



Recibido: 12/05/2021 | Aceptado: 02/06/2021

Accesible en línea: julio 2021

DOI: 10.37066/ralap.v25i1.420

ISSN: 1853-4961

Parámetros reproductivos de *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) en genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Germán David Sánchez-León¹, Nubia Liliana Cely-Pardo², Nancy Barreto-Triana³, Paola Andrea Sotelo-Cardona^{1,4}

Resumen

La principal plaga del cultivo de papa en Colombia es la polilla guatemalteca *Tecia solanivora*. Como respuesta a esta problemática, Agrosavia evaluó y seleccionó accesiones de papa de la Colección Central Colombiana (CCC) con resistencia a la plaga. En 2013 se hicieron cruzamientos dialélicos recíprocos de variedades comerciales por nativas con atributos de resistencia a polilla guatemalteca. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de híbridos de papa obtenidos de estos cruzamientos, sobre *T. solanivora* y sus parámetros demográficos en condiciones de laboratorio. Se evaluaron cinco genotipos y dos testigos comerciales en un ensayo de no elección, para lo cual se construyó una tabla de vida con dos cohortes consecutivas. Se encontró que los genotipos 4-69, 23-31 y Perla Negra (PN) causaron la mayor mortalidad de larvas (90, 98 y 98%); 23-31 y PN no permitieron la formación de adultos. En los genotipos 4-69 y 23-31 disminuyó la tasa neta reproductiva (R_0) (3,92 y 4,38) y la tasa intrínseca de crecimiento natural (r_m) (0,030 y 0,035) y aumentó significativamente el tiempo de duplicación de la población inicial (TD) (18,14 y 19,35). Estos resultados sugieren que tres de los genotipos evaluados podrían tener atributos de resistencia a *T. solanivora* por el mecanismo de antibiosis al afectar su biología. Este estudio contribuye a la búsqueda de materiales resistentes a la polilla guatemalteca, línea de trabajo del mejoramiento en Colombia.

Palabras clave adicionales: polilla guatemalteca, tabla de vida, antibiosis, antixenosis, resistencia a plagas.

* Autor para correspondencia. E-mail: gsanchez@agrosavia.org.co.

¹ Germán David Sánchez-León. Investigador Máster senior, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Mosquera, Colombia.

² Nubia Liliana Cely-Pardo. Investigadora Máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Mosquera, Colombia. ncely@agrosavia.org.co.

³ Nancy Barreto-Triana. Investigadora Ph.D. Asociada, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Mosquera, Colombia. nbarreto@agrosavia.org.co.

⁴ Paola Andrea Sotelo-Cardona. Scientist (Entomology), Ph.D., AVRDC World Vegetable Center: Shanhua, Tainan, Taiwan. paola.sotelo@worldveg.org.



Reproductive parameters of *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) in potato genotypes (*Solanum tuberosum*)

Abstract

The Guatemalan potato moth *Tecia solanivora* is the main pest of potato crop in Colombia. In 2003, Agrosavia began the identification and selection of potato genotypes from the Central Colombian Collection (CCC) for *T. solanivora* resistance. In 2013 reciprocal diallelic crosses were carried out between commercial varieties and the Guatemalan moth resistant native genotypes. The objective of this study was to determine the effect of potato hybrids obtained from crosses, on *T. solanivora* demographic parameters under laboratory conditions. Five genotypes and two commercial varieties were evaluated in a non-choice trial, through the development of a life table with two consecutive cohorts. Genotypes 4-69, 23-31 and Perla Negra (PN) were found to cause the highest larval mortality (90, 98 and 98%); 23-31 and PN did not allow adults development. In genotypes 4-69 and 23-31, the net reproductive rate (R_0) (3.92 and 4.38) and the intrinsic rate of natural growth (r_m) (0.030 and 0.035) decreased, and the initial population doubling time (TD) increased significantly (18,14 and 19,35). These results suggest that three of the evaluated genotypes could have attributes of resistance to *T. solanivora* due to the antibiosis mechanism by affecting its biology. This study contributes to the search for materials with resistance to the Guatemalan moth, a line of research for potato breeding in Colombia.

Additional Keywords: Guatemalan potato moth, life table, antibiosis, antixenosis, pest resistance.

Introducción

El principal cultivo de clima frío en Colombia es la papa, participa con el 3,1% del PIB agropecuario nacional, es un producto de alto consumo (41 kg per cápita/año). Para 2020, se sembraron 125.000 ha que produjeron 2.780.000 t (Fedepapa-FNFP, 2020). La plaga más importante de la papa en Centro y Suramérica, que ocasiona pérdidas hasta del 100% en campo y en almacenamiento, es la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae), por el daño que causan las larvas que se alimentan exclusivamente del tubérculo de papa. Está presente en centro América, México, Venezuela, Ecuador, Colombia y España (continental e insular) (Carrillo y Torrado-León, 2013; EPPO, 2017) y catalogada como plaga

cuarentenaria por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (Jeger *et al.*, 2018).

Su manejo en Colombia se basa en el control químico (Carrillo y Torrado-León, 2013), ocasionando resistencia a insecticidas piretroides (Bacca *et al.*, 2017), resistencia múltiple a organofosforados y carbamatos (Gutiérrez *et al.*, 2019), contaminación del aire, agua y suelo por residuos, así como aumento en costos de producción de la papa (Villanueva y Saldamando, 2013).

En Colombia, el manejo integrado de *T. solanivora* incluye prácticas culturales como rotación de cultivos, siembra profunda, cosecha oportuna y destrucción de residuos de cosecha, uso de trampas con feromona sexual para atraer adultos macho (Carrillo y Torrado-León, 2013) y

el bioplaguicida formulado a base de granulovirus de *Phthorimaea operculella* para proteger la semilla en almacenamiento (Villanueva y Saldamando, 2013). Otro componente del manejo integrado es el control legal que solo se aplica en España (EPPO, 2017; Jeger *et al.*, 2018).

La resistencia varietal es un pilar de la estrategia de manejo, reduce significativamente el daño causado por insectos plaga (Pelletier *et al.*, 2013), tiene bajo impacto ambiental, permanencia en el tiempo, es económica, de fácil adopción y no requiere conocimientos especiales sobre la planta o plaga (Cardona y Mesa, 2011). En Colombia hay 64 variedades de papa en el Registro Nacional de Cultivares del ICA (2019), de estas, solo la nativa Tuquerreña ha demostrado resistencia a la polilla guatemalteca (Bejarano *et al.*, 1997; Ordóñez *et al.*, 2012; Rivera, 2015), pero presenta baja área de siembra (5.300 ha corresponde al 4.1%) (Fedepapa-FNFP, 2019).

A nivel mundial el enfoque del mejoramiento genético de papa está dirigido a producir variedades de alto rendimiento y con tolerancia o resistencia a enfermedades, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Aunque en los últimos años se ha progresado en la investigación sobre resistencia genética a insectos plaga, son pocos los avances en el mundo y en el país. Colombia ha desarrollado varias investigaciones en resistencia de la papa a la polilla guatemalteca, se han evaluado variedades, clones avanzados, materiales nativos (Álvarez, 2000; Bejarano *et al.*, 1997; Cadena *et al.*, 2005; Ordóñez *et al.*, 2012; Rivera, 2015) y clones transformados con la obtención de líneas transgénicas resistentes a este insecto (Villanueva y Saldamando, 2013).

Dentro de la resistencia genética, se seleccionan materiales resistentes a insectos plaga por parámetros relativos al insecto y a la planta. Para el caso del insecto, se evalúan efectos negativos sobre su biología y comportamiento, que afectan directamente los parámetros de la población, su alimentación, oviposición, fecundidad, duración, tamaño, peso y mortalidad de los diferentes estados biológicos (Gallo *et al.*, 2002).

Según Painter (1951, como se citó en Rivera, 2015), hay diversas interacciones planta-insecto descritas en tres categorías para considerar un cultivar como resistente a un insecto: antibiosis, no-preferencia (antixenosis) y tolerancia, conceptos aún vigentes. El mismo autor define la antibiosis como los efectos adversos sobre la biología de los insectos que al alimentarse de una variedad repercute en su descendencia, representados en menor tamaño y fecundidad, aumento de mortalidad y anormalidades. Para Cardona y Mesa (2011), la antibiosis es causada por la presencia de una alomona o ausencia de una kairomona que interfieren en la biología del insecto y en algunos casos sobre su descendencia, por efecto acumulativo. Pelletier *et al.* (2013), consideran que la antibiosis es la habilidad de la planta en disminuir el éxito de un herbívoro para expresar su potencial biológico, como mecanismo de resistencia por factores propios de la planta que van en detrimento de la fisiología del insecto.

