respectivamente. En La Florida, se ubicó a 01°24'7,4"LN, 77°19'0,1"LO, con temperatura promedio de 19°C, humedad relativa del 70 al 78%, precipitación anual de 2.500mm y un suelo de textura arcilloso arenosa. El ensayo de Buesaco, se localizó a 01°23'30,7"LN, 77°10'54,1"LO, con temperatura promedio entre 10 a 15°C, humedad relativa superior al 70%, precipitación anual 2.000mm y suelo de textura arenosa.

Material vegetal. Se evaluaron ocho parentales y 10 híbridos obtenidos por el GPFA, teniendo en cuenta características como: tamaño de fruto, propiedades organolépticas y sanidad. Los parentales evaluados fueron: Heberth (B1), Larga Vida (B2), Tucelabu (B3), San Francisco Putumayo (B4), La Selva Matituy (B5), LC Río Negro (B6), SQCE (*S. quitoense* con espinas-B7) y SQSE (*S. quitoense* sin espinas-B8). Las características más sobresalientes de estos ocho parentales, se describen en la tabla 1. Los híbridos obtenidos del cruzamiento fueron B1 x B5, B1 x B6, B1 x B8, B2 x B5, B2 x B6, B2 x B7, B2 x B8, B3 x B6, B4 x B5 y B2 x La Selva.

Tabla 1. Características principales de ocho parentales de lulo de Castilla *S. quitoense*.

Material genético	ID	PF	EP	DE	NSF	AC	SST	RPP
Heberth	B1	108,08	4,40	4,92	3537.2	2,91	11,05	5,52
Larga Vida	B2	108,50	4,47	4,79	3857.1	3,19	10,34	5,79
Tucelabu	B3	80,73	4,11	4,58	1926.7	4,01	9,93	5,48
SFP	B4	59,90	4,01	4,50	1304.8	3,23	10,63	4,50
LS Matituy	B5	47,55	4,00	4,32	1593.1	3,56	9,48	5,48
LC Río Negro	B6	13,36	4,00	4,33	765.5	3,44	11,04	9,00
SQCE	B7	60,57	4,24	4,56	1568.1	3,06	10,99	4,50
SQSE	B8	54,31	3,50	4,00	1380.3	3,48	9,86	4,50

SFP = San Francisco Putumayo; LS = La Selva; LC = lulo de Castilla; ID = identificación; PF = peso de fruto en g; EP = eje polar en mm; DE = diámetro ecuatorial del fruto en mm; NSF = número de semillas por fruto; AC = ácido cítrico en mm; SST = sólidos solubles totales en °Brix, RPP = rendimiento por planta en kg/año.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de BCA, con tres repeticiones y 18 tratamientos, correspondientes a los 8 parentales y 10 híbridos mencionados. La parcela experimental correspondió a un surco de tres plantas sembradas a 2,5m entre sí. La distancia entre parcelas fue de 2,5m, para un área total de 18,75m². El área útil estuvo conformada por dos plantas centrales, con un área de 12,5m².

Variables evaluadas. Se registró el peso del fruto (PF) en g, con base en 20 frutos de color tres (ICONTEC, 2002); el diámetro ecuatorial (DE) en mm, medido en diez frutos tomados al azar; el número de semillas por fruto (NSF) de tres muestras de 20 frutos tomados al azar en la tercera cosecha; los sólidos solubles totales corregidos (SSTc), se determinaron teniendo en cuenta el protocolo NTC 5093 (ICONTEC, 2002); el contenido de jugo (CJ) en ml/fruto y el rendimiento (RTO), en t.ha⁻¹.

Análisis de la información. Las variables evaluadas, se sometieron a los Análisis de Varianza (ANDEVA) combinado y análisis de correlación de Pearson. El modelo estadístico utilizado en esta investigación es mixto, donde los materiales genéticos fueron de efecto fijo y los sitios de efecto aleatorio. Para la selección de los tratamientos, se empleó un índice de selección (IS) por localidad, con datos estandarizados. Se calculó el IS, mediante la sumatoria de los productos de los valores normalizados de cada variable (V) y el peso ponderado (P). En seguida, se muestran los P de cada variable:

