

Selección de introducciones de lulo *Solanum* spp. (Lepidoptera: Crambidae) al ataque del pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* Guenée

Maria Pineda¹, Tito Bacca², Tulio César Lagos-Burbano³

Resumen

El pasador de la fruta *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae) es considerada la principal plaga del cultivo de lulo (*Solanum* spp.) en Colombia. La actividad alimenticia de las larvas causa severos daños a la pulpa de la fruta y su control depende principalmente del uso de insecticidas químicos. La evaluación de los recursos genéticos endémicos puede ofrecer a las plantas alternativas basadas en la resistencia para ser incluidas en estrategias de manejo sostenible de esta plaga. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar 23 introducciones locales de lulo al ataque de *N. elegantalis*, con el fin de identificar fuentes potenciales de resistencia o tolerancia a la plaga. Durante un ciclo de cultivo a campo abierto de nueve meses, se realizaron ocho evaluaciones de las siguientes variables: porcentaje de infestación de *N. elegantalis*, peso de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, grosor del exocarpio y mesocarpio, número de tricomas y dureza. Los resultados del análisis de correlación de Pearson, de sendero permitieron determinar que la variable de mayor importancia fue el número de tricomas en los frutos. Estos resultados permitieron seleccionar tres selecciones que presentaron resistencia (PL-35) o tolerancia (SqEFma017 y Sqm36) al ataque de *N. elegantalis*, y que presentan gran potencial para desarrollar programas de mejoramiento genético del cultivo de lulo con el objetivo de controlar de forma sostenible el ataque del pasador del fruto.

Palabras clave: resistencia, tolerancia, perforador del fruto, *Solanum quitoense*, naranjilla.

Selection of introductions of lulo *Solanum* spp. (Lepidoptera: Crambidae) to the attack of the fruit borer *Neoleucinodes elegantalis* Guenée

Abstract

The fruit borer *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae) is considered the main pest of lulo (*Solanum* spp.) crop in Colombia. The feeding activity of the larvae causes severe damages to the fruit pulp, and its control depends mainly on the

*FR: 5 VI 2022. FA: 6 XI 2023.

¹ Ingeniera Agrónoma, M.Sc., Estudiante de Doctorado, Departamento de Entomología, Universidad Federal de Lavras (UFLA), MG, Brasil. E-mail: mpinar274@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5305-4182> <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=dn4ZnUYAAAAJ>

² Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Profesor Titular, Entomología. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia. E-mail: titobacca@ut.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-2960-5527>

https://scholar.google.es/citations?user=ZDpLD_oAAAAJ&hl=es

³ Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Profesor Titular, Mejoramiento Genético. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación en producción de frutales andinos, Torobajo, Pasto, Nariño, Colombia. E-mail: tclagosb@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>



CÓMO CITAR:

Pineda, M., Bacca, T. y Lagos-Burbano, T. C. (2023). Selección de introducciones de lulo *Solanum* spp. (Lepidoptera: Crambidae) al ataque del pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* Guenée. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas*, 27(1), 73-86. <https://doi.org/10.17151/bccm.2023.27.2.4>



use of chemical insecticides. The evaluation of endemic genetic resources can offer plant alternatives based on resistance to be included in sustainable management strategies for this pest. Therefore, the objective of this study was to evaluate 23 local introductions of lulo to *N. elegantalis* to attacks in order to identify potential sources of resistance or tolerance to the pest. During a nine-month open field cultivation cycle, eight evaluations of the following variables were carried out: percentage of *N. elegantalis* infestation, fruit weight, fruit equatorial diameter, thickness of the exocarp and the mesocarp, number of trichomes, and hardness. The results of the Pearson correlation path analysis allowed determining that the most important variable was the number trichomes on the fruit. These results allowed classifying three selections that showed resistance (PL-35) or tolerance (SqEFma017 and Sqm36) to the attack of *N. elegantalis*, and that have great potential to develop genetic improvement programs for lulo cultivation with the objective of sustainably controlling the attack of the fruit borer.

Key words: resistance, tolerance, fruit borer, *Solanum quitoense*, naranjilla.

Introducción

Neoleucinoceros elegantalis es un lepidoptero conocido como el perforador del fruto de lulo. La mariposa hembra tiene preferencia por frutos menores a 2 cm para ovipositar; posteriormente, las larvas neonatas ingresan al fruto, ocasionando el mayor daño al alimentarse del mesocarpio del fruto y formar galerías, provocando que sean inviables comercialmente (Noboa y Viera, 2020; Pineda *et al.*, 2020).

Este es un insecto de origen neotropical, ampliamente distribuido en Centro y Suramérica y en Colombia se reporta en 18 departamentos y en varios países de América es considerado una plaga de importancia cuarentenaria (Díaz, 2013; Díaz *et al.*, 2011; Díaz *et al.*, 2013). *N. elegantalis* se caracteriza por tener hábitos oligófagos, atacando muchas solanáceas, siendo la de mayor importancia en Colombia el lulo (*Solanum quitoense* Lam). En este cultivo las pérdidas ocasionadas reportadas por este insecto varían entre 30 hasta del 90% (Díaz, 2013; Galvis y Herrera, 1999; Pineda, 2018).