La antixenosis o no-preferencia del insecto hacia la planta se debe a la presencia de factores químicos y físicos (epidermis, tejidos duros, presencia de tricomas, capas de ceras) que alteran la conducta de la plaga (Pompon *et al.*, 2010). Según Cardona y Mesa (2011) la antixenosis puede causar rechazo de la

planta, reducción de la tasa de alimentación, cópula y oviposición que se refleja en una disminución significativa de la población de la plaga en cultivares resistentes y menor daño. Pelletier *et al.* (2013), consideran que la antixenosis es la capacidad de una planta para hacer que el insecto desista de atacarla, afectando el proceso de selección del hospedero. La tolerancia es la capacidad genética de una planta para sobreponerse al ataque de insectos y producir nuevos tejidos después de los daños causados (Cardona y Mesa, 2011).

La construcción de tablas de vida es una metodología utilizada para comprender la dinámica poblacional de una plaga, proporciona datos esenciales como supervivencia, esperanza de vida y tasa de mortalidad (Herrera *et al.*, 2017), permite estimar los parámetros ecológicos y de sobrevivencia de poblaciones de plagas, evaluar el efecto de la resistencia varietal sobre estos parámetros que son la base para el diseño de estrategias de manejo de plagas (Southwood y Henderson, 2000).

Estos parámetros permiten estimar las probabilidades que tiene una población para establecerse y crecer en ambientes determinados. Así, la tabla de vida de un insecto, realizada en laboratorio permite de forma abstracta, estimar lo que ocurre en la naturaleza, al unirlo al conocimiento de su biología, se obtiene información relevante para su control (Duarte *et al.*, 2011).

En 2003, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia, comenzó el estudio y selección de accesiones con resistencia a la polilla guatemalteca dentro de la Colección Central Colombiana (CCC) de papa, evaluando 842 accesiones de la especie *Solanum tuberosum* Grupos Andigenum, Phureja, Tuberosum y Chaucha. Se

realizaron estudios en campo, almacenamiento y laboratorio, preseleccionando 11 genotipos con índices de resistencia que se clasificaron como moderadamente resistentes y resistentes (Cely *et al.*, 2014).

Para 2013, se hicieron cruzamientos dialélicos recíprocos de variedades comerciales (Parda Pastusa, Diacol Capiro, Ica Única, Ica Tequendama, Ica San Jorge, Diacol Monserrate, Tuquerreña y Roja Nariño) con accesiones de papas nativas con atributos agronómicos sobresalientes, buen sabor, alto contenido nutricional, tolerancia a *P. infestans* o resistencia a *T. solanivora* (Elenita (0303), Guata Pamba (1604) y Argentina Roja (2384)). El objetivo de este estudio fue evaluar cinco genotipos F1 resultantes de estos cruzamientos, para determinar su efecto sobre la biología y parámetros poblacionales de la polilla guatemalteca en condiciones de laboratorio e identificar el mecanismo de resistencia que interviene (antixenosis o antibiosis).

Materiales y métodos

Se evaluaron los genotipos 4-69 (Perla Negra x 2384), 23-31 (Ica Única x Argentina), 31-1 (Palinegra x Ica Tequendama), 32-22 (1604 x 2384) y el parental Perla Negra (PN), material que mostró resistencia a la polilla guatemalteca en estudios anteriores. Como testigos comerciales se emplearon las variedades Tuquerreña (Tu) reportada como resistente y Parda Pastusa (PP) como susceptible a *T. solanivora* (Bejarano *et al.*, 1997; Ordóñez *et al.*, 2012; Rivera, 2015).

Parámetros biológicos de *T. solanivora*

Para estimar el efecto de los tratamientos sobre la biología de la polilla, se construyó una tabla de vida con dos

generaciones sucesivas de la plaga. Para la primera generación se utilizaron larvas neonatas de la unidad de crías del laboratorio de Entomología de Agrosavia, la segunda se realizó con larvas neonatas de la primera generación procedentes de cada uno de los tratamientos, en aquellos donde no se obtuvo adultos, se usaron larvas neonatas de la cría. El diseño fue completamente al azar con siete tratamientos y 20 repeticiones para cada ciclo. En un vaso plástico de 236 cc se colocó un tubérculo de 20 gr de cada genotipo (unidad experimental), infestado con 10 larvas neonatas de la misma generación, 24 horas después de la infestación se reemplazaron las neonatas muertas con el fin de disminuir el error experimental por manipulación y atribuir su muerte al efecto del genotipo.

Para cada tabla de vida se determinó la mortalidad (%), supervivencia (%) y duración (días) de cada estado biológico de la polilla (huevo, larva, pupa, adulto). Cuando se obtuvieron los adultos se formaron parejas del mismo tratamiento y edad, se llevaron a cámaras de cópula (frascos de vidrio de 0.5 L tapados con muselina blanca asegurada con banda elástica) y se mantuvieron con solución de agua y miel al 10%.

Para los tratamientos que produjeron pocos machos, se usó el mismo macho como pareja hasta de tres hembras, cada pareja permaneció en la cámara de cópula durante 48 horas. Por tratamiento se evaluaron 15 hembras copuladas y se recolectaron diariamente los huevos, durante el periodo de oviposición. Para todos los adultos se evaluó la longevidad desde la emergencia hasta su muerte. Las variables evaluadas fueron: periodo de oviposición (días), fecundidad (%), fertilidad (%), longevidad y relación de sexos.

Parámetros poblacionales de *T. solanivora*

Para estimar los parámetros poblacionales que afectan el potencial de crecimiento de *T. solanivora*, alimentada en cada tratamiento, se elaboró una tabla de vida horizontal. Se analizó la información de cada hembra: fecundidad diaria, longevidad, hembras resultantes por día, supervivencia de hembras en estado adulto, edad de la hembra y proporción de sexos de la progenie. Los parámetros estimados fueron: Tasa neta reproductiva $R_0 = \sum l_x * m_x$ (1); Tiempo medio

generacional $T = \frac{\sum x l_x m_x}{R_0}$ (2); Tasa

intrínseca de crecimiento $r_m = \frac{\log R_0}{T}$ (3)

(Rabinovich 1980; Southwood y Henderson, 2000) y Tiempo de duplicación $Dt = \frac{\ln(2)}{r_m}$ (4) (Maia *et al.*,

2000).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos de supervivencia de machos y hembras se utilizó el procedimiento LIFETEST del software estadístico SAS (SAS Institute Inc. 2013; Maia *et al.*, 2000), procedimiento no paramétrico que calcula la curva de Kaplan-Meier (SAS Institute Inc., 2013).

Las curvas de supervivencia de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de Log-rank. Los datos relacionados con mortalidad y duración de cada estado biológico de la polilla en los genotipos evaluados se compararon con el procedimiento PROC GLM y los datos se transformaron usando ArcoSeno. Cuando hubo diferencias estadísticamente significativas, se hicieron pruebas de

comparación múltiple para las medias de tratamientos usando la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD).

Para estimar parámetros asociados a tablas de vida, se utilizó el programa SAS/STAT® 13.1, desarrollado por Maia *et al.* (2000). Se realizaron comparaciones pareadas específicas utilizando t-test basados en la estimación de la varianza resultante del método Jackknife, para confrontar los parámetros poblacionales estimados.

Resultados

Parámetros biológicos de *T. solanivora*

Duración de los estados biológicos

El análisis estadístico del tiempo transcurrido en los diferentes estados de la plaga (larva, pupa y adulto), consideró únicamente los individuos que llegaron a adultos. No fue posible estimar los parámetros poblacionales del genotipo 23-31 en la primera generación ni de la variedad PN en la segunda generación.

El tiempo de duración del estado de larva en la primera cohorte fue significativamente superior ($F_5 = 5,1$; $P < 0,0003$), para la variedad PN (23,5 días), versus los genotipos 31-1 y 32-22 (19,1 y 19,6 días). Para la segunda cohorte también hubo diferencias significativas ($F_5 = 8,67$; $P < 0,0001$) entre los genotipos PP, 23-31 y 32-22, donde el estado larval fue más largo (27,5, 27,3 y 26,7 días) frente a los genotipos 31-1 y Tu, con 22,2 y 21,4 días (**Figura 1**).