V	PF	DE	NSF	SSTc	CJ	RTO
P	0,15	0,15	-0,4	0,2	0,2	0,7

Para el análisis de la interacción genotipo por ambiente, se utilizó el modelo de estabilidad fenotípica de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa AMMI (Zobel *et al.* 1988; Gauch, 1988), el cual, explica, inicialmente, los efectos principales de genotipos y de ambientes, mediante el ANDEVA combinado y, posteriormente, describe la parte no aditiva, correspondiente a la interacción genotipo x ambiente, por medio de un análisis multivariado de componentes principales (Crossa *et al.* 1990). El modelo AMMI es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{in} \delta_{jn} + \rho_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente y repetición k-ésima. Los parámetros aditivos corresponderán a μ = promedio general; α_i = son las desviaciones medias del genotipo (media del genotipo i-ésimo menos el promedio general); β_j = desviaciones promedias del ambiente j-ésimo. Los parámetros multiplicativos corresponderán a: λ_n = valor singular o propio (autovalor) del eje n del ACP; γ_{in} = es el efecto multiplicativo, debido al genotipo i-ésimo respecto del eje n; δ_{jn} = efecto multiplicativo del ambiente j para el eje n; ρ_{ij}: residuo del modelo AMMI, n = es el número de ejes del ACP retenidos en el modelo y ε_{ijk}: término del error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANDEVA combinado (Tabla 2) muestra que, para las variables estudiadas, la interacción localidad x genotipo (ILG) es significativa, con excepción del número de semillas por fruto (NSF), que mostró diferencias significativas entre materiales genéticos; esto indica, que la expresión de las variables analizadas en los materiales genéticos de lulo (MG), a través de localidades, es diferencial, es decir, la interacción genotipo por ambiente ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente (Lozano-Ramírez *et al.* 2015).

Con base en el IS, en La Florida, se seleccionaron los híbridos B1xB6, B2xB5, B4xB5 y B2xLaSelva y los parentales B1, B2 y B3, cuyos IS oscilaron entre 0,12 y 1,44. En Buesaco, el híbrido B2xB8 (IS = 2,86) y el parentales B1 (IS = 0,98) fueron los de mejor comportamiento en las características evaluadas (Tabla 3).

Los rendimientos de los MG seleccionados oscilaron entre 6,64 a 10,75t.ha⁻¹, con una media de 7,96t.ha⁻¹, en La Florida y de 8,58t.ha⁻¹, en Buesaco. Si se tiene en cuenta que la media general en La Florida fue de 5,03t.ha⁻¹ y en Buesaco de 3,14t.ha⁻¹ (Tabla 3), las fracciones seleccionadas (FS) superaron a estas medias, en 2,93t.ha⁻¹ y

Tabla 2. Cuadrados medios del ANDEVA para el peso de fruto en g (PF); diámetro ecuatorial del fruto en mm (DE); número de semillas por fruto (NSF); sólidos solubles totales corregidos en °Bx (SSTc); contenido de jugo en mm/fruto (CJ) y rendimiento en t.ha⁻¹ (RTO), evaluados en 18 materiales genéticos de *S. quitoense*, a través de La Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

FV	GL	PF	DE	NSF	SSTc	CJ	RTO
Loc	1	63512,69*	5,24*	41416752.8*	0,53	2564,25*	96,48*
Rep (Loc)	4	1600,65*	0,04	5330747.13*	1,06	300,86	1,43
Gen	17	4004,91	0,57	5041220.96*	1,62	817,08	20,86
Loc x Gen	17	4271,26*	0,65*	2624825.48	3,08*	810,26*	19,65*
Error	68	570,76	0,10	1735184.3	1,32	331,56	0,90
CV (%)		32,71	7,02	61.78	11,13	26,88	23,26
Media		73,04	4,57	2132.2	10,31	67,74	4,08

CV = coeficiente de variación* = significancia a un $\alpha < 0,05$; Loc = localidad; Rep = repetición; Gen = genotipos o material genético

Tabla 3. Peso de fruto en g (PF); diámetro ecuatorial del fruto en mm (DE); número de semillas por fruto (NSF); sólidos solubles totales corregidos en °Bx (SSTc); contenido de jugo en mm/fruto (CJ); rendimiento en t/ha (RTO) e índice de selección (IS) de materiales genéticos de lulo, escogidos en La Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