El lulo es un fruto originario de la cordillera de los Andes, donde los mayores países productores son Ecuador y Colombia. Debido a sus propiedades organolépticas y nutricionales, es considerado un fruto exótico que es muy apetecido en mercados internacionales como Estados Unidos, Panamá, China, Brasil entre otros (Arias-Vargas y Rendón, 2015). Esta demanda mundial del consumo de este fruto ha permitido que el cultivo de lulo *S. quitoense*, se esté incrementado considerablemente en los últimos años en Colombia (Asohofrucol, 2016). En 2020, en Colombia se reportó un área sembrada de 91119,69 ha, con una producción de 89401,44 ton y un rendimiento promedio de 10,25 ton/ha (Agronet, 2022).

Sin embargo, además de las amenazas de la sostenibilidad de este cultivo, por factores climáticos, y de comercialización, uno de los más preocupantes son los problemas fitosanitarios, principalmente el ataque de plagas como el perforador del fruto *N. elegantalis* (ICA, 2011; Lobo *et al.*, 2009).

Según Díaz *et al.* (2013), el manejo integrado de *N. elegantalis* es posible realizarlo basado en el control cultural, biológico y químico fundamentado en el conocimiento de la biología y el monitoreo de la plaga. Sin embargo, algunos agricultores realizan únicamente aplicaciones calendario de varios insecticidas que pertenecen a varios grupos químicos, algunos de los cuales son altamente tóxicos y peligrosos para la salud y el ambiente (Pineda *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2018).

Una alternativa inocua que contribuye en el manejo de esta plaga, es el reconocimiento e identificación de introducciones de lulo que manifiesten propiedades resistentes y tolerantes hacia el ataque de esta plaga. Actualmente, existen diferentes investigaciones acerca de la resistencia a *N. elegantalis* de cultivares comerciales y silvestres de *Solanum* spp. (tomate de mesa) en Colombia. Este género ha sido estudiado mediante pruebas de antibiosis y antixenosis por Restrepo (2006), Restrepo *et al.* (2007), Vallejo *et al.* (2008) y Casas *et al.* (2013). La mayoría de estas investigaciones concluyen que algunos de los mecanismos de resistencia del género *Solanum* spp., se encuentran presentes en la morfología de la planta, tal como el grosor de cutícula, la presencia de tricomas glandulares y otros caracteres de defensa que se manifiestan con ayuda de las condiciones ambientales.

Recientemente en el caso específico de *S. quitoense*, Polanco-Puerta *et al.* (2018) encontró resistencia de lulo al ataque de *N. elegantalis*, que se atribuye a varios mecanismos como: presencia de tricomas. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue realizar una selección de introducciones de lulo con resistencia al ataque de *N. elegantalis* de la colección del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño, tomando la infestación natural presente en un ambiente natural de la región andina del departamento de Nariño.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en la Vereda Santa Ana, corregimiento de Matituy, municipio de La Florida (Nariño), con coordenadas 1° 21'35,3"N y 77° 20' 29,6"O, a 1.960 msnm, temperatura promedio de 20,5°C y una humedad relativa del 50%, correspondiente a un bosque húmedo premontano (bh-PM) (Holdridge, 1967).

Material vegetal

Se evaluaron 20 introducciones de lulo *S. quitoense*, dos de *S. quitoense* x *S. hirtum* y una de *S. hirtum*, obtenidas por el Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA), de la Universidad de Nariño (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1. Listado de las 23 introducciones de lulo *Solanum* spp., del banco de germoplasma del grupo de Investigaciones en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño.

No.	Código	No.	Código	No.	Código	No.	Código
1	SqEFma011*	7	SqEFma018*	13	SqEFma026*	19	Sqm037*
2	SqEFma013*	8	SqEFma019*	14	Sqm031*	20	HERBERTH*
3	SqEFma014*	9	SqEFma020*	15	Sqm032*	21	<i>S. hirtum</i> **
4	SqEFma015*	10	SqEFma021*	16	Sqm033*	22	LC-LA SELVA***
5	SqEFma016*	11	SqEFma022*	17	Sqm035*	23	PL-35***
6	SqEFma017*	12	SqEFma023*	18	Sqm036*		

* *S. quitoense* var. Septentrional tipo castilla, ** *S. hirtum*, *** Hibrido inter especifico *S. hirtum* x *S. quitoense*.
Fuente: GPFA.



Figura 1. Frutos de lulo de las introducciones: A. Sqm037, B. Sqm032, C. PL-35, D. SqEFma022, *S. hirtum* y F. Sqm033.
Fuente: Pineda (2018).

