



Búsqueda preliminar de fuentes de resistencia a *T. solanivora* en la Colección Central Colombiana de papa

Nubia Liliana Cely-Pardo¹, Yajaira Romero Barrera¹, Zahara Lucía Lasso Paredes¹, Nancy Barreto-Triana¹, Alexandra Santacruz Guevara¹, Yenny Consuelo Peña Puerto²

Resumen

En Colombia, la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) es una de las plagas más limitantes en la producción de papa. Su manejo ha ocasionado el uso intensivo de insecticidas de síntesis químicos que incrementa la resistencia a plagas y que afecta negativamente el ambiente y la salud humana. Una alternativa al control químico es la resistencia varietal como estrategia sostenible para el control de *T. solanivora*. Este trabajo se centró en aprovechar la diversidad genética de la Colección Central Colombiana de papa (CCC) para buscar fuentes de resistencia al insecto plaga. 132 accesiones de la CCC fueron evaluadas en experimentos de no elección en laboratorio y de libre elección en almacenamiento en el C.I. Tibaitatá, ubicado en Mosquera Cundinamarca. Se seleccionaron cinco genotipos que mostraron consistentemente características de resistencia a la plaga. Estos materiales se evaluaron en condiciones de campo para determinar su respuesta al daño de *T. solanivora* con infestación natural en un municipio productor con alta incidencia de polilla. Se encontraron diferencias significativas entre los materiales evaluados ($p < 0,0001$, $F=10,54$, $gl=7$). Los genotipos 1815 y 2384 presentaron menor daño y menor susceptibilidad, las variedades comerciales Perla Negra y Parda Pastusa mostraron susceptibilidad al insecto. La prueba de correlación de Spearman mostró relación entre incidencia de polilla y la intensidad y color primario de la flor ($Rho=0,74882$, $p=0,0325$; $Rho=-0,82479$, $p=0,0117$). En cuanto al rendimiento, el material 1815 presentó los mayores valores. En conclusión, se destacan los materiales 1815 y 2384 como promisorios para variedades o como parentales valiosos en un programa de mejoramiento

Palabras clave adicionales: Polilla guatemalteca, Antibiosis, Antixenosis, Fenología, Resistencia varietal

* Autor para correspondencia. ncely@agrosavia.co

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Mosquera, Colombia.

2 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Tunja, Colombia.



Preliminary search for sources of resistance to *T. solanivora* in the Colombian Central Collection of potato

In Colombia, the Guatemalan potato tuber moth *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) is one of the most limiting pests in potato production. Its management has been oriented to the intensive use of chemical insecticides with increases pest resistance and negative effects on the environment and human health. An alternative to use of these agrochemicals is varietal resistance as a sustainable strategy for the control of *T. solanivora*. This work focused on taking advantage of the genetic diversity of the Colombian Central Collection of Potato (CCC) to search for sources of resistance to the insect pest. A total of 132 accession from CCC were evaluated in no-choice experiments in the laboratory and in free-choice experiments in storage at C.I. Tibaitatá. Five genotypes were selected that consistently showed pest resistance characteristics. These materials were evaluated under field conditions to determine their response to *T. solanivora* damage with natural infestation in a producing municipality with high moth incidence. Significant differences were found among the materials evaluated ($p < 0.0001$, $F = 10.54$, $gl = 7$). Genotypes 1815 and 2384 showed less damage and lower susceptibility, and the commercial varieties Perla Negra and Parda Pastusa showed susceptibility to the insect. Spearman's correlation test showed a relationship between moth incidence and flower intensity and primary color ($p = 0.74882$, $p = 0.0325$; $p = -0.82479$, $p = 0.0117$). In terms of yield, material 1815 presented the highest values. In conclusion, materials 1815 and 2384 stand out as promising for varieties or as valuable parents in a breeding program.

Additional keywords: Guatemalan moth, Antibiosis, Antixenosis, Phenology, Varietal resistance

Introducción

En Colombia, la papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los sistemas productivos más importantes, a nivel socioeconómico participa con el 3,3% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario nacional (MADR, 2020). La producción de papa en el país se concentra en ocho departamentos, de los cuales Boyacá, Nariño y Cundinamarca son los que más aportan a la producción, que representa el eje fundamental de la economía local en 283 municipios (Fedepapa-FNFP, 2020).