Localidad	MG	PF	DE	NSF	SSTc	CJ	RTO	IS
La Florida	B1XB6	142,96*	4,73	3055.82	9,42	74,58	6,93	0,12
La Florida	B2xB5	167,03*	4,46	3138.93	11,37*	84,17	7,74	0,80
La Florida	B4xB5	131,81	4,54	2659.08	10,71	103,33*	9,35*	1,34
La Florida	B2XLaSelva	117,55	4,64	1899.53	9,99	61,25	10,75*	1,44
La Florida	B1	124,12	4,83	3537.24	12,44*	85,83	6,99	0,64
La Florida	B2	138,69	4,81	3857.07	10,92	89,58	6,64	0,17
La Florida	B3	148,37*	4,86	1926.68	9,42	67,92	7,30	0,69
MFS		138,65	4,69	2867,76	10,61	80,95	7,96	
MMG		97,29	4,35	2132,18	10,38	72,62	5,03	
DE		44,65	0,58	916,63	0,93	21,75	2,88	
MMG+DE		141,94	4,93	814,92	11,31	94,36	7,91	
Mín. FNS		20,98	3,04	765,51	8,71	26,25	1,01	
Máx. FNS		128,66	4,95	2830,4	10,88	95,00	5,68	
Localidad	MG	PF	DE	NSF	SSTc	CJ	RTO	IS
Buesaco	B2xB8	112,97*	5,23*	2671,06	10,56	83,75*	9,43*	2,86
Buesaco	B1	92,03*	5,01	1899,53	9,65	61,77	7,72*	0,98
MFS		102,5	5,12	2285,29	10,11	72,76	8,58	
MMG		48,79	4,79	2132,18	10,24	62,87	3,14	
DE		27,66	0,27	916,63	0,83	8,33	2,28	
MMG+DE		76,45	5,06	814,92	11,07	71,21	5,42	
Mín. FNS		11,49	4,31	765,51	8,12	49,58	0,55	
Máx. FNS		84,43	5,28	2830,4	11,28	70,83	4,47	

* = Diferencias significativas respecto a los demás materiales genéticos; DE = desviación estándar; MG = material genético; MMG = media de los materiales genéticos evaluados; FNS = media de fracción no seleccionada; MFS = media de la fracción seleccionada; Mín. = mínimo; Máx. = máximo.

5,44t.ha⁻¹, en su orden, es decir, un diferencial de selección o ganancia por selección del 58,25 y del 173,25%. De manera general, se ha utilizado el diferencial de selección fenotípico en la escogencia de plantas superiores, con características de interés agronómico, como base para estimar el progreso genético potencial y establecer, al inicio de un programa de mejoramiento, cuáles individuos pueden componer una población comercial y cuáles una población de mejoramiento (Espitia *et al.* 2010). Infortunadamente, no existe en la literatura especializada, reportes de diferencial de selección en *Solanum quitoense* Lam., que permita comparar las ganancias encontradas en este trabajo.

Peso de fruto (PF). En La Florida, la población estudiada obtuvo un PF promedio de 97,29±44,65g, superado por siete MG seleccionados, en 41,36g. El PF de la fracción no seleccionada (FNS), que corresponde al 61,11%, osciló entre 20,98 y 128,66g. Los mejores promedios se observaron en los híbridos B2xB5 (167,03g), B1xB6 (142,96g) y el parental B3 (148,37g), que exhibieron diferencias significativas, con el 83,33%, de los MG evaluados (Tabla 3). En esta localidad, el PF se correlacionó con el NSF ($r = 0,62^{**}$), el DE ($r = 0,56^{**}$) y con el RTO ($r = 0,79^{**}$), indicando que, si se quiere mejorar el PF, se puede seleccionar ya sea por el NSF o por el DE, que son componentes del RTO (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de correlación de Pearson entre el peso de fruto (PF); diámetro ecuatorial del fruto (DE); número de semillas por fruto (NSF); sólidos solubles totales corregidos (SSTc); contenido de jugo (CJ) y rendimiento (RTO), evaluados en 18 materiales genéticos de *S. quitoense*, a través de La Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

La Florida				
Variables	DE	CJ	RTO	NSF
PF	0,56**	ns	0,79**	0,62**
DE	1	ns	0,46**	0,40*
SSTc		0,47**	ns	ns
NSF			0,54*	1
Buesaco				
Variables	DE	CJ	RTO	NSF
PF	0,56*	0,49*	0,95*	0,78**
DE	1	0,59*	0,56*	0,51*
CJ		1	0,52*	0,48*
RTO				0,68**

* = significancia con $\alpha < 0,05$; ** = significancia con $\alpha < 0,01$, ns = no significativo.