Esta colección del género *Solanum* spp. se colectó en las regiones cafeteras de Nariño. Las introducciones se encuentran caracterizadas morfo-agronómicamente y organolépticamente, existiendo la base genética para adelantar el programa de mejoramiento genético de este frutal en diversos aspectos como arquitectura de la planta, producción, resistencia a plagas y enfermedades (Lagos-Santander *et al.*, 2019; Lagos *et al.*, 2015; Riascos *et al.*, 2012).

El material vegetal se propagó asexualmente en el invernadero de la Universidad de Nariño, con el fin de garantizar que las plantas evaluadas tuvieran la misma información genética que los parentales. Este material se trasplantó en campo y la distancia de siembra fue de 2 m entre plantas y 3 m entre surcos. Una vez establecido el cultivo, se realizaron podas de mantenimiento y de formación. El plateo se realizó de forma manual, se aplicaron fungicidas químicos para el control de enfermedades, por la naturaleza de la investigación, no se realizaron aplicaciones de insecticidas. La cosecha se realizó nueve meses después de la implementación del cultivo. Se realizaron cuatro pases de cosecha por dos ciclos de producción.

Diseño experimental

En campo se realizó un diseño irrestrictamente al azar con 23 tratamientos (Tabla 1) y cuatro repeticiones. La unidad experimental correspondió a una planta y se evaluaron las siguientes variables:

Porcentaje de Infestación de *N. elegantalis* (INF): Como variable antixenótica se registró el porcentaje de infestación natural ocasionado por *N. elegantalis* en los frutos producidos por cada planta. Después de nueve meses de la implementación del cultivo, se determinó la infestación natural de *N. elegantalis*, a través de una revisión exhaustiva de todos los frutos producidos de cada planta cada 15 días, con ayuda de una lupa de 30X buscando orificios de entrada y de salida del perforador del fruto. Se realizaron ocho evaluaciones, correspondientes a cuatro durante el primer ciclo de cosecha del cultivo y otras 4 en el segundo ciclo de cosecha. El porcentaje de frutos infestados se calculó mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ Infestación} = \frac{\text{Frutos con presencia de } N. \text{elegantalis por tratamiento}}{\text{Frutos totales producidos por tratamiendo}} \times 100 \quad (1)$$

Los frutos que presentaron cualquier orificio se destruyeron para verificar la presencia de *N. elegantalis*, teniendo en cuenta los caracteres morfológicos según la clave de Solis (2006), con el fin descartar el ataque de otras larvas perforadoras. Las siguientes características se realizaron en el Laboratorio de Entomología de la Universidad de Nariño.

Número de tricomas (NTRI): Para el conteo de tricomas, en campo se identificaron tres frutos sanos procedentes de la misma inflorescencia, para un total de se usaron tres frutos sanos por repetición para un total de 12 frutos por introducción. Se determinó la densidad de tricomas, basados en la metodología de Capezio *et al.* (2016), el conteo de tricomas se realizó en un área de 50 μm^2 , con ayuda de un micrómetro adaptado a un estereoscopio Nikon SMZ 645.

Diámetro ecuatorial (DEF), peso (P) y dureza de frutos (DUR): Después del conteo de tricomas, a cada uno de los frutos con de un pie de rey electrónico se midió el diámetro ecuatorial (mm) en el eje polar, posteriormente se pesaron (gramos) en una balanza analítica. La dureza se determinó con ayuda de un penetrómetro modelo FT 327 (3- 27 lb) marca Bertuzzi, siguiendo la metodología descrita por Zapata *et al.* (2010). El procedimiento consistió en emplear una punta cilíndrica de 0,46 mm de diámetro con una carga de 250 Newton (N) y velocidad de 21 mm/min. Los datos se capturaron gracias al software NEXYGEN Plus para cada fruto (Ospina *et al.*, 2007; Zapata *et al.*, 2010).

Grosor del exocarpio y mesocarpio (GEX-GMES). Después de evaluar la dureza, con un pie de rey electrónico se midió el grosor del exocarpio y mesocarpio del fruto (mm).

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza ($P < 0,05$) para las todas las variables INF, NTRI, peso DUR, DEF, GEX, GMES, utilizando el paquete estadístico Statgraphics. Se declararon diferencias estadísticas significativas las introducciones que presentaron la media \pm desviación estándar. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación múltiple de Pearson y un análisis de sendero (Shipley, 2016), con el fin de descomponer las correlaciones de la variable porcentaje de infestación y sus efectos directos o indirectos en todas las variables.