La duración del estado de pupa no mostró diferencias significativas en las dos

generaciones evaluadas, el menor tiempo fue de 9 días y el mayor de 17. En cuanto a longevidad de adultos no se encontraron diferencias estadísticas en las dos cohortes, en la primera ($P=0,9262$ $F=0,27$) osciló entre 25,8 días para el genotipo 32-22 y 30,3 días con el genotipo 4-69; en la segunda generación ($P=0,2032$ $F=1,49$) el tiempo osciló entre 29,5 días para 31-1 y 41,6 días cuando se desarrollaron en el genotipo 4-69. Así, se concluye que la longevidad de los adultos no fue afectada por los genotipos evaluados, sin embargo, como se inició con un número variable de adultos por genotipo (los producidos en las dos generaciones), se realizó un análisis desbalanceado, que no permite afirmar que existan diferencias en la longevidad. **debido a los tratamientos.**

En la **Figura 2** se presenta la duración total del ciclo de vida de las dos generaciones en los diferentes tratamientos, se evidencia que cuando *T. solanivora* se alimentó del genotipo 4-69 el ciclo de vida fue más largo (63 y 82 días), comparado con el genotipo 31-1 que fue el más corto (59,7 y 64,3). **De acuerdo con Cardona y Mesa (2011), la mayor o menor duración de algún estado biológico o su ciclo completo se asocia con la resistencia varietal.**

Estos resultados sugieren que los genotipos presentan resistencia genética expresada en la prolongación del ciclo de vida de la polilla, menos generaciones, menor población, por tanto, menor ataque al cultivo, que coincide con lo encontrado por Ordóñez *et al.* (2012) y Rivera (2015).

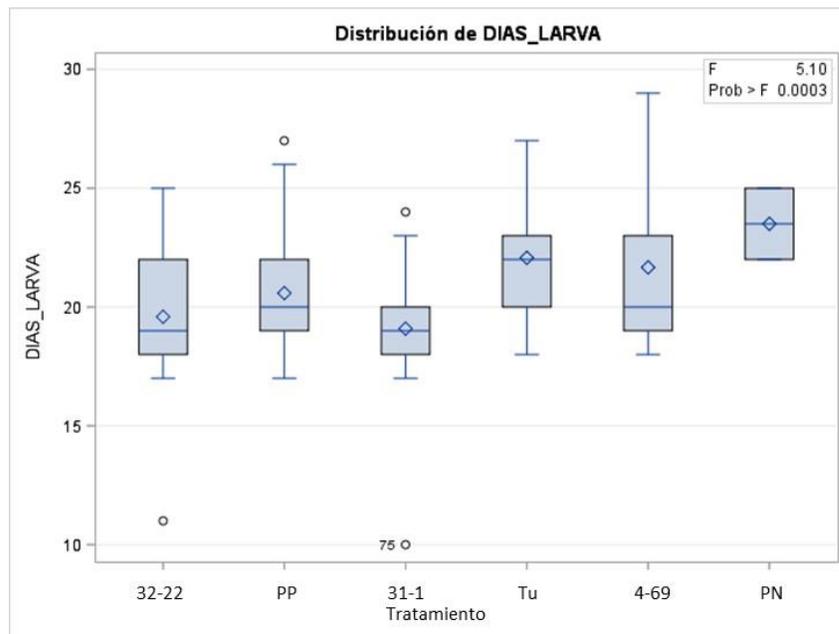


Fig.1a

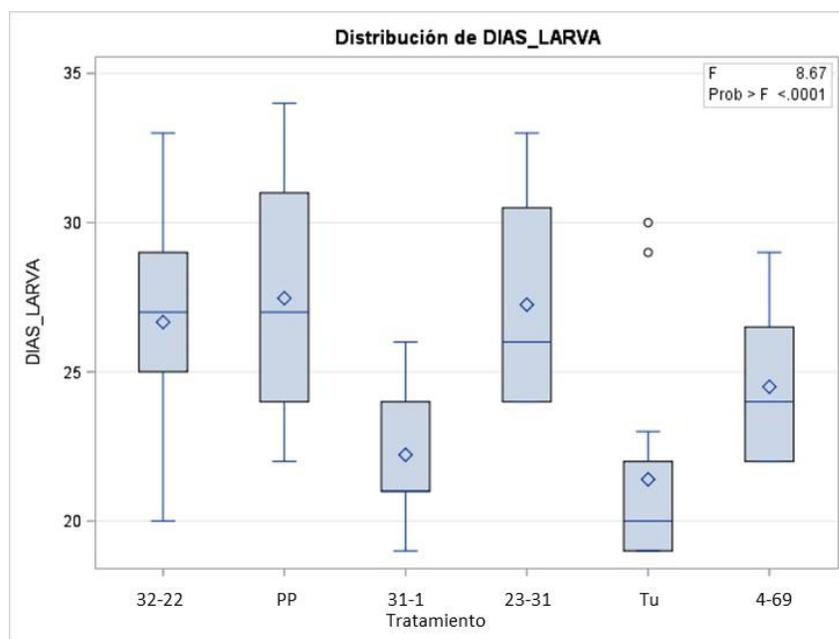


Fig.1b

Figura 1. Duración en días del estado larval de *T. solanivora* en seis genotipos de papa. **Fig.1a)** Generación 1; **Fig.1b)** Generación 2.

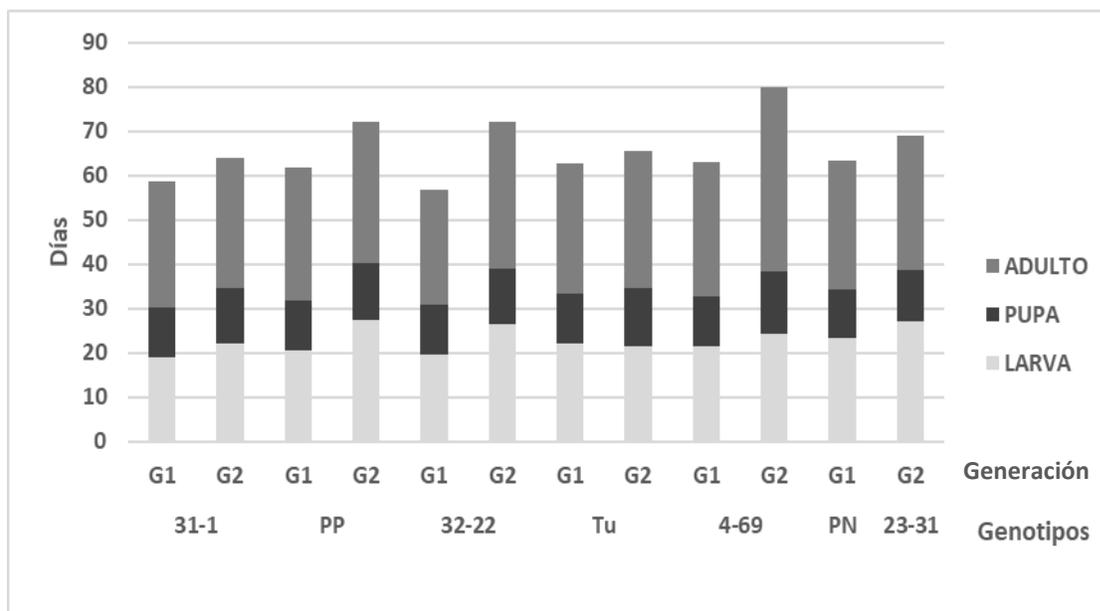


Figura 2. Duración en días del ciclo de vida de *T. solanivora* alimentada con diferentes materiales de papa (G1: generación 1; G2: generación 2).

Mortalidad en cada etapa de desarrollo de *T. solanivora*

El mayor porcentaje de mortalidad en todos los tratamientos, para las dos cohortes, se presentó en el estado larval, 65,6% dentro del tubérculo y 22,6 % para larvas neonatas (Tabla 1).

Mortalidad de larvas neonatas.

Los genotipos que causaron mayor mortalidad de larvas neonatas en la cohorte uno, fueron 4-69 y PN (28,0 y 29,5%) y presentaron diferencias significativas ($F_6 = 3,64$; $P = 0,0022$) con el material 31-1 que ocasionó menor mortalidad (13,5%). En la cohorte 2, la mortalidad más alta de larvas neonatas (36,5 y 40,0%) fue en los genotipos PN y 31-1 y hubo diferencias significativas ($F_6 = 7,76$; $P < 0,0001$) con los genotipos PP y Tu, que ocasionaron baja mortalidad (13,5 y 11,5%) (Error! Reference source not found.; **Figura 3**Error! Reference source not found.).

En esta investigación se corroboró que la variedad comercial PP tiene atributos de susceptibilidad y coincide con Álvarez (2000), Bejarano *et al.* (1997) y Rivera (2015). En cuanto a la variedad Tu (testigo resistente), en las dos generaciones causó menor mortalidad de larvas recién nacidas, resultado que disiente con Ordóñez *et al.* (2012) y Rivera (2015).

Para las dos cohortes evaluadas, la variedad PN arrojó diferencias significativas con los materiales que provocaron baja mortalidad, mostrando atributos de resistencia que pueden ser explicados mediante los mecanismos de antibiosis y antixenosis. Según Gallo *et al.* (2002) frecuentemente es difícil distinguir entre antibiosis y antixenosis por alimentación, debido a que la disminución en el consumo de alimento de los insectos puede afectar de manera importante su biología, salvo si se

realizan ensayos de libre elección y no elección.