El PF observado en Buesaco fue de 48,79±27,66g, con un diferencial de selección (DS), de 53,71g, respecto a la fracción seleccionada (FS). El cruzamiento B2xB8 (112,97g) y el parental B1 (92,03g) presentaron los promedios más altos con diferencias significativas, con relación al 83,33% de la FNS, que presentó un PF mínimo de 11,49g y un máximo de 84,43g (Tabla 3). El Análisis de Correlación (Tabla 4) revela que el PF está altamente asociado al NSF ($r = 0,78^{**}$), el DE ($r = 0,56^*$), el CJ ($r = 0,49^*$) y el RTO ($r = 0,95^*$), lo que corrobora lo encontrado en La Florida, respecto a la relación magnitud y sentido de la asociación, que presentan estas variables. Las correlaciones significativas entre el PF y RTO de las dos localidades concuerdan con el grado de asociación encontrado por Lagos *et al.* (2015), que fue de $r = 0,50^*$, obtenido en una población de lulo de Castilla.

Teniendo en cuenta lo antes discutido, los PF de la FS en la Florida y Buesaco están por encima de los 100g/fruto, por lo tanto, se ubican entre los calibres 30 y 26, según la NTC5093, para lulo de Castilla (ICONTEC, 2002). Es importante mencionar que la FS en La Florida, que incluye a los híbridos B1xB6, B2xB5, B4xB5, B2xLaSelva y los parentales B1, B2 y B3, exhibieron un PF entre 117,55 y 167,03g, que superan a los PF mencionados por González *et al.* (2014), quienes registran valores que van desde 111,11 hasta 114,72g. El híbrido B2xB8, con un PF 112,97g seleccionado en

Buesaco, está dentro de los valores antes mencionados. Además, los resultados de PF son similares a los de Silva *et al.* (2016), quienes reportan promedios entre 108 a 175g, para un grupo que agrupaba a introducciones de mayor PF.

Diámetro ecuatorial (DE) del fruto. En el municipio de La Florida, no se presentaron contrastes estadísticos entre los siete MG seleccionados, cuyo promedio fue de 4,69cm, que sobresale frente a la media de los 18 MG (4,35±0,58cm), considerados en este trabajo. En esta localidad, el DE presentó una asociación altamente significativa, moderada y positiva con el NSF ($r = 0,40^*$), PF ($r = 0,56^{**}$) y RTO, con un r de 0,46** (Tablas 3 y 4).

El DE para la localidad de Buesaco mostró una media general de 4,79±0,27cm, donde los mayores promedios se alcanzaron con el híbrido B2xB8 (5,23cm), que presentó diferencias significativas, con el 88,89%, de los MG evaluados (Tabla 3). Por otro lado, el Análisis de Correlación (Tabla 4) indica que el DE tiene un relación moderada, positiva, significativa con el PF ($r = 0,56^*$), CJ ($r = 0,59^*$), NSF ($r = 0,51^*$) y RTO ($r = 0,56^*$).

Los DE registrados en las FS de La Florida y Buesaco permiten ubicarlos en los calibres 48 y 35 de la NTC5093, en su orden (ICONTEC, 2002); además, concuerdan con los valores encontrados

por González *et al.* (2014), quienes indican diámetros entre 4,60 a 4,69cm, en diferentes grados de maduración del fruto y están dentro del rango establecido por Arizala *et al.* (2011), de 4,3 a 6,1cm, en injertos de lulo, sobre diferentes patrones.

Número de semillas por fruto (NSF). El NSF es una variable que no se ha considerado en los diferentes estudios de evaluación de genotipos de lulo, aunque obtener un genotipo con menos semillas por fruto permitirá conseguir ganancias en el contenido de pulpa y jugo, para la industria y el consumo en fresco. La población estudiada obtuvo un NSF promedio de $2132,18 \pm 916,63$. Se destacan el parental B6 y el híbrido B1xB5, por tener el menor NSF, que obtuvieron diferencias significativas, con el 88,9% de los MG estudiados, con promedios de 765,51 y 890,32 semillas/fruto, en su orden. Esta variable presenta correlaciones positivas significativas con el PF ($r = 0,62^*$, en La Florida y $r = 0,78^*$, en Buesaco) y con el RTO ($r = 0,54^*$, en La Florida y $r = 0,68^*$, en Buesaco), indica una asociación directamente proporcional con las variables relacionadas con el tamaño del fruto (Tabla 4). El hecho de que el NSF este correlacionado positiva y directamente con el PF, dificulta la obtención de materiales genéticos con altos promedios de PF y RTO y bajo NSF, dado que los genes que controlan la expresión de estas características pueden estar actuando en la misma dirección; estas correlaciones son de tipo fenotípico, donde el ambiente puede afectar, en gran medida, la magnitud de la correlación real entre estos caracteres (Vallejo *et al.* 2011).