Uno de los problemas fitosanitarios del cultivo más relevante y de mayor complejidad en su manejo es la Polilla Guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny), insecto plaga de hábito monófago que

ataca el tubérculo de la papa en campo y almacenamiento, ocasionando pérdidas que oscilan entre el 50 y el 100% de la producción del cultivo (Villanueva y Saldamando, 2013). Debido a los daños y pérdidas ocasionadas por la plaga, los agricultores utilizan productos de síntesis química de categoría I y II a base de Permetrina, lo que genera resistencia moderada a piretroides (Bacca et al., 2017) y resistencia múltiple a organofosforados y carbamatos (Gutiérrez et al., 2019), moléculas químicas más usadas para el control de la polilla. Esto trae consigo inconvenientes sociales, en la salud humana, impacto económico negativo en los productores y daños al ambiente, rompiendo el equilibrio ecológico del agroecosistema de papa (Gamarra y Kreuze, 2019).

Desde la llegada de la polilla guatemalteca a Colombia, se implementó un plan de manejo integrado de la plaga (MIP), que incluye: control biológico como el uso del bioplaguicida

Baculovirus (Baculoviridae) (Villanueva y Saldamando, 2013); control etológico como el uso de trampas con feromona sexual para atracción de adultos macho (Argüelles et al., 2012); prácticas culturales como siembra profunda, eliminación de residuos de cosecha y rotación de cultivos; control químico con insecticidas registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) específicos para polilla y de categoría toxicológica II ó III (Ñúñez-López, 2020). Sin embargo, los resultados no han sido totalmente exitosos.

Ante esta situación, el uso de variedades con resistencia genética debería ser la base fundamental de cualquier estrategia MIP (Cardona & Mesa, 2011; Gallo et al., 2002), ya que contribuyen de manera limpia, económica (la semilla no tiene un costo adicional) y amigable con el medio ambiente a mantener la población de insectos plaga por debajo de niveles, que causen daño económico (Ordóñez, 2012). Mundialmente, los programas de mejoramiento genético de papa se han enfocado en la obtención de variedades de alto rendimiento y con resistencia o tolerancia a enfermedades, principalmente a *Phytophthora infestans*.

A pesar de los avances en la investigación sobre resistencia genética de la papa frente al ataque de insectos plaga, aún son muy limitados los esfuerzos. Específicamente para *T. solanivora* los estudios en busca de resistencia varietal en papa se han realizado en Colombia, se reportan estudios con algunos materiales de papas

nativas, clones avanzados y clones transformados (Álvarez et al., 2000; Bejarano et al., 1997; Cadena et al., 2005; Ordóñez et al., 2012; Rivera & López, 2010; Rivera, 2015; Sánchez et al., 2021; Valderrama et al., 2007). Sin embargo, aún no se cuenta con una variedad que posea el atributo de resistencia a *T. solanivora*.

Para la búsqueda de fuentes de resistencia genética a insectos plaga, se seleccionan los materiales por parámetros relativos al insecto y a la planta. En el caso del insecto, se evalúan los efectos negativos sobre su biología y comportamiento que afecten directamente su éxito reproductivo (Gallo et al., 2002). Según Painter (1968), conceptos aún vigentes, se identifican tres mecanismos por los que se puede determinar la resistencia de una planta a un insecto: *antibiosis*, describe los efectos negativos de un genotipo resistente sobre la biología del insecto, disminuye paulatinamente el crecimiento de su población; *antixenosis* o no preferencia, describe las características de un genotipo que afecta la conducta del insecto, interfiere en su alimentación, cópula y oviposición; *tolerancia*, no afecta al insecto, es la habilidad genética que tiene la planta de recuperarse del daño causado por el insecto plaga (Cardona y Mesa, 2011).

Desde el año 2002 la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) generó proyectos de investigación con el objeto de buscar resistencia varietal en genotipos de la Colección Central Colombiana de papa – CCC, que cuenta con 1189 accesiones pertenecientes a *Solanum tuberosum*, distribuidas en los grupos *Andigena*, *Tuberosum* y *Phurejas*, recurso genético

que cuenta con un gran potencial aún no explorado para el desarrollo de nuevas variedades a partir de materiales nativos (Berdugo-Cely et al., 2017).