Selección de introducciones

El porcentaje de infestación se tomó como criterio para la calificación de daños y según el cálculo del índice de selección se eligieron las introducciones de lulo resistentes o tolerantes al ataque de *N. elegantalis*. De acuerdo con la metodología de Lagos *et al.* (2015) y Lagos *et al.* (2013), se determinó el índice de selección (IS), el cual se aplicó a las 23 introducciones evaluadas, utilizando una presión de selección del 20%. En primer lugar, se estandarizaron (E) los valores de cada una de las variables que componen el índice de selección, mediante la ecuación 2:

$$E = ((X_{ij} - \mu) / \sigma) \quad (2)$$

Dónde: X_{ij} = observación individual, μ = promedio general de cada introducción, σ = desviación estándar de la variable. Para realizar el índice de selección se tuvieron en cuenta todas las variables, de tal forma que el IS está dado por la ecuación 3:

$$IS = (NTRI * 0,4) - (DUR * 0,2) + (GMES * 0,1) - (GEX * 0,1) - (INF * 0,45) + (PESO * 0,05) + (DEF * 0,05) \quad (3)$$

Escala de calificación

Con el fin de proporcionar una calificación cualitativa con base en el índice de selección (IS) se propuso la siguiente escala de calificación de las 23 introducciones de lulo *Solanum spp.*, a la infestación natural de *N. elegantalis*; valores mayores a 0,5 son resistentes, valores entre 0,49 a 0,3 son tolerantes y menores a 0,3 son susceptibles.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables número de tricomas (NTRI), peso, diámetro ecuatorial de fruto (DEF), grosor de mesocarpio (GMES), dureza e infestación, y diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para la variable grosor de exocarpio (GEX). En cuanto al análisis de correlación la variable peso de fruto presentó una alta correlación ($r = 0,96$) con respecto al diámetro DEF (Tabla 2). En este caso, a medida que el peso del fruto es mayor el DEF se incrementa. Con respecto al peso vs. GMES el valor de la correlación fue de $r = 0,94$ y con respecto al peso vs. DUR el valor de correlación es de $r = 0,57$ (Tabla 2). En ambos casos, el grado de relación de estas variables con respecto al peso es positiva y directamente proporcional. A mayor peso del fruto, se obtiene mayor GMES y mayor dureza en frutos de lulo. Resultados que coinciden con los encontrados por Lobo *et al.* (2007), quienes reportan que frutos de lulo de mayor tamaño tienen mayor cantidad de pulpa y mayor dureza (Restrepo *et al.*, 2007).

En el caso del peso y el DEF vs. NTRI el valor correspondiente a la correlación fue de $r = -0,77$ y $r = -0,80$ respectivamente (Tabla 2), en estos casos a medida que el peso y el diámetro ecuatorial de frutos es mayor, el número de tricomas disminuye (Figura 1 A, B y F).

Tabla 2. Análisis de correlación de Pearson de las variables del componente del fruto, evaluadas en 23 introducciones de *Solanum* spp., sometidos a infestación natural de *N. elegantalis*.

	PESO	DEF	GEX	GMES	NTRI	DUR	INF
PESO	1,00	0,96**	-0,15NS	0,94**	-0,77**	0,57**	0,23*
DEF		1,00	-0,16NS	0,96**	-0,80**	0,57**	0,24*
GEX			1,00	-0,31*	0,23*	-0,26*	-0,19NS
GMES				1,00	-0,79**	0,60**	0,27*
NTRI					1,00	-0,59**	-0,34*
DUR						1,00	0,42**
INF							1,00

**Correlación altamente significativa (0,001), *Correlación significativa (0,05); NS= No significativa, Peso (Peso), diámetro del fruto (DEF), grosor del exocarpo (GEX), grosor del mesocarpo (GMES), número de tricomas (NTRI), Dureza (DUR) y porcentaje de infestación por *N. elegantalis* (INF).

Fuente: elaboración propia.

En relación al NTRI *vs.* INF se presenta una correlación baja significativa y negativa ($r = -0,34$), de tal forma que a mayor número de tricomas en los frutos de lulo menor daño producido por *N. elegantalis*. En las introducciones PL-35 (112,08 tricomas/50 μ m²), Sqm031 (109,8 tricomas/ 50 μ m²), Sqm036 (110,83 tricomas/50 μ m²) y Sqm037 (114,66 tricomas/50 μ m²) presentan alto número de tricomas y bajos porcentajes de infestación (0%, 2,58%, 2,64% y 6,09%, respectivamente) (Tabla 3). En el caso la introducción PL-35, el ataque de la plaga fue ausente, durante todas las evaluaciones realizadas (Tabla 3). Esto permite concluir que las plantas de lulo con características comerciales y con menor presencia de tricomas son más susceptibles al ataque de *N. elegantalis*. En el caso del específico cultivo de lulo, la presencia de tricomas es una característica que se encuentra presente en los frutos y es un indicador de que este cultivo, aún no ha sido totalmente domesticado (Restrepo *et al.*, 2007).

Tabla 3. Promedios de las variables porcentaje de infestación de *N. elegantalis* (INF), número de tricomas (NTRIC), peso, diámetro ecuatorial de fruto (DEF), grosor del exocarpio (GEX), grosor del mesocarpio (GMES), dureza (DUR) en la evaluación de la respuesta 23 introducciones de *Solanum* spp., al ataque del pasador del fruto *N. elegantalis*.