Tabla 1. Mortalidad de las etapas de desarrollo, proporción de adultos obtenidos y severidad de daño de una población de *T. solanivora* sobre materiales de papa en laboratorio para dos cohortes consecutivas.

Genotipo	Generación	N	Mortalidad neonatas (%)	Mortalidad larvas (%) en tubérculo	Mortalidad larvas (%)	Mortalidad pupas (%)	Mortalidad acumulada (%)	Supervivencia			Severidad (%)
								Macho (%)	Hembra (%)	Adulto (%)	
32-22	G1	200	21,00%	65,50%	86,50%	4,00%	90,50%	7,00%	2,50%	9,50%	17,5%
	G2	200	19,00%	69,50%	88,50%	3,00%	91,50%	4,00%	4,50%	8,50%	27,5%
PP	G1	200	14,50%	66,00%	80,50%	5,00%	85,50%	7,50%	7,00%	14,50%	52,5%
	G2	200	13,50%	77,00%	90,50%	0,50%	91,00%	3,50%	5,50%	9,00%	28,8%
31-1	G1	200	13,50%	40,00%	53,50%	22,00%	75,50%	12,50%	12,00%	24,50%	75,0%
	G2	130	40,00%	41,50%	81,50%	3,10%	84,60%	6,20%	9,20%	15,40%	28,8%
23-31	G1	200	25,00%	74,00%	99,00%	0,50%	99,50%	0,00%	0,50%	0,50%	6,3%
	G2	200	24,50%	73,00%	97,50%	0,50%	98,00%	0,50%	1,50%	2,00%	12,5%
Tu	G1	200	16,00%	75,50%	91,50%	0,50%	92,00%	3,00%	5,00%	8,00%	31,3%
	G2	200	11,50%	78,50%	90,00%	1,00%	91,00%	4,50%	4,50%	9,00%	23,8%
4-69	G1	200	28,00%	60,50%	88,50%	4,00%	92,50%	4,50%	3,00%	7,50%	35,0%
	G2	200	24,50%	67,00%	91,50%	2,00%	93,50%	5,00%	1,50%	6,50%	26,3%
PN	G1	200	29,50%	66,50%	96,00%	1,50%	97,50%	1,50%	1,00%	2,50%	0,0%
	G2	200	36,50%	63,50%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%

G1=Generación 1; G2=Generación 2

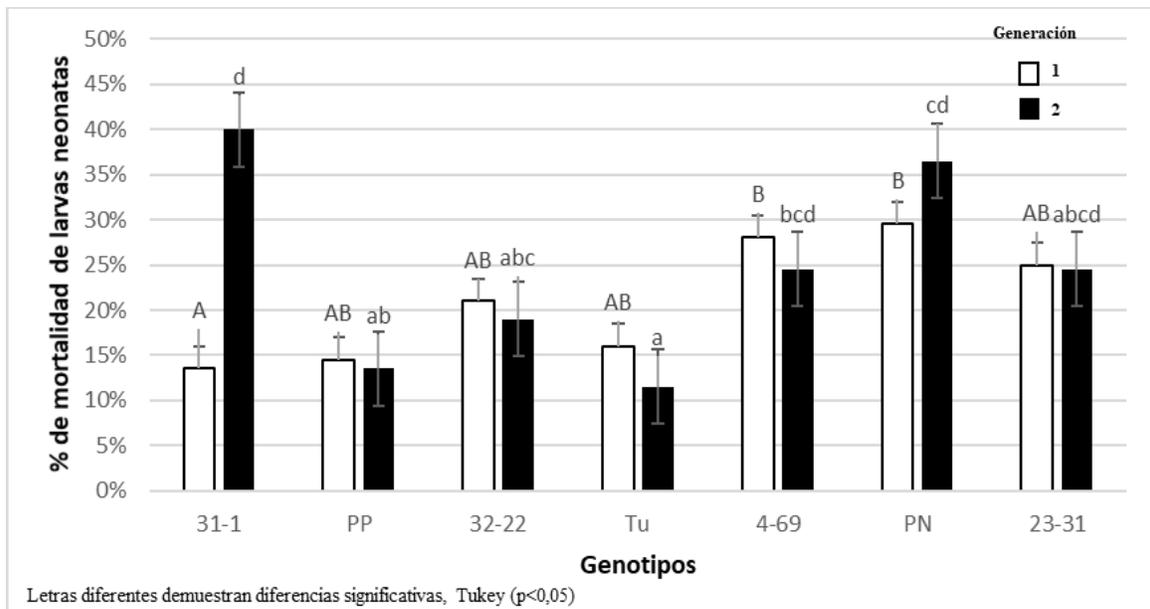


Figura 3. Mortalidad de larvas neonatas de *T. solanivora* sobre genotipos de papa en dos cohortes sucesivas. Los valores medios con diferente letra son significativamente diferentes.

Cardona y Mesa (2011) mencionan que por el mecanismo de antixenosis, la mortalidad se debe al grupo de características de la planta (para este estudio el tubérculo) que afecta la respuesta del insecto e interfiere en su alimentación, el tubérculo repele las larvas, reducen su tasa de alimentación y mueren. Otro atributo asociado a este mecanismo es el espesor de la epidermis, Palacios (2013) demostró que el espesor de la epidermis de los genotipos de papa con resistencia a *Spongospora subterranea* es hasta un 48% más gruesa, respecto a los materiales susceptibles.

En el caso de antibiosis, uno de los efectos más relevantes es la mortalidad de estadios iniciales (Cardona y Mesa, 2011; Gallo *et al.*, 2002). Específicamente en *T. solanivora* Ordóñez *et al.* (2012) y Rivera (2015) consideran que la mortalidad de larvas recién nacidas se da por antibiosis.

Mortalidad de larvas

Los tratamientos PN y 23-31 ocasionaron la mortalidad más alta en el estado de larva (entre 96% y 100%) para las dos cohortes evaluadas y tuvieron el menor promedio de daño (0 y 9,4%), mostraron diferencias significativas con el genotipo 31-1 que provocó la mortalidad más baja (entre 53% y 82%) ($F_6 = 10,01$; $P < 0,0001$ en la primera cohorte y $F_6 = 2,67$; $P = 0,0179$ en segunda cohorte). Para la cohorte 1, la variedad PP (testigo susceptible) y 31-1 mostraron diferencias significativas respecto a los genotipos PN y 23-31. Así mismo, PP y 31-1 presentaron el mayor porcentaje de daño con promedio para las dos cohortes de 40,6 y 51,9% (**Tabla 1**).

Los tratamientos PN y 23-31 presentaron cierto nivel de resistencia que puede ser atribuido a la antibiosis, ya que causaron alta mortalidad en las larvas de polilla que se alimentaron de ellos. Esta respuesta de resistencia fue semejante en las dos cohortes evaluadas y mostró similitud con los resultados de Rivera (2015) en tres cohortes consecutivas. De acuerdo con Cardona y Mesa (2011), estos resultados cumplen con la característica deseable de la resistencia que debe ser estable y permanente en el tiempo. Como es frecuente en los insectos holometábolos, el estado biológico de *T. solanivora* con mayor mortalidad fue el de larva. Estudios realizados por Álvarez *et al.* (2000), Bejarano *et al.* (1997) y Cadena *et al.* (2005), mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable porcentaje de formación de pupas y concluyeron que hubo antibiosis en los genotipos donde se formaron menos pupas.

Supervivencia de adultos

Para las dos cohortes los genotipos donde se obtuvieron menos adultos fueron PN (2,5% y 0%) y 23-31 (0,5% y 2,0%), con diferencias significativas ($F_6 = 5,7$; $P < 0,0001$ para la cohorte 1 y $F_6 = 2,61$; $P = 0,0204$ para la cohorte 2) con respecto al material 31-1, donde hubo mayor número de adultos (24,5% y 15,4%) (

Figura 4). Se destaca que el número de individuos que llegaron al estado adulto en los genotipos evaluados fue bajo, respecto a otras especies de insectos como el caso de *Diaphorina citri* en cítricos (Pérez, *et al.*, 2017).