En los estudios realizados por AGROSAVIA entre el año 2002 al 2004 se evaluaron por resistencia a *T. solanivora*, 846 genotipos de *Solanum tuberosum* grupos

Andigena, *Tuberosum*, *Phureja*

y *Chaucha* pertenecientes a la CCC, donde se identificaron alrededor de 60 genotipos con alguna respuesta de resistencia en experimentos de no elección en laboratorio (Cifuentes y López-Ávila, 2004). A partir de estos resultados, el objetivo del presente estudio fue seleccionar accesiones de genotipos nativos pertenecientes a la CCC por sus características de resistencia (antibiosis y antixenosis) a la polilla guatemalteca, para luego ser evaluados en condiciones de campo en finca de pequeño productor en un municipio con alta incidencia de la plaga, caracterizar los materiales en la zona, establecer correlaciones entre sus características fenológicas y las respuestas de resistencia a la plaga, además de evaluar características de interés agronómico como el rendimiento.

Material y Métodos

Se realizaron experimentos de no elección (laboratorio), libre elección (almacenamiento), y parcela en campo en finca de pequeño productor (evaluación regional), para evaluar los mecanismos de resistencia (antibiosis o antixenosis) de accesiones de papa de los grupos *Andigena* y *Tuberosum*, de la especie *S. tuberosum*, pertenecientes a la CCC, seleccionados con cualidades de resistencia a *T. solanivora* por Cifuentes y López-Ávila en el año 2004.

Experimentos de no elección: En laboratorio bajo condiciones controladas (temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $55\pm 10\%$ de humedad relativa) y con base en la metodología elaborada por Bejarano et al. (1997), se establecieron dos ensayos independientes de no elección. El experimento consistió en infestar tubérculos recién cosechados de aproximadamente 20g con 10 larvas neonatas, provenientes de la unidad de crías de insectos del Laboratorio de Entomología del C.I. Tibaitatá. Los tubérculos fueron evaluados 40 días después de la infestación. Se empleó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Dependiendo de la disponibilidad de materiales, en el primer ensayo se evaluaron 111 accesiones y en el segundo 71, incluyendo 54 evaluadas en el primer ensayo. En ambos casos se empleó la variedad Parda Pastusa (PP) como testigo susceptible.

Experimentos de libre elección o preferencia de oviposición: Se realizaron experimentos durante cuatro años consecutivos, se emplearon jaulas entomológicas de 3m de largo x 3m de ancho y 2,5m de altura ubicadas en una bodega para simular las condiciones de almacenamiento de los productores de papa del altiplano Cundiboyacense (temperatura de $16\pm 2^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de $60\pm 10\%$ y luz difusa).

Dentro de la jaula y de forma aleatoria se distribuyeron costalillos de fibra con 10 tubérculos por accesión, el número de accesiones evaluadas en cada uno de los ensayos varió de acuerdo con la disponibilidad de tubérculos en la CCC. Se emplearon como testigos las variedades comerciales Parda Pastusa (PP) y Diacol Capiro (DC), las cuales han sido reportadas en diferentes estudios como

susceptibles al ataque de la polilla guatemalteca (Ordóñez et al., 2012; Rivera, 2015 y Sánchez, 2021).

En cada jaula, se ubicaron cinco plataformas de madera en puntos equidistantes desde dónde se liberaron los adultos de polilla guatemalteca a razón de 20 parejas por punto de liberación para garantizar alta presión de la plaga. Previamente, los adultos provenientes de la cría fueron emparejados y dispuestos en cámaras de cópula durante 24 horas, para garantizar la gravidez de las hembras al momento de la liberación en las jaulas y posterior oviposición.

Para todos los ensayos de libre elección, se empleó un diseño en bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, donde cada jaula fue considerada un bloque y la unidad experimental el costalillo con los tubérculos. Las evaluaciones de todas las variables se realizaron a los 60 días después de la infestación.