INTRODUCCIÓN	INF %	NTRIC N/ 50 μ m ²	DUR N	PESO g	DEF mm	GEX mm	GMES mm
PL-35	0	112,08	26,12	28,5	36,15	5,23	28,23
Sqm031	2,58	109,08	24,47	26,76	34,95	2,44	30,04
Sqm036	2,64	110,83	30,80	30,14	36,44	2,81	30,86
Sqm037	6,09	114,66	33,51	42,25	42,56	2,29	35,13
Sqm032	15,28	120,91	36,34	20,83	32,3	2,15	29,24
SqEFma015	18,15	59,67	49,92	72,39	52,79	2,02	49,18
SqEFma017	19,64	62,83	77,32	64,92	50,39	2,52	46,8
SqEFma019	23,77	55,58	64,8	53,06	46,75	1,58	43,55
Sqm033	24,02	109,25	72,27	42,46	43,17	2,62	39,46
Sqm035	24,28	125,00	54,64	14,72	29,63	2,83	25,27
SqEFma023	25,5	62,34	74,29	58,85	47,07	2,17	43,92
SqEFma018	25,54	73,67	40,06	66,97	50,35	2,3	46,99
SqEFma014	27,99	54,08	63,79	82,55	53,77	1,79	50,77
SqEFma021	28,02	67,25	81,86	83,71	51,84	1,69	48,34
SqEFma011	28,9	61,59	63,27	70,11	52,49	2,58	47,31
SqEFma016	32,92	80,25	75,88	55,55	46,86	1,78	43,32
SqEFma013	33,24	66,5	80,35	71,55	50,16	1,95	46,26
SqEFma022	33,63	58,59	68,04	74,48	52,09	2,66	48,39
LCLASELVA	35,94	62,22	74,51	60,34	48,86	2,18	45,43
HEBERTH	38,04	64,58	69,56	60,41	47,62	1,71	45
SqEFma020	40,28	95,17	65,09	70,55	50	2,3	47,34
SqEFma026	40,52	71,67	73,32	58,91	49,5	1,68	46,94
<i>S. hirtum</i>	53,93	104,5	38,71	19,5	32,05	2,09	28,01
Media (μ)	25,25	82,71	58,21	53,46	45,12	2,32	41,12
DE(σ)	13,47	24,62	18,89	21,08	7,63	0,74	8,3

Fuente: elaboración propia.

Los tricomas son la primera estructura de la planta con la cual los insectos plaga entran en contacto (Smith, 2005; Tissier, 2012). De forma general, cultivares del género *Solanum* presentan tricomas, glandulares y no glandulares, y se consideran un componente fundamental en la defensa estas plantas (Kennedy, 2003; Simmons y Gurr, 2005). Álvarez (2015) menciona que los tricomas glandulares presentes en solanáceas son más estables y pueden interferir en la conducta del insecto (Glas et al., 2012).

Los tricomas confieren propiedades antixenóticas, provocadas por los aleloquímicos almacenados como las metilcetonas, los sesquiterpenos y los acyl azúcares (Peter y Shanower, 2001), tal como se pudo comprobar con la introducción PL35 que presentó mayor número de tricomas ($112 \pm 24/50 \mu\text{m}^2$) y demostró 0% de infestación de larvas de *N. elegantalis*. La morfología adaptativa de los tricomas tipo VI del género *Solanum*, presentes en todos sus órganos, son una fuente de almacenamiento y liberación de metabolitos secundarios, que pueden ser identificados con investigaciones adicionales para conocer mejor su funcionamiento en relación a esta plaga (Bergau et al., 2015).

En cuanto al NTRI vs. DUR presentó una alta correlación negativa ($r = -0,59$) lo que indica que a mayor número de tricomas menos dureza en los frutos, resultados que se pudieron observar en las introducciones PL-35, Sqm031, Sqm036, Sqm037 y Sqm032 las cuales presentaron mayor número de tricomas con valores que oscilaron entre 112,08 y 120,91 tricomas/ $50\mu\text{m}^2$, menores porcentajes de infestación con rangos entre el 0 y 15,28% y menor dureza de frutos con valores entre 26,12 y 36,34 N (Tabla 3).

Con respecto a la DUR vs. INF la correlación fue positiva ($r = 0,42$), lo que demuestra que a mayor dureza estos serán más susceptibles al ataque de *N. elegantalis* y por lo tanto su porcentaje de infestación será mayor, como se puede observar en las introducciones SqEFma013 y SqEFma021, las cuales presentaron la mayor dureza de frutos (80,35 y 81,86 N, respectivamente) y presentaron altos porcentajes de infestación natural ocasionada por *N. elegantalis* con 33,24 y 28,02%, en su orden (Tabla 3). Por lo tanto, la dureza del fruto en el caso del lulo, no contribuye con menor ataque de la plaga, contrariamente como lo encontrado con el ataque del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (García-Lara et al., 2004) o el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Martin et al., 1975) en donde la dureza es un factor fundamental para evitar el ataque de estas plagas.