La supervivencia de hembras adultas mostró diferencias estadísticas entre el material 31-1 que permitió formación de mayor número de hembras (12% y 9,2%) con los genotipos PN y 32-31 (en los que hubo menor número de hembras adultas (1% y 0%) y (0,5% y 1,5%), respectivamente (Error! Reference source not found.;

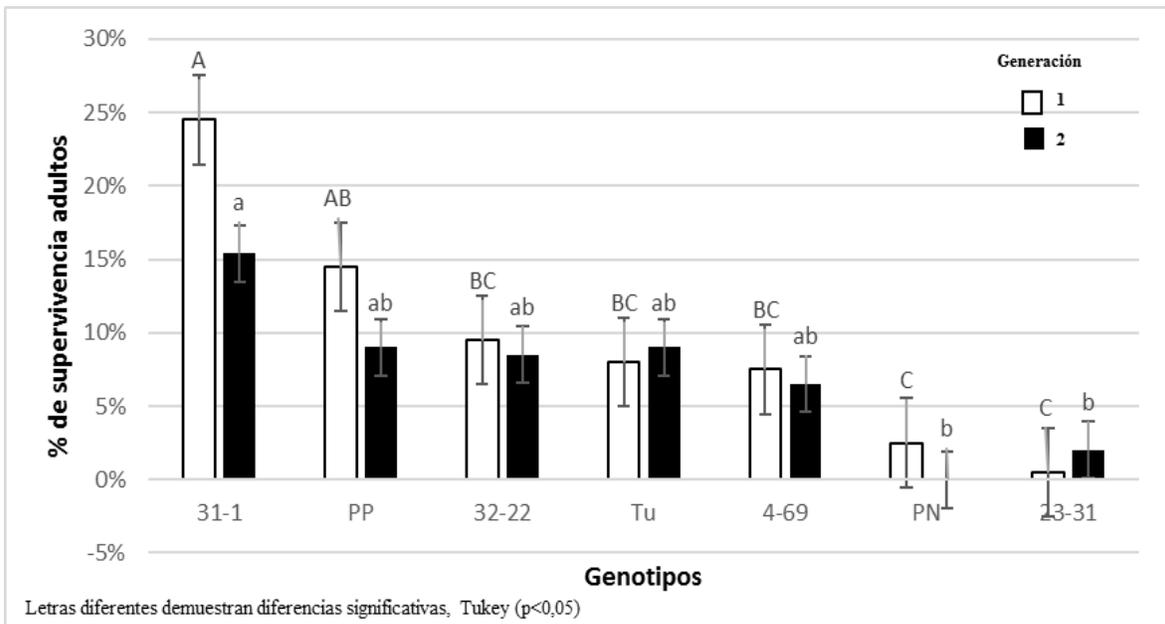
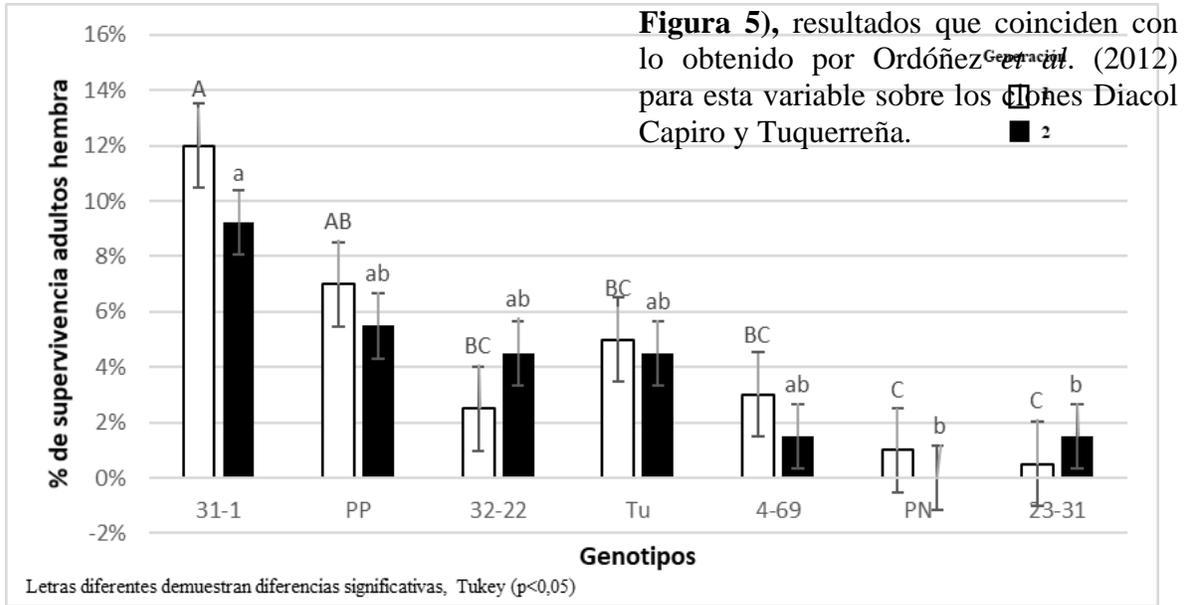


Figura 4. Porcentaje de supervivencia de adultos de *Tecia solanivora* obtenidos de materiales de papa en dos cohortes consecutivas. Los valores medios con diferente letra son significativamente diferentes.

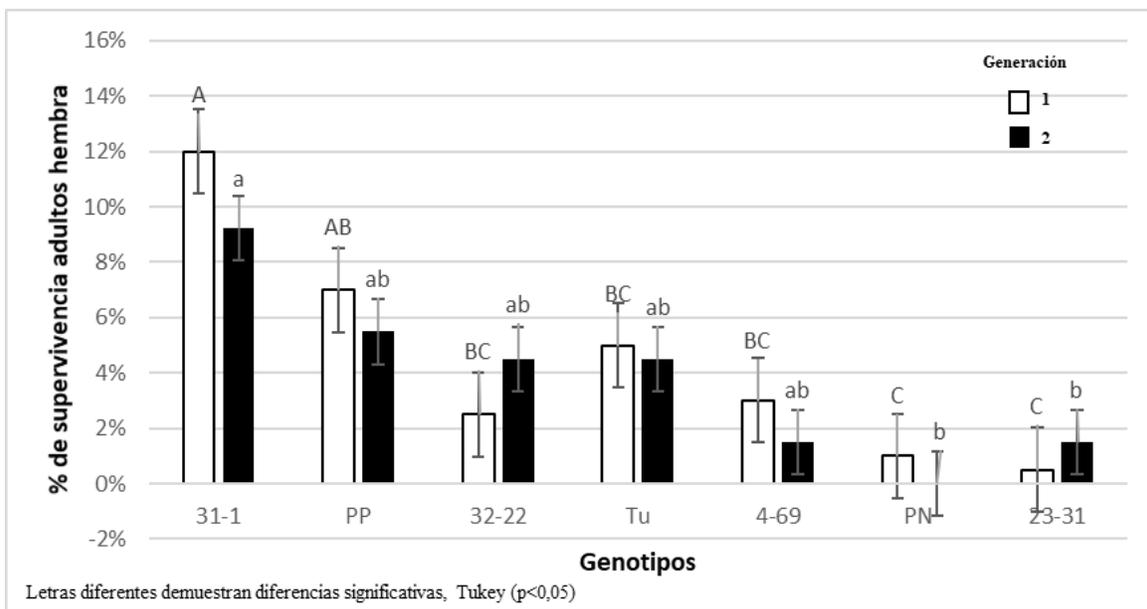


Figura 5. Porcentaje de supervivencia de hembras adultas de *Tectia solanivora* obtenidas en siete materiales de papa. Los valores medios con diferente letra son significativamente diferentes.

Fecundidad (mx) y Supervivencia (Ix) Los tratamientos con mayor número de posturas para la cohorte uno fueron PP y Tu con 264 y 367 huevos/hembra, en la cohorte dos fueron los genotipos PP, 23-31 y 31-1 con 283, 292 y 298 posturas. Los genotipos con menos posturas/hembra en la cohorte uno fueron PN y 32-22 (232 y 162) y en la cohorte dos 4-69 y Tu (243 y 277) (

Tabla 2).

Los tratamientos que permitieron la mayor y menor fecundidad y supervivencia de la polilla guatemalteca en las dos cohortes evaluadas fueron 31-1 (mayor) y 4-69 (menor). La evaluación de PN se realizó solo en la cohorte uno, presentó los valores más bajos de fecundidad (3,71) y de supervivencia (0,025). La evaluación del tratamiento 23-31 se realizó solo en la cohorte dos en la que alcanzó el mayor valor de fecundidad (10,18) y la menor supervivencia (0,019).

Cuando la polilla guatemalteca se alimentó del PP, presentó los mayores

valores de fecundidad y supervivencia en las dos cohortes (4,41 y 0,09 cohorte uno; 4,19 y 0,05 cohorte dos). Sobre Tuquerreña arrojó valores muy variables, para la cohorte uno tuvo una supervivencia baja (0,05) y fecundidad alta (9,21), mientras que para la cohorte dos alcanzó el segundo valor más bajo en fecundidad (3,56) y un valor intermedio en la supervivencia (0,04) (

Figura 6 y Figura 7).