Evaluación preliminar de materiales seleccionados en condiciones de campo (Parcela de evaluación regional):

En el municipio de Toca – Boyacá con temperatura promedio anual de 13°C, precipitación promedio 55,70 mm/mes y humedad relativa 40%, se estableció un primer ciclo de evaluación en campo en la vereda Cunuca a 3004 m s.n.m. El objetivo de este ensayo fue evaluar la respuesta de los materiales de papa al ataque de la plaga con infestación natural, realizar la caracterización morfológica según la guía propuesta por Gómez (2000) y evaluar componentes de rendimiento.

tubérculo fue cortado en cuatro partes iguales, se asignó a cada parte un valor de

En el experimento se evaluaron ocho tratamientos: cinco genotipos nativos de la CCC (1604, 1629, 1815, 2581, 2384) del grupo Andígena y *Tuberosum* seleccionados por sus características de resistencia a *T. solanivora* en condiciones controladas y 3 testigos comerciales (PP, Tuquerreña y Perla Negra - PN). La parcela experimental estuvo conformada por cuatro surcos de 10m de largo, distanciados 1m entre surcos y 0,35m entre plantas; se empleó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro repeticiones para un área total de 1500m².

Con el fin de no interferir en la respuesta de resistencia de los materiales de papa a la infestación natural de *T. solanivora*, a partir del inicio de botón floral no se aplicaron medidas de control químico contra insectos. Las labores culturales se realizaron según criterio y manejo tradicional del agricultor.

Para verificar la presencia de la plaga en el lote durante todo el ciclo del cultivo, se instaló desde la siembra una trampa con feromona sexual para captura de machos adultos, evaluada semanalmente con el conteo de las polillas (Argüelles et al., 2012).

Variables evaluadas:

I. Resistencia a polilla guatemalteca

Laboratorio: Se evaluaron dos variables, 1. Desarrollo Biológico (DB) en la cual se determinó el número de adultos obtenidos en los ensayos de no elección y el número de orificios de salida en los ensayos de libre elección; 2. Porcentaje de severidad de daño (PSD) en los dos ensayos cada cero (totalmente sano) o de 25% (presencia daño); posteriormente se

sumaron los valores y se determinó el porcentaje total de daño (Cifuentes y López-Ávila, 2004; Rivera y López-Ávila, 2010).

Campo: se eligieron al azar 30 tubérculos por surco para un total de 120 por tratamiento, los cuales fueron inspeccionados visualmente en búsqueda de daño y se determinó el Porcentaje de Incidencia de Daño (PID). Con el fin de seleccionar de forma objetiva los materiales que expresaron resistencia a *T. solanivora*, en todos los ensayos realizados se emplearon escalas de

incidencia descritas por Barreto et al., (2013) para cada variable evaluada (**Tabla 1**).

Posteriormente, se estimó un índice de resistencia para cada genotipo mediante la ecuación:

$$IR = \frac{(n \times 5 + n \times 4 + n \times 3 + n \times 2 + n \times 1)}{nt}$$

Donde: IR: Índice de resistencia, n: Frecuencia de cada nivel de resistencia y nt: Número total de resultados.

Tabla 1. Escalas para calificar variables evaluadas en experimentos de no elección, libre elección y en campo, con niveles de resistencia para seleccionar accesiones de la Colección Central Colombiana de papa por resistencia a *Tecia solanivora*.

Incidencia (%)	Severidad (%)	Nº de orificios	Nº de individuos desarrollados	Nivel de resistencia	Índice de resistencia
0	0	0	0	Altamente resistente (AR)	5
Menor del 3%	25	3	0,1 - 1	Resistente (R)	4
3 a 5 %	50	6	1,1 - 2	Moderadamente resistente (MR)	3
5,1 a 10 %	75	10	2,1 - 3	Susceptible (S)	2
Mayor de 10 %	100	Mayor a 10	>3	Altamente susceptible (AS)	1

II. Caracterización morfológica

Se evaluaron 19 características cualitativas en cuatro etapas del cultivo (**Tabla 2**): Desarrollo vegetativo de la planta; floración, al alcanzar más del 50% de flores abiertas; fructificación, bayas con tamaños entre 1,0 a 1,5 cm de diámetro; tubérculos a la cosecha, en el punto de cosecha se tomaron cinco tubérculos representativos por cada accesión, y se utilizó la guía para la caracterización morfológica en papa propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP) (Gómez, 2000).