Por otra parte, para la variable peso y DEF vs. GEX se presentaron coeficientes de correlación bajos ($r = -0,15$ y $r = -0,16$, respectivamente), indicando que no hay relación directa entre el grosor del exocarpio con respecto al diámetro ecuatorial del fruto y el peso (Tabla 3). Para la DUR del fruto tiene una correlación directa y es altamente significativa con las variables peso, DEF y GMES con valores de $r = 0,57$, $0,57$ y $0,60$, en su orden (Tabla 3). Por tanto, hay una relación directa entre estas variables y a mayor peso existe mayor DEF y mayor DUR (Tabla 2).

En cuanto a la infestación natural ocasionada por *N. elegantalis*, el análisis de correlación de Pearson, indica que para las variables peso, DEF y GMES los valores de correlación fueron bajos y oscilan de 0,23 a 0,27 (Tabla 2). Al respecto, Vallejo *et al.* (2008) encontraron que *N. elegantalis* producía más daño a medida que se incrementaba el peso promedio de frutos derivados del género *Solanum* spp. Por su parte, Collavino *et al.* (1999) menciona que en genotipos provenientes del género *Lycopersicon* presentaron correlaciones positivas altamente significativas ($r=0,82$) entre el grado de infestación de *Tuta absoluta* y el peso de los frutos, como se pudo observar en las introducciones de lulo SqEFma022 y SqEFma020 que registraron los frutos con mayor peso (83,71 y 82,55 g) e infestaciones de *N. elegantalis* de 33,63 y 40,28% respectivamente (Tabla 3). Según Riascos *et al.* (2012), los frutos de lulo de tamaño y peso reducido son un inconveniente para programas de fitomejoramiento en este cultivo, teniendo en cuenta que el peso de fruto es una característica determinante para su comercialización.

Análisis de sendero

El coeficiente de determinación (R^2) en el análisis de sendero indica el 100% de la variabilidad del porcentaje de infestación natural ocasionado por *N. elegantalis*, con respecto al Peso, GEX, GMES, NTRIC y DUR. Por otro lado, en el análisis de sendero el R^2 tuvo un valor del 54% con respecto al porcentaje de infestación natural, el cual se considera bajo, lo que permite concluir que las variables tomadas para este análisis no explican totalmente los efectos directos o indirectos que ejercen sobre el porcentaje de infestación natural causado por *N. elegantalis* en las 23 introducciones de *Solanum* spp.

Selección de introducciones con mejor respuesta frente al ataque de *N. elegantalis*

Los resultados anteriores permiten establecer que para obtener introducciones resistentes al ataque del pasador del fruto *N. elegantalis* deben seleccionarse introducciones que tengan mayor número de tricomas, que fue la característica más importante que presentó bajas infestaciones de esta plaga. Sin embargo, se debe tener en cuenta otras características agronómicas que son deseables para procesos de comercialización de esta fruta; adicionalmente por la experiencia de programas de mejoramiento genético de otras solanáceas como de la sección de *Lycopersicon* (Parra *et al.*, 1997; Restrepo *et al.*, 2007; Simmons y Gurr, 2005), fueron elegidas las siguientes características: grosor de exocarpio y dureza de frutos. La introducción PL-35 fue la única selección que presentó todas las características mencionadas, ya que las medias para estas variables superan la $\mu \pm \sigma$ (Tabla 3) (112,08 tricomas/ 50 μm^2 , 5,23 mm de GEX, 26,12 N de DUR y 0% de INF).

Tabla 4. Índice de selección (IS) en la evaluación de la respuesta de 23 introducciones de lulo *Solanum* spp.

INTRODUCCIÓN	IS	CALIFICACIÓN	INTRODUCCIÓN	IS	CALIFICACIÓN
PL-35	0,6096	RESISTENTE	SqEFma019	-0,0177	susceptible
SqEFma017	0,4832	TOLERANTE	SqEFma022	-0,0261	susceptible
Sqm036	0,3043	TOLERANTE	SqEFma016	-0,0438	susceptible
SqEFma023	0,2554	susceptible	SqEFma018	-0,1256	susceptible
SqEFma021	0,2038	susceptible	Sqm032	-0,1931	susceptible
Sqm033	0,1982	susceptible	LC-LASELVA	-0,2216	susceptible
Sqm037	0,196	susceptible	Sqm035	-0,3055	susceptible
SqEFma015	0,1569	susceptible	SqEFma20	-0,3213	susceptible
Sqm031	0,1218	susceptible	SqEFma026	-0,3551	susceptible
SqEFma013	0,061	susceptible	HEBERTH	-0,4001	susceptible
SqEFma014	0,0387	susceptible	<i>S. hirtum</i>	-1,4241	susceptible
SqEFma011	0,0207	susceptible			

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de infestación es una variable determinante cuando se estima la resistencia del ataque de *N. elegantalis* a *S. quitoense*, con base en el IS (índice de selección) se concluye la introducción PL-35 (0,60) es resistente, por tanto, es una fuente de resistencia para obtener variedades resistentes o tolerantes encaminadas a disminuir los costos de producción y las pérdidas ocasionadas por el pasador del fruto de lulo *N. elegantalis*.