Sólidos solubles totales corregidos (SSTc). En la tabla 4, se puede observar que los SST presentan una correlación significativa con el CJ ($r = 0,47^{**}$), en la localidad de La Florida. Según Fonseca *et al.* (2013), los SST están constituidos por 80 a 90% de azúcares disueltos en el jugo celular y en menor grado contienen también ácidos orgánicos, proteínas, grasas y varios minerales. El promedio obtenido de los SST en La Florida fue de $10,38 \pm 0,93^\circ\text{Brix}$ (Bx), que supera los valores reportados por Forero *et al.* (2014), que varían entre 8 y $9,3^\circ\text{Bx}$. Al respecto, la ficha técnica de pulpa de lulo congelada (SAS, 2014) sugiere que, entre las características fisicoquímicas requeridas para la elaboración de pulpa, los SST deben estar en un promedio de 9°Bx . Los valores mayores a este promedio permiten conservar las características organolépticas de la fruta cuando es sometida a procesos industriales. El IS (Tabla 3) muestra que, en La Florida, el híbrido B2xB5 ($11,37^\circ\text{Bx}$) y el parental B1 ($12,44^\circ\text{Bx}$) presentan los mayores promedios, con diferencias significativas respecto al 88,9%, de la población evaluada.

En la localidad de Buesaco, el promedio de los SSTc fue de $10,24 \pm 0,93^\circ\text{Bx}$ con valores que oscilan entre $8,12$ y $11,28^\circ\text{Bx}$. Los MG seleccionados no presentan promedios significativos con respecto a los demás genotipos; sin embargo, sus promedios de $9,65$ y $10,56^\circ\text{Bx}$ son representativos para la fruta (Tabla 3).

Los SST encontrados en esta investigación son inferiores al promedio de $13,6^\circ\text{Bx}$, publicado por Morillo *et al.* (2019), en su trabajo de caracterización de 21 materiales genéticos de lulo, similares a los de Ochoa-Vargas *et al.* (2016) y superiores a los de Casierra *et al.* (2004), quienes obtuvieron valores de $10,18$ y $7,8-9,3^\circ\text{Bx}$, consecutivamente.

Contenido de jugo (CJ). La tabla 3 muestra que, en La Florida, B4xB5 ($103,33\text{mL}/\text{fruto}$) presentó un promedio significativo, superando a la MMG ($72,62 \pm 21,74\text{mL}/\text{fruto}$) y a los resultados obtenidos por Lagos *et al.* (2015), donde el CJ tuvo una media de $43,278 \pm 8,16\text{mL}/\text{fruto}$. En cuanto a la localidad de Buesaco, el híbrido B2xB8 ($83,75\text{mL}/\text{fruto}$) presentó el mejor promedio y los valores de la FNS, se encontraron entre $49,58$ y $70,83\text{mL}/\text{fruto}$. En procesos de selección es muy importante el incremento de esta variable, puesto que el principal producto procesado y de consumo de lulo, es el jugo (Forero *et al.* 2014).

Rendimiento (RTO). En La Florida y Buesaco, el RTO presentó una correlación significativa de alta magnitud con el DE, PF, NSF y el CJ, con coeficientes que van desde 0,46 hasta 0,95, lo cual, indica que estas variables son componentes del rendimiento y que, al seleccionar por cualquiera de ellas, se está mejorando el RTO (Tabla 4). Jurado *et al.* (2013) corroboran los coeficientes de correlación entre PF y DE con RTO, con valores de 0,63 y 0,64, respectivamente.

El promedio de RTO obtenido por los MG evaluados en La Florida fue de $5,03 \pm 2,88\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que la FS mostró un promedio de $7,96\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, valor superior a la MMG. Los híbridos B2xLaSelva, con un RTO de $10,75\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y B4xB5, con $9,35\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtuvieron los más altos rendimientos con diferencias significativas respecto al 88,89%, de los MG (Tabla 3).