Componentes de rendimiento:

Las variables de rendimiento se evaluaron en cada material según su madurez fisiológica. Se cosecharon los dos surcos centrales para un total de 20 m² por unidad experimental; se contaron y pesaron los tubérculos por categoría de tamaño comercial según la Norma Técnica Colombiana 341 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 1996).

Análisis de los datos:

Ensayos de laboratorio y bodega: los ensayos de no elección y los tres primeros ensayos de libre elección fueron sometidos a análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre los materiales, adicionalmente se aplicó análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad y el análisis de conglomerados para agrupar materiales con comportamiento similar empleando el método de varianza mínima de Ward y la

distancia Euclidiana al cuadrado. Los datos del cuarto ensayo de libre elección fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey y de Dunnett.

Ensayos de Campo:

Las variables de incidencia de la plaga y componentes de rendimiento se analizaron empleando análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey. Para determinar la asociación entre el ataque de polilla y las variables de color de flor y tubérculo, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman. Para todos los análisis se usó un nivel de significancia del 0,05 y se empleó el software estadístico SAS 9.4.

Resultados y Discusión

Experimentos de no elección: en los experimentos uno y dos se pudo evidenciar que existen diferencias estadísticamente significativas para las variables PSD ($p < 0,0001$ $F = 8,24$ $gl = 110$ y $p = 0,0070$ $F = 1,56$ $gl = 70$ respectivamente) y para DB ($p < 0,0001$ $F = 5,90$ $gl = 110$ y $p < 0,0001$ $F = 2,03$ $gl = 70$ respectivamente). Se realizó análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC) para cada uno de los ensayos. Los materiales evaluados en ambos casos se agruparon en tres conglomerados según su nivel de respuesta de resistencia o susceptibilidad (**Tabla 3**) y se seleccionaron aquellos grupos donde se encontraron las accesiones que permitieron desarrollo de adultos menor del 15% y PSD por debajo de 50%.

Tabla 2. Descriptores morfológicos en relación con la etapa del cultivo.

Etapa	Descriptor	Abreviatura
Desarrollo vegetativo	Hábito de Crecimiento de las plantas	HC
	Color de Tallo	CT
	Forma de las Alas del Tallo	FAT
Floración	Grado de floración	GF
	Forma de la Corola	FC
	Color Primario de la Flor	CPF
	Intensidad Color Primario de la Flor	ICPF
	Color Secundario de la Flor	CSF
	Distribución del Color Secundario de la Flor	DCSF
Fructificación	Forma de la baya	FB
	Color de la Baya	CB
Tubérculos a la cosecha	Formas raras del tubérculo	FRT
	Profundidad de ojos	POT
	Color primario de la piel tubérculo	CPT
	Intensidad del color primario de la piel del tubérculo	ICPT
	Color secundario del tubérculo	CST
	Distribución del color secundario del tubérculo	DCST
	Color primario de la carne del tubérculo	CPCT
	Color secundario de la carne del tubérculo	CSCT
	Distribución del color secundario del tubérculo	DCSCT

Fuente: Gómez, 2000

Tabla 3. Agrupaciones dadas mediante el análisis de conglomerados empleando el método de varianza mínima de Ward.

Experimento	Grupo	N	Valor	Promedio		
				Severidad	Desarrollo biológico	Incidencia
No Elección 1	1	34	Mínimo	24,41	6,06	
	3	31	Medio	79,19	27,48	
	2	46	Máximo	94,08	45,00	
No Elección 2	1	37	Mínimo	13,20	48,00	
	3	5	Medio	20,49	82,57	
	2	29	Máximo	45,45	92,59	
Libre elección I	1	25	Mínimo	8,00	0,08	3,38
	2	7	Medio	46,43	1,10	20,71
	3	1	Máximo	83,33	15,00	58,33
Libre elección I*	1	15	Mínimo	0,00	0,00	0,00
	2	10	Medio	20,00	0,20	8,45
	3	7	Máximo	46,43	1,10	20,71
Libre elección II	1	24	Mínimo	2,67	0,05	0,04
	2	13	Medio	18,92	0,85	0,25
	3	1	Máximo	84,17	13,50	0,90
Libre elección II *	1	25	Mínimo	2,99	0,06	0,04
	2	8	Medio	15,31	0,49	0,20
	3	2	Máximo	29,64	1,11	0,42
Libre elección III	1	24	Mínimo	8,18	0,34	12,70
	2	8	Medio	41,37	2,38	57,14
	3	1	Máximo	80,00	16,87	93,33
Libre elección III *	1	22	Mínimo	8,71	0,36	13,42
	2	8	Medio	41,37	2,38	57,14
	3	1	Máximo	80,00	16,87	93,33