Finalmente, teniendo en cuenta el IS otras introducciones que poseen tolerancia al pasador del fruto de lulo *N. elegantalis* fueron SqEFma017 (0,48) y Sqm036 (0,30). Las demás introducciones fueron susceptibles y presentaron IS que oscilaron entre 0,25 y -1,42 (Tabla 4).

Conclusiones

Al evaluar el ataque de *N. elegantalis* en la colección de *S. quitoense* del Grupo de Investigación de Frutales Andinos – GPFA de la Universidad de Nariño, se pudo constatar que existe alta variabilidad genética y existen introducciones de lulo que pueden ser promisorias para incluirlas dentro de un programa de mejoramiento de este frutal andino al ataque del pasador de lulo. De los 23 materiales evaluados se destacó la introducción PL-35 como resistente al ataque de la plaga. También sobresalieron las introducciones SqEFma017 y Sqm036, las cuales son tolerantes

a *N. elegantalis*. Según los análisis realizados, la variable que más contribuyó para seleccionar germoplasma de lulo con resistencia o tolerancia al ataque de *N. elegantalis* fue el número de tricomas.

Contribución de los autores

MP: experimentos de campo, análisis estadísticos y redacción del manuscrito; TB: redacción manuscrito, análisis estadísticos; TCL: redacción manuscrito. Todos los autores contribuyeron a la revisión del documento y estuvieron de acuerdo en su envío.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Nariño en especial a los integrantes del Grupo de Investigación de Frutales Andinos y al Sistema General de Regalías de Nariño por la financiación.

Referencias bibliográficas

- Arias-Vargas, F. y Rendón, S. (2015). Inteligencia de mercados para la cadena del lulo (*Solanum quitoense*). *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 3, 38-47.
- Asohofrucol. (Marzo de 2018). *Plan frutícola nacional. El cultivo de lulo*. <http://www.asohofrucol.com.co/bibliotecavirtual.php>.
- Bergau, N., Bennowitz, S., Syrowatka, F., Hause, G. y Tissier, A. (2015). The development of type VI glandular trichomes in the cultivated tomato *Solanum lycopersicum* and a related wild species *S. habrochaites*. *BMC Plant Biology*, 15(1), 289. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0678-z>
- Capezio, S., Tassar, A., Bedogni, M. C. y Huarte, M. (2016). Respuesta de una población de *Solanum berthaultii* Hawkes frente a *Phytophthora infestans* y su relación con la densidad y tipo de tricomas. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 20(1), 1-8. <https://doi.org/10.37066/ralap.v20i1.239>
- Collavino, G., Hernández, C., Simon, G., Olsen, A., Gray, L., y Gilardon, E. 1999. Heredabilidad de la resistencia a la "polilla del tomate" (*Tuta absoluta* Meyrick) y su correlación genética con caracteres de calidad, en descendencias de cruza interespecíficas del género " *Lycopersicon*". Investigación agraria. Producción y protección vegetales. 14(3): 445-452. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:520
- Díaz, A. E. (2013). Manejo Integrado del gusano perforador del fruto de lulo y Tomate de árbol. In *Fondo regional de Tecnología Agropecuaria Fontagro. Corpoica, C.I. La Selva*.
- Díaz M, A. E., Solís, A. y Brochero, H. L. (2011). Distribución geográfica de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 37(1), 71-76.
- Galvis, J. A. y Herrera, A. (1999). *El lulo Solanum quitoense Lam, manejo poscosecha*. Convenio SENA-Universidad Nacional de Colombia, 59p.
- García-Lara, S., Bergvinson, D. J., Burt, A. J., Ramputh, A. I., Díaz-Pontones, D. M. y Arnason, J. T. (2004). The Role of Pericarp Cell Wall Components in Maize Weevil Resistance. *Crop Science*, 44(5), 1546-1552. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1546>
- Glas, J., Schimmel, B., Alba, J., Escobar-Bravo, R., Schuurink, R. y Kant, M. (2012). Plant Glandular Trichomes as Targets for Breeding or Engineering of Resistance to Herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 17077-17103. <https://doi.org/10.3390/ijms131217077>
- Holdridge LR. 1967. Ecología basada en zonas de vida. San José (Costa Rica): TropicalScience Center.
- ICA. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de lulo (*Solanum quitoense*): medidas para la temporada invernal. *Instituto Colombiano Agropecuario*, 23.
- Kennedy, G. G. (2003). Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology*, 48, 51-72.
- Lagos-Santander, L. K., Lagos-Burbano, T. C., Duarte-Alvarado, D. E., Criollo-Escobar, H. y Angulo-Ramos, N. F. (2019). Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de parentales e híbridos de lulo de Castilla. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1344>
- Lagos, T., Apraiz, J., Lagos, L. y Duarte, D. (2015). Comportamiento de 50 familias de medios hermanos de *Solanum quitoense* Lam bajo selección recurrente. *Temas Agrarios*, 20(2), 19-29. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i2.755>