Tabla 2. Fecundidad de hembras de *T. solanivora* en condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Generación 1		Generación 2	
	No. de hembras	Huevos/hembra	No. de hembras	Huevos/hembra
32-22	3	162±107	8	285±121
PP	13	264 ± 74	7	283 ± 39

31-1	10	246 ± 93	11	298 ± 75
23-31			3	292 ± 105
Tu	8	367 ± 140	8	277 ± 76
4-69	5	243 ± 79	3	243 ± 138
PN	1	232		

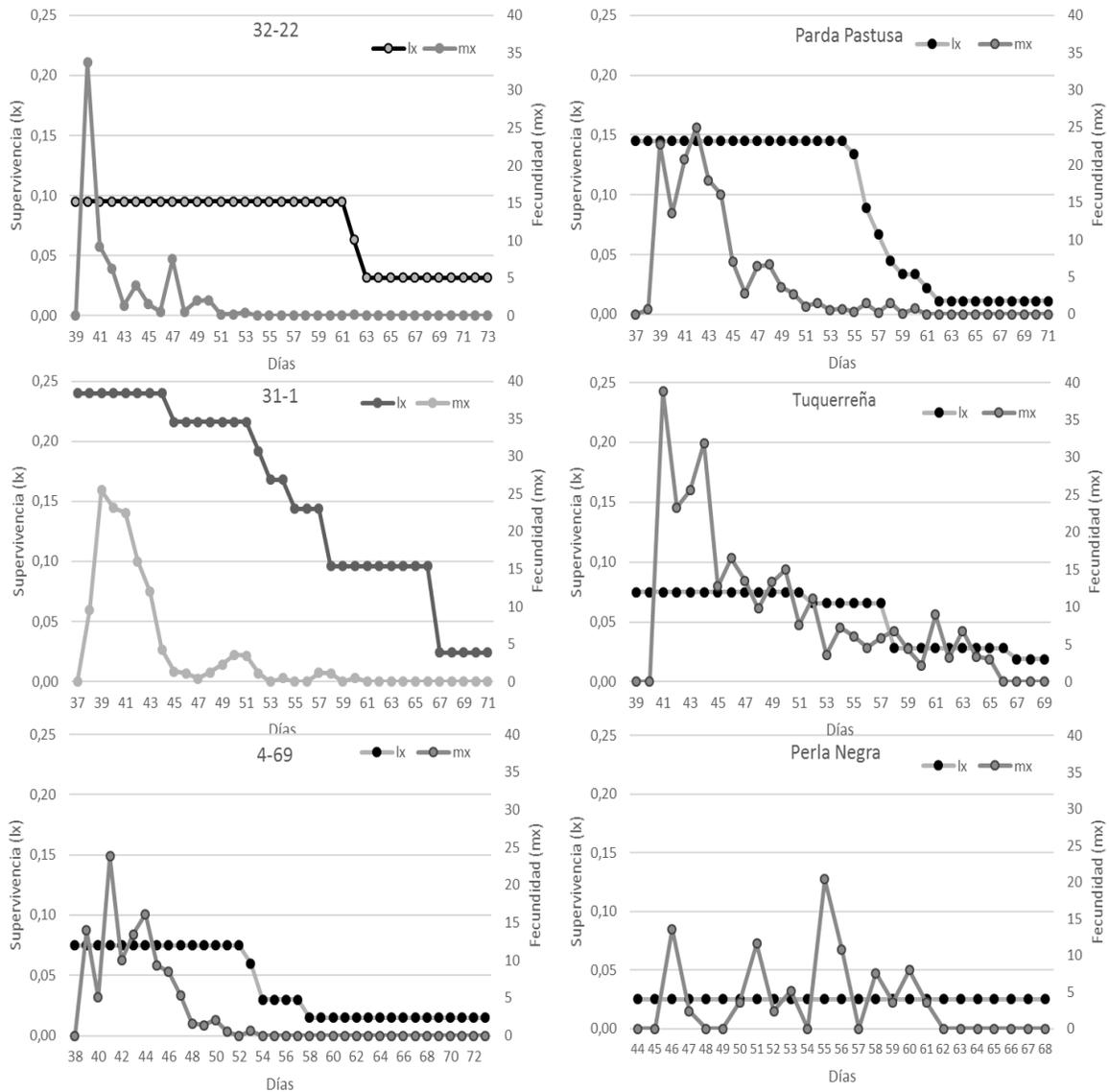


Figura 6. Curvas de fecundidad (mx) y supervivencia (lx) de hembras de *T. solanivora* obtenidas en seis materiales de papa (Cohorte uno).

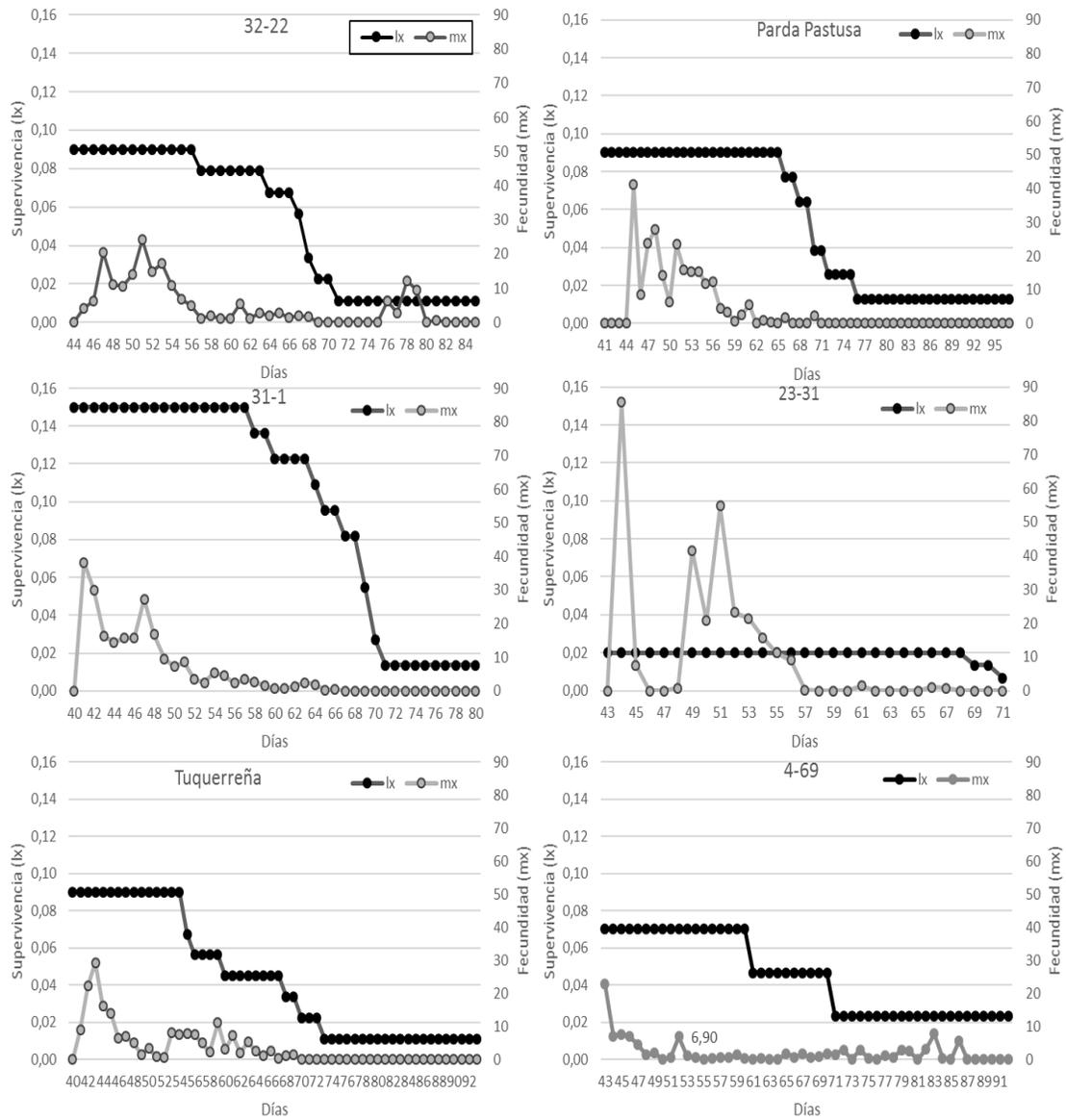


Figura 7. Curvas de fecundidad (mx) y supervivencia (lx) de hembras de *T. solanivora* obtenidas en seis materiales de papa (Cohorte dos).