Buesaco obtuvo una media general de $3,14 \pm 2,88\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RTO muy por debajo de La Florida. Los promedios más altos de RTO correspondieron a B1, con $7,72\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y B2xB8, con $9,43\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, que presentaron diferencias significativas con el resto de los MG estudiados. El RTO de la FNS en Buesaco osciló entre $0,55$ y $4,47\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabla 3).

Tanto en La Florida como en Buesaco, los RTOs de la FS estuvieron por encima del RTO promedio del departamento de Nariño, que en el 2016 fue de $4,84\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$; además, el híbrido B2xLaSelva ($10,75\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) mostró un rendimiento superior al registrado por Colombia, de $9,45\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (AGRONET, 2019); sin embargo, son inferiores a los obtenidos por las selecciones de familias de medios hermanos, obtenidos por Lagos *et al.* (2015), cuyos rendimientos oscilaron entre $13,81$ y $24,80\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. La FS en este trabajo es de alto potencial, dado que son materiales genéticos que están en sus primeras fases de selección y, por lo tanto, es necesario iniciar procesos de autofecundación para su descarga genética y estudiar más a fondo su interacción genotipo por ambiente.

Modelo AMMI para la estabilidad del rendimiento (RTO). El ANDEVA para el modelo AMMI permitió detectar diferencias altamente significativas entre localidades, genotipos y la interacción localidad por genotipo (LxG) para el RTO (Tabla 5). El ambiente (Loc) explica el 12,28%, los genotipos (Gen), el 57,46% y el componente de interacción (LxG), el 42,53% de la variación total observada (Tabla 5). Esto indica que, para el RTO, los materiales genéticos y el efecto de interacción son más relevantes que los efectos *per se* de cada ambiente.

Tabla 5. Análisis de Varianza AMMI para el rendimiento (RTO), evaluados en 18 materiales genéticos de *S. quitoense*, a través de La Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

FV	GL	Rendimiento t.ha ⁻¹	
		CM	%
Loc	1	96,45*	12,28
Gen	17	20,87*	57,46
LxG	17	19,65*	42,53
Error	72	0,93	0,0
CV		23,26	
Términos AMMI			
CP1	17	19,64**	100,0
CP2	15	0,0ns	0,0

CV = coeficiente de variables (%); CP = componente principal;
 *, ** = niveles de significancia al 0,05 y 0,01, respectivamente;
 ns= no significativo.

En la tabla 5, se presentan los resultados de los términos AMMI con la prueba de Gollob (Gollob, 1968). El CP1 representó el 100,0% de la varianza total, por lo tanto, explica la variabilidad total. En el biplot (Figura 1), se representa el rendimiento promedio en función de las coordenadas del primer eje del CP1 de genotipos y ambientes. Los materiales genéticos ubicados en posiciones cercanas al origen de los ejes contribuyen, en bajo porcentaje, a la interacción, por lo que pueden ser considerados más estables y presentan una adaptabilidad general, por su baja interacción con los ambientes

(Alejos *et al.* 2006). Según estos criterios, el híbrido B3XB6 mostró ser el más estable, a través de las localidades, seguido de B1XB5; en cuanto a los rendimientos promedio de estos dos genotipos, se encuentran por debajo de la media general de cada localidad (Figura 1). El híbrido B1XB6, los parentales parental B1 y B2, muestran el mayor potencial de rendimiento y se encuentran cerca al punto de origen del CP1, por lo que se pueden considerar estables y sin adaptación específica.