- Lobo, M., Medina, C., Delgado, O. y Bermeo, A. (2009). Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies relacionadas de la sección Lasiocarpa. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 2(3939-3964).
- Martín, F. A., Richard, C. A. y Hensley, S. D. (1975). Host Resistance to *Diatraea saccharalis* (F.): Relationship of Sugarcane Internode Hardness to Larval Damage. *Environmental Entomology*, 4(5), 687-688. <https://doi.org/10.1093/ee/4.5.687>
- Noboa, M. y Viera, W. (2020). Biology of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée 1854) (Lepidoptera: Crambidae): pest of economic importance of naranjilla, an Amazonian fruit of Ecuador. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(3), 717-722. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00118-7>
- Ospina, D., Ciro, H. y Aristizábal, I. (2007). Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutos de lulo (*Solanum quitoense*, x *Solanum hirtum*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60(2), 4163-4178.
- Parra, A., López, C. M., García, M. A. y Baena, D. (1997). Evaluación de especies del género *Lycopersicum* como posibles fuentes de resistencia al pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* Guenée. *Acta Agronómica*, 47(7), 45-47.
- Peter, A. y Shanower, T. G. (2001). Role of plant surface in resistance to insect herbivores. In *Insects and Plant Defense Dynamics* (pp. 107-1032).
- Pineda, M. (2018). *Respuesta del lulo Solanum quitoense Lam., al ataque del pasador del fruto Neoleucinodes elegantalis Guenée (Lepidoptera: Crambidae)* (tesis de maestría). Universidad de Nariño.
- Pineda, M., Bacca, T. y Lagos-Burbano, T. C. (2020). Manejo integrado de plagas en el cultivo de lulo. In T. C. Lagos-Burbano (Ed.), *Mejoramiento genético de lulo (Solanum quitoense Lam.)* (pp. 231-252).
- Polanco-Puerta, M. F., Gómez-Posada, S., y Padilla-Osorio, J. C. (2018). Evaluación de la resistencia de un híbrido F1 de *Solanum quitoense* Lam. a *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) y *Meloidogyne incognita*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 351-366.
- Restrepo, E., Vallejo, F. A. y Lobo, M. (2007). Producción de poblaciones segregantes resistentes al pasador del fruto a partir de cruzamientos entre Tomate y accesiones silvestres de *Lycopersicum* spp. *Acta Agronómica*, 56(1), 1- 6.
- Red de información y comunicación del sector agropecuario Colombiano, Agronet (diciembre, 2022). *Agronet*. Sistemas de Estadísticas. <https://agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home/Lulo>
- Riascos, M., Santacruz, A., Lagos, T. C. y Checa, O. (2012). Caracterización morfológica de 39 genotipos de la colección de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) de la Universidad de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 57-69.
- Shipley, B. (2016). *Cause and Correlation in Biology: A User's Guide to Path Analysis, Structural Equations and Causal*. (U. P. Cambridge (ed.).
- Silva, R. S., Arcanjo, L. P., Soares, J. R. S., Ferreira, D. O., Serrão, J. E., Martins, J. C., Costa, Á. H. y Picanço, M. C. (2018). Insecticide toxicity to the borer *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae): developmental and egg-laying effects. *Neotropical Entomology*, 47(2), 318-325. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0553-8>
- Simmons, A. T. y Gurr, G. M. (2005). Trichomes of *Lycopersicon* species and their hybrids: effects on pests and natural enemies. *Agricultural and Forest Entomology*, 7(4), 265-276. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2005.00271.x>
- Smith, C. M. (2005). *Plant resistance to Arthropods. Molecular and conventional approaches*. Springer.
- Solis, M. A. (2006). Key to selected pyraloidea (Lepidoptera) larvae intercepted at u. s. ports of entry: revision of pyraloidea in "keys to some frequently intercepted lepidopterous larvae" by WEISMAN 1986. Washington, Department of Agriculture/National Museum of Natural History.
- Tissier, A. (2012). Glandular trichomes: what comes after expressed sequence tags? *The Plant Journal*, 70(1), 51-68. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2012.04913.x>
- Vallejo, A., Restrepo, E. y Lobo, M. 2008. Resistencia al perforador del fruto del tomate derivada de especies silvestres de *Solanum* spp. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 61(1):4316-4324.
- Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O. Rivadeneira, M. F. y Gerard, J. A. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 41, 159-171.