Considerando que (mx) se refiere a la fecundidad específica a una edad determinada y (lx) a la proporción de individuos sobrevivientes, en esta investigación, los tratamientos PN y 4-69 impactaron las variables mencionadas en *T. solanivora*. Por otra parte, **Tu** impactó negativamente la fecundidad en la cohorte dos, por lo que se puede inferir que afecta la descendencia de la plaga, como concluyeron Ordóñez *et al.* (2012) y Rivera (2015), quienes aseveran que **Tu** tiene un efecto acumulativo negativo sobre el ciclo de vida de la plaga.

Parámetros poblacionales

Para este experimento, la población evaluada presentó crecimiento, los valores de la tasa neta de reproducción (R_o) para todos los tratamientos fueron mayores a uno (Rabinovich 1980; Southwood y Henderson, 2000). En la primera cohorte, el valor más alto de R_o se obtuvo en los tratamientos **Tu**, PP y 31-1, genotipos que contribuyeron con 17, 18 y 30 hembras respectivamente, para la siguiente generación. Los materiales 4-69 y 32-22, aportaron 7 y 4 hembras respectivamente; esto indica que el número de hembras crecerá en las proporciones mencionadas en cada cohorte, cuando *T. solanivora* sea alimentada con estos materiales de papa. Los tratamientos con menor valor de R_o , 4-69 y 32-22, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($P > 0,05$), pero presentaron diferencias con los genotipos con valor de R_o más alto, Tu, PP y 31-1 ($P \leq 0,01$) (**Tabla 3**).

Para la segunda cohorte, los tratamientos PP y 31-1 fueron los de mayor valor R_o , contribuyeron con 16 y 27 hembras para la siguiente generación del insecto plaga, donde 31-1 presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,001$) con

todos los tratamientos (**Error! Reference source not found.**). En esta cohorte, los genotipos 23-31 y 4-69 tuvieron el R_o más bajo y aportaron 4,4 y 3,9 hembras para el siguiente ciclo de la plaga, con diferencias significativas ($P < 0,01$) frente a los genotipos evaluados.

El crecimiento de la población de *T. solanivora* fue favorecido por PP y por el tratamiento 31-1, con valores R_o entre tres y siete veces más altos que los tratamientos 4-69 y 23-31. Así, el insecto, alimentado con los materiales 4-69 y 23-31, tuvo menos posibilidades de éxito reproductivo, porque se obtuvo una cantidad más baja de hembras en las siguientes generaciones.

Entre los testigos Tu y PP no hubo diferencias estadísticas, resultados similares a los obtenidos por Rivera (2015). En las dos cohortes evaluadas, el R_o para PP fue 18,4 y 15,6; para Tu 16,5 y 12,8, resultados que explican el aumento de la población del insecto plaga mantenido con estos materiales de papa; no obstante, los resultados de este estudio son más bajos confrontados con los resultados de Rivera (2015), quién halló para este parámetro valores de 36 y 61 para PP, 61 y 125 para Tu.

Respecto a la tasa intrínseca de crecimiento natural r_m , determinada como la facultad inherente de crecimiento de una población que aumenta en condiciones óptimas, en la primera cohorte, los genotipos 32-22, Tu y 4-69 afectaron negativamente el crecimiento de la población de *T. solanivora*; el tratamiento 4-69 mostró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) con los tratamientos que permitieron una r_m más alta (31-1, Tu y PP) (**Tabla 3**), mientras que el material 33-1 fue diferente

estadísticamente a los genotipos evaluados ($P < 0,05$).

Tabla 3. Parámetros demográficos (r_m , R_0 , TD y T) en dos generaciones consecutivas de *T. solanivora* sobre siete materiales de papa.

Genotipos		PARÁMETROS			
		r_m	R_0	TD	T
4-69	G1	0,06 d	7,3 c	12,46 a	36,09 bc
	G2	0,030 bc	3,92 c	18,14 ab	44,28 a
31-1	G1	0,10 a	29,53 a	7,10 d	34,81 c
	G2	0,083 a	26,8 a	8,36 b	39,73 d
32-22	G1	0,04 bcd	4 c	13,43 abcd	35,39 abc
	G2	0,059 b	13,59 b	11,65 a	44,21 bc
PP	G1	0,08 b	18,39 b	8,64 c	36,37 b
	G2	0,063 b	15,55 b	10,94 a	43,34 bc
Tu	G1	0,07 c	16,51 b	9,79 b	39,81 a
	G2	0,062 b	12,79 b	11,21 a	41,33 c
23-31	G1	-----	-----	-----	-----
	G2	0,035 c	4,38 c	19,35 a	42,52 a
PN	G1	-----	-----	-----	-----
	G2	-----	-----	-----	-----

G1=Generación 1; G2= generación 2; r_m = tasa intrínseca de crecimiento natural; R_0 =Tasa neta reproductiva; TD = tiempo de duplicación de la población inicial; T = tiempo medio generacional. Columnas con medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente para la prueba t-Student.

En la segunda cohorte, el tratamiento 31-1 permitió mayor desarrollo de la plaga y presentó diferencias significativas con los demás genotipos ($P \leq 0,001$), al contrario del genotipo 23-31 que presentó el r_m más bajo y diferencias significativas con los demás genotipos ($P = <0,01$) (Tabla 3). Para las dos generaciones de *T. solanivora*, el genotipo 4-69 aportó el menor número de hijas/hembra/día, mientras que el genotipo 31-1 fue el que más benefició a la polilla.

El tiempo medio de una generación (T), corresponde al lapso promedio que ocurre entre el nacimiento de la madre y el nacimiento de su stirpe. En la primera cohorte, el valor más alto de (T) fue en Tu

(39,8 días) (Tabla 3). En la comparación pareada con el método Jackknife se observó que para este parámetro hubo diferencias estadísticas entre Tu y los tratamientos PP, 31-1 y 4-69 ($P < 0,05$). Para la cohorte dos, se presentaron diferencias estadísticas con el tratamiento 31-1 y los tratamientos 4-69 y 23-31 ($P \leq 0,01$) (Tabla 3). En resumen, sobre el tratamiento 31-1 el insecto plaga necesitó menor tiempo para su desarrollo completo. El tiempo de duplicación de una población (TD) se relaciona con su potencial de reproducción y es equivalente al tiempo que toma la población original en duplicar los individuos que la conforman.

En la primera cohorte, la polilla guatemalteca duplicó su progenie cuando se alimentó con los tratamientos 4-69 y 32-22 (en 12,5 y 13,4 días), con diferencias entre el material 4-69 y los demás tratamientos ($P < 0,05$). Para la segunda cohorte los genotipos 23-31 y 4-69 mostraron mayor TD (19,4 y 18,1 días). El TD de *T. solanivora* en las dos generaciones disminuyó cuando se alimentó de los materiales 31-1 y PP (7,1 y 8,6 días) en la primera cohorte y fue diferente de los otros genotipos $P < 0,001$; mientras que en la segunda solo el 31-1 fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos.

Con el tratamiento 31-1 como fuente de alimento, *T. solanivora* tomó menos días en duplicar su descendencia, en contraste, el TD aumentó al alimentarse con el genotipo 4-69, lo que sugiere características de resistencia, permitiendo menos generaciones del insecto en un ciclo de cultivo, al igual que los resultados de TD reportado por Rivera (2015). Sobre los tratamientos PN y 23-31 hubo mayor mortalidad acumulada y menor formación de adultos hembras, adicionalmente, el estado larval se prolongó sobre el genotipo PN, por lo que se puede inferir que existe acción de antibiosis de acuerdo con Cardona y Mesa (2011). Sobre los materiales PP y 31-1 *T. solanivora* mostró los mayores valores de m_x , l_x , R_0 y r_m y los valores más bajos T y TD (Tabla 3), corroborando la susceptibilidad de PP obtenida por Álvarez (2000) y Bejarano *et al.* (1997).

El genotipo 4-69 presentó menor r_m , R_0 , m_x y l_x ; mayor T , TD y causó alta mortalidad de larvas neonatas. Mientras que sobre los genotipos PN y 23-31 se presentó mayor mortalidad en los estados inmaduros, consecuencia de la antibiosis,

como lo anotan Cardona y Mesa (2011); adicionalmente, ocasionaron la mortalidad más alta en todos los estados de desarrollo, debido a esto se obtuvieron pocos adultos y no fue posible estimar los parámetros poblacionales; por lo anterior, se infiere que estos tres materiales presentaron atributos de resistencia.

De acuerdo con estos resultados se recomienda continuar la evaluación de los genotipos 23-31 y PN para confirmar las características de resistencia frente a *T. solanivora*, debido a que afectan de forma directa los parámetros biológicos y ecológicos del insecto. En cuanto a Tuquerreña, Bejarano *et al.* (1997), Ordóñez *et al.* (2012) y Rivera (2015) encontraron que tiene atributos de resistencia, sin embargo, en este trabajo no presentó un resultado determinante a pesar de mostrar un deficiente desarrollo de hembras adultas, alta mortalidad y comportamiento promedio para r_m , R_0 y TD .