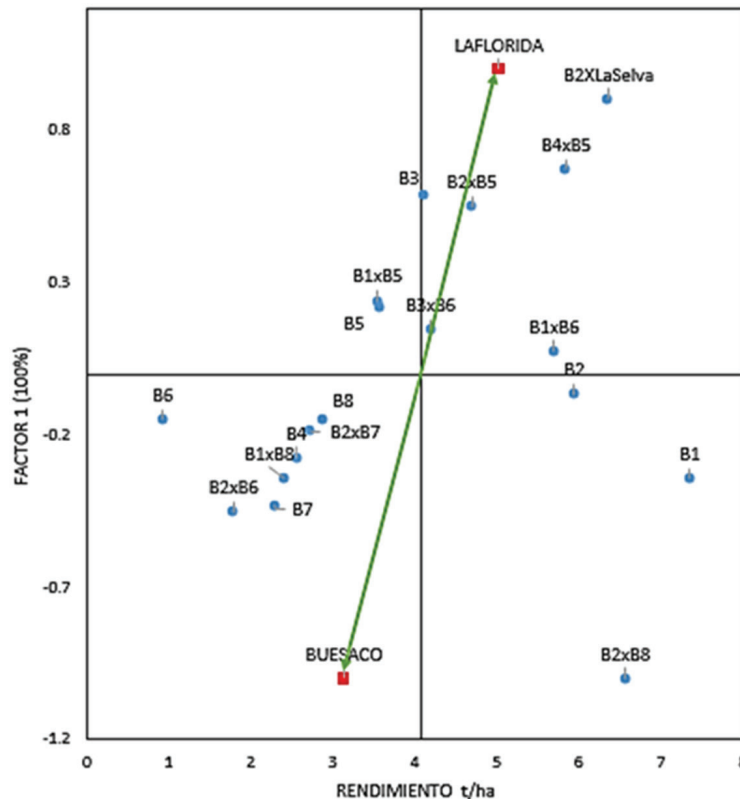


Figura 1. Biplot del CP1 del análisis AMMI vs el rendimiento de 18 materiales genéticos de *S. quitoense*, a través de La Florida y Buesaco, departamento de Nariño.

Por la longitud de los vectores, los dos ambientes son útiles para discriminar a los materiales genéticos en la evaluación, tal como lo plantean Yan *et al.* (2000). En este sentido, se destacan los híbridos B2XB5, B4XB5 y B2XL a Selva, con adaptación específica para La Florida, con rendimientos promedios entre 7,74 y 10,75 t.ha⁻¹. Los parentales B1 y el híbrido B2XB8 presentaron interacciones negativas, por lo tanto, es posible que su rendimiento tienda a decrecer bajo las condiciones del ambiente de Buesaco, que se caracteriza por presentar suelos extremadamente ácidos, bajos contenidos de fósforo y textura Arcillo-Arenosa.

Conflicto de intereses: Este artículo fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por el Sistema de Investigaciones de la Vicerrectoría de Investigaciones y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño.

REFERENCIAS

1. ALEJOS, G.; MONASTERIO, P.; REA, R. 2006. Análisis de la interacción genotipo - ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(3):369-384.
2. AGRONET. 2019. Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia: Reporte: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Disponible desde Internet en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> (con acceso el 23/01/2019).
3. ARIZALA, M.; MONSALVO, A.; BETANCOURTH, C.; SALAZAR, C.; LAGOS, T.C. 2011. Evaluación de solanáceas silvestres como patrones de lulo (*Solanum quitoense* Lam) y su reacción a *Fusarium* sp. *Rev. Ciencias Agrícolas* (Colombia). 28(1):147-160.
4. ASOCIACIÓN NACIONAL DE EXPORTADORES DE COLOMBIA, ANALDEX. 2019. Informe de importaciones y exportaciones del 2017. Disponible desde Internet en: <http://www.analdex.org/2018/04/16/informe-de-exportaciones-e-importaciones-de-fruta-2017/> (con acceso el 23/01/2019).
5. CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA, E.; LÜDDERS, P. 2004. Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. *quitoense* y *septentrionale*). *Agronomía Colombiana.* 22(1):32-39.
6. CROSSA, I.; GAUCH, H.; ZOBEL, R. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science.* 30:493-500.
7. DIAZ, A.; BROCHERO, H. 2012. Parasitoides asociados al perforador del fruto de las Solanáceas *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Rev. Col. Entomol.* 38(1):50-57.
8. ESPITIA, M.; MURILLO, O.; CASTILLO, C.; ARAMÉNDIZ, H.; PATERNINA, N. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* willd.) en Córdoba (Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13(2):99-107. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n2.2010.736>
9. FONSECA, M.C.; RODRÍGUEZ, J.A.; HERRERA, A.O.; FISCHER, G. 2013. Caracterización fisicoquímica del fruto de cuque (*Solanum vestissimum* Dunal) durante la maduración. *Rev. Col. Ciencias Hortícolas.* (Colombia). 6(1):31-40. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1276>
10. FORERO, N.; GUTIÉRREZ, S.; SANDOVAL, R.; CAMACHO, J.; MENESES, M. 2014. Evaluación postcosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cubierto con hojaje plátano. *Temas Agrarios.* (Colombia). 19(1):73-85. <https://doi.org/10.21897/rt.a.v19i1.726>
11. FRANCO, G.; BERNAL, J.; GALLEGO, J.L.; RODRÍGUEZ, J.E.; GUEVARA, N.; GIRALDO, M.; LONDOÑO, M. 2002. Generalidades del cultivo del lulo. En: Giraldo, MJ; Franco, G. (eds.) *El cultivo del lulo.* Asohofrucol, Corpoica, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola. 97p.
12. GANCEL, A.L.; ALTER, P.; DHUIQUE-MAYER, C.; RUALES, J.; VAILLANT, F. 2008. Identifying carotenoids and phenolic compounds in naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) var. Puyo hybrid, an andean fruit. *J. Agric. Food Chem.* 56(24):11892-11899. <https://doi.org/10.1021/jf801515p>
13. GAUCH, H.G.Jr. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics.* 44:705-715. <http://dx.doi.org/10.2307/2531585>
14. GOLLOB, H.F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika.* 33:73-115.
15. GONZÁLEZ, D.I.; ORDÓÑEZ, L.E.; VANEGAS, P.; VÁSQUEZ, H.D. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica.* (Colombia). 63(1):11-17. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.31717>
16. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. 2002. Norma técnica colombiana NTC 5093: Frutas frescos. Lulo de Castilla. Especificaciones. Bogotá, ICONTEC. CENICAFE. 19p.
17. JURADO, J.C.; PÉREZ, L.J.; LAGOS, T.C.; BENAVIDES, C.A. 2013. Comportamiento agronómico de injertos de lulo de