En estudios anteriores realizados en Agrosavia, Tu mostró diferentes respuestas de resistencia y susceptibilidad, esta variabilidad en el comportamiento del material podría estar afectada por el ecotipo de Tuquerreña que se haya empleado en los experimentos. Es conocido que los ecotipos pueden presentar diferencias entre sí por sometimiento a estrés, para el caso de plagas puede manifestarse en las respuestas de resistencia a los insectos; por tal razón, este material nativo comercial debe continuar en evaluación para caracterizar los ecotipos y su respuesta a *T. solanivora*.

Conclusiones

El genotipo 4-69 causó alta mortalidad al estado de larva y afectó negativamente los

parámetros poblacionales de *T. solanivora*. Con la variedad Perla Negra y el genotipo 23-31 fue menor la sobrevivencia de larvas, la formación de adultos y no hubo desarrollo de una nueva generación.

Estos resultados sugieren que los materiales 4-69, 23-31 y Perla Negra presentaron atributos de resistencia a la polilla guatemalteca por el mecanismo de antibiosis.

El presente estudio contribuyó a los avances para el mejoramiento del cultivo de la papa en Colombia seleccionando tres genotipos (23-31, 4-69 y Perla Negra), que requieren seguir su evaluación en condiciones controladas y de campo para aprovechar su potencial de resistencia a *T. solanivora* y en el futuro sean incluidos en el manejo integrado de la plaga.

Conflictos de intereses

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Agrosavia y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación del estudio a través del proyecto “Clones de *Solanum tuberosum* grupo Andigena en proceso de mejoramiento seleccionados por sus atributos agronómicos sobresalientes, calidad y resistencia a factores bióticos (*Tecia solanivora* y *Phytophthora infestans*)”, a Yajaira Romero, al personal del laboratorio de Entomología y del Programa de mejoramiento de papa de Agrosavia por su apoyo en la toma y análisis de información, a los pares evaluadores y a los editores de la Revista

por sus comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Referencias

Álvarez, H. (2000). *Respuesta de 34 genotipos de papa (Solanum tuberosum L.) al ataque de la Polilla guatemalteca (Tecia solanivora, Povolny), en condiciones de laboratorio* (Tesis de pregrado). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Bacca, T.; Haddi, K.; Pineda, M.; Guedes, R.; Oliveira, N. (2017). Pyrethroid resistance is associated with a kdr-type mutation (L1014F) in the potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest Management Science*, 73(2), 397-403. <https://doi.org/10.1002/ps.4414>

Bejarano, V.; Núñez, C.; Luque, E. (1997). Respuesta de 10 variedades de papa (*Solanum tuberosum*) y 3 híbridos interespecíficos al ataque de *Tecia solanivora* en condiciones de almacenamiento. *Agronomía Colombiana*, 15(2), 138-143.

Cadena, M.; Naranjo, A.; Núñez, C. E. (2005). Evaluación de la respuesta de 60 genotipos de *Solanum phureja* (Juz. et Buk.) al ataque de la Polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny). *Agronomía Colombiana*, 23(1), 112-116.

Cardona, C.; Mesa, N. C. (2011). *Resistencia varietal a insectos*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Carrillo, D.; Torrado-León, E. (2013). *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae), an invasive pest of potatoes *Solanum tuberosum* L. in the Northern Andes. En J. E. Peña (Ed), *Potential*

invasive pests of agricultural crops (pp. 126-136). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.

Cely-Pardo, L.; Santa, J.D.; Salinas, A.; Barreto-Triana, N.; Pérez, O. (2019). La apuesta de Agrosavia en la búsqueda de fuentes de resistencia a la polilla guatemalteca en la colección central colombiana de papa. En D. Ríos (Presidencia). *IV Taller Internacional de la polilla guatemalteca de la papa Tecia solanivora*. (pp. 23). Tenerife, España.

Duarte, L.; Ceballos, M.; Baños, H. L.; Sánchez, A.; Miranda, I.; Martínez, M. A. (2011). Biología y tabla de vida de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. *Revista de Protección Vegetal*, 26(1), 1-4.

European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2017). *Tecia solanivora* found in Asturias (ES). *EPPO Reporting service Bulletin*, 4(80), 8.

Federación Colombiana de Productores de papa Fedepapa – Fondo Nacional de fomento a la papa FNFP. (2019). Informe trimestral de coyuntura económica del subsector papa I Trimestre-2020. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/07/Informe-de-Coyuntura-1er-trimestre-2020-1.pdf>

Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira, S.; Lima, R. P.; Baptista, G.; Berti, E.; Parra, J.R.P.; Zucchi, R.A.; Albes, S.B.; Vendramin, J.D.; Marchini, L.C.; Lopes, J.R.S.; Omoto, C. (2002). Métodos de controle de pragas. En R.C. Botequino de Moraes (Ed.), *Entomología Agrícola* (pp. 243-359). Piracicaba, SP, Brasil: FEALQ.

Gutiérrez, Y.; Bacca, T.; Zambrano, L.; Pineda, M.; Guedes, R. (2019). Trade-off

and adaptive cost in a multiple-resistant strain of the invasive potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest Manag Sci* (2019). <https://doi.org/10.1002/ps.5283>

Herrera, M. E.; Dagatti, C. V.; Becerra, V. C. (2017). Tabla de vida y parámetros poblacionales de *Lobesia botrana* (Den.et Schiff.) en condiciones de laboratorio. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 76(3-4), 27-32.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017). *Registro Nacional de Cultivares*. Dirección Técnica de semillas. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Preguntas-Frecuentes/Agricola/Semillas.aspx>

Jeger M.; Bragard C.; Caffier D.; Candresse T.; Chatzivassiliou E.; Dehnen-Schmutz K.; Gilioli G.; Gregoire J-C.; Jaques Miret J.A.; Navajas N., M.; Niere B.; Parnell S.; Potting R.; Rafoss T.; Rossi V.; Urek G.; Van Bruggen A.; Van der Werf W.; West J.; Winter S.; Gardi C.; Bergeretti F.; MacLeod A. (2018) Scientific opinion on the pest categorisation of *Tecia solanivora*. *EFSA J* 16(1):5102. pp 25. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5102>

Maia, A., Luiz, A.; Campanhola, C. (2000). Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: Computational aspects. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 511-518.

Ordóñez, M.; Rosero, J.; Bacca, T. (2012). Resistencia de cinco variedades de (*Solanum* spp., *solanaceae*) al ataque de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 16(1), 108-119.

- Palacios, C.A. (2013). *Características morfológicas de raíces y tubérculos en genotipos de Solanum phureja y su relación con la respuesta al ataque de la sarna polvosa (Spongospora subterranea f. sp. subterranea)*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Pelletier, Y.; Horgan, F.; Pompon, J. (2013). Potato resistance against insect herbivores: Resources and opportunities. En F. Giordanengo, C. Vincent & A. Alyokhin (Eds.), *Insect Pests of Potato. Global perspectives on biology and management* (pp. 439-462). Waltham, Massachusetts, EE.UU.: Elsevier.
- Pérez-Artiles, L.; Busoli, A. C.; Sotelo, P. A.; Arcila A. M. (2017). Biología y parámetros reproductivos de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en diferentes hospederos de Rutaceae. *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2), 141-150.
- Pompon, J.; Quiring, D.; Giordanengo, P.; Pelletier, Y. (2010). Role of host plant selection in resistance of wild *Solanum* species to *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) and *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 137, 73 – 85.
- Rabinovich, J. E. (1980). *Introducción a la ecología de poblaciones animales*. Caracas, Venezuela: Editorial CECSA.
- Rivera T., H. F. (2015). *Evaluación de la resistencia varietal de accesiones de la Colección Central Colombiana de Papa al ataque de la polilla guatemalteca Tecia solanivora (Lepidoptera: Gelechiidae)*. Trabajo de grado. Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá Colombia.
- SAS Institute Inc. (2013). Customizing the Kaplan-Meier Survival Plot. *SAS/STAT® 13.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. (pp. 779-853). Recuperado de <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/131/kaplan.pdf>
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. (2000). *Ecological methods*. 3rd. edition. Oxford, Inglaterra, Reino Unido: Willey-Blackwell Publishing.
- Villanueva, D.; Saldamando, C. (2013). *Tecia solanivora*, Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae): una revisión sobre su origen, dispersión y estrategias de control biológico. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 197-214. Recuperado de <http://www.eafit.edu.co/ingciencia>