- castilla *Solanum quitoense* Lam. en patrones de *Solanum* spp. Rev. Ciencias Agrícolas 30(1):54 - 64.
18. LAGOS, T.C.; APRAEZ, J.; LAGOS, L.; DUARTE, D. 2015. Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam. bajo selección recurrente. Temas Agrarios. 20(2):19-29.
19. LOBO ARIAS, M.; MEDINA CANO, C.I.; DELGADO PAZ, O.A.; BERMEO GIRALDO, A. 2007. Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam) y especies relacionadas de la sección Lasiocarpa. Rev. Facultad Nacional de Agronomía. 60(2):3939-3965.
20. LOZANO-RAMÍREZ, A.; SANTACRUZ-VARELA, A.; SAN VICENTE-GARCÍA, F.; CROSSA, J.; BURGUEÑO, J.; MOLINA-GALÁN, J.D. 2015. Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. Rev. Fitotec. Mex. 38(4):337-347.
21. MEDINA, C.I.; LOBO, M.; MARTINEZ, E. 2009. Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. Corpoica Cienc. Tecnol. Agrop. 10(2):167-179.
22. MORILLO, A.; RODRÍGUEZ, A.; MORILLO, Y. 2019. Caracterización morfológica de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. Acta Biol. Colomb. 24(2):291-298. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.75832>
23. MORILLO-CORONADO, A.C.; TOVAR-LEON, Y.P.; MORILLO-CORONADO, Y. 2017. Characterization of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) genetic diversity in the department of Boyaca, Colombia. Acta Agron. 66(3):430-435. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n3.58997>
24. OCHOA-VARGAS, L.; BALAGUERA-LOPEZ, H.; ARDILAROA, G.; PINZON-SANDOVAL, E.; ALVAREZ-HERRERA, J. 2016. Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). Corpoica Cienc. Tecnol. Agrop. 17(3):347-359.
25. POLANCO, M.F.; GÓMEZ, S.; PADILLA, J.C. 2018. Evaluación de la resistencia de un híbrido F1 de *Solanum quitoense* Lam. a *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) y *Meloidogyne incognita*. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria. (Colombia). 19(2):351-366. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:520
26. SAS. 2014. Ficha técnica pulpa de lulo congelada. SAS (100% pulpa de fruta fresca). Disponible desde internet en: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/b4fb73a9/files/uploaded/FICHA%20TECNICA%20PULPA%20DE%20LULO%20CONGELADA.pdf>; (con acceso el 12/03/2019).
27. SILVA, W.; GOMEZ, P.; VIERA, W.; SOTOMAYOR, A.; VITERI, P.; RON, L. 2016. Selección de líneas promisorias de naranjilla para mejorar la calidad de la fruta. Rev. Cient. Ecuatoriana. 3:23-30.
28. VALLEJO, F.A.; ESPITIA, M.; ESTRADA, E.; RAMIREZ, H. 2011. Genética vegetal. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. p.294-304.
29. YAN, W.L.; HUNT, A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Sci. 40:597-605.
30. ZOBEL, R.; WRIGHT, M.; GAUCH, H. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron J. 80:388-393.