*No incluye los testigos comerciales

La relación de crecimiento A:B En las accesiones elegidas de los experimentos de no elección se identificaron características de resistencia por el mecanismo de antibiosis, dado el bajo porcentaje de daño en los tubérculos, limitación en el desarrollo y mayor duración de los estados biológicos de *T. solanivora*, lo cual concuerda con los atributos de resistencia a insectos mencionados por Gallo et al. (2002) y Cardona y Mesa (2011).

Experimentos de libre elección o preferencia de oviposición: En el primer experimento el análisis de varianza mostró diferencias significativas para las variables de incidencia y severidad ($p < 0,0102$ $F=1,98$ $gl=32$ y $p < 0,0030$ $F=2,24$ $gl=32$ respectivamente), pero no para el desarrollo biológico ($p=0,304$ $F=1,16$ $gl=32$). Como no fue posible identificar claramente las diferencias entre accesiones, se repitió el ensayo dos veces más con algunos materiales evaluados en la etapa de laboratorio y otros de la CCC sin evaluar (según la disponibilidad de tubérculos); se encontraron diferencias estadísticas en todas las variables en el ensayo dos (incidencia ($p < 0,0001$ $F=9,95$

$gl=37$), severidad ($p < 0,0001$ $F=12,33$ $gl=37$) y desarrollo biológico ($p < 0,0001$ $F=4,80$ $gl=37$), al igual que en el ensayo tres (Incidencia: $p < 0,0001$ $F=4,95$ $gl=32$, Severidad: $p < 0,0001$ $F=4,99$ $gl=32$ y Desarrollo Biológico $p < 0,0001$ $F=6,0$ $gl=32$). Se agruparon los genotipos de papa según sus respuestas de PID y PSD, así como por su capacidad de limitar el desarrollo biológico del insecto. Para los tres experimentos de almacenamiento se realizaron ACP y AC y en todos los casos el material PP (testigo AS) no se agrupó con ninguna accesión, y no se tuvo en cuenta para las agrupaciones. Se repitieron los análisis multivariados y se determinaron tres grupos en cada ensayo, diferenciándose por nivel bajo, medio y alto de respuesta a las variables evaluadas. De esta forma se agruparon los materiales según su respuesta a *T. solanivora* (**Tabla 3**).

Se seleccionaron las accesiones ubicadas en el grupo uno, de acuerdo con las escalas de resistencia (Tabla 1), se eligieron 15 genotipos del experimento uno, 25 del experimento dos y 22 del experimento tres (**Tabla 4**).

Tabla 4. Calificación cualitativa de la respuesta de resistencia a *T. solanivora* de los materiales de papa seleccionados de la CCC en experimentos de libre elección en condiciones de almacenamiento (*índice de resistencia estimado teniendo en cuenta también los resultados de experimentos de no elección).

Accesión	Ensayo Libre elección				
	I	II	III	IV	*IR
0027		MR			MR
0121		S			S
0303	S	AR	AS		MR
0907	MR	S			S

Accesión	Ensayo Libre elección				
	I	II	III	IV	*IR
1202			MR		MR
1213		AR			MR
1215		S			AS
1235		S			S
1236		R			S
1237		S			AS
1239		AR			MR
1257		MR			S
1259		MR			S
1282		S			AS
1286	R	AR			MR
1287		MR			MR
1290	R	MR	MR	S	MR
1300		AR			MR
1317		AR			MR
1331	AR	MR	MR		MR
1333		R	MR	AS	S
1338	AR	MR	AS		MR
1340	S	S	MR		MR
1348		S			AS
1370		S			S
1392		MR			S
1397		S			AS
1484		S			AS
1501		S			S
1503		S			AS
1517		MR			S
1520		MR			S
1522		AR			MR

Accesión	Ensayo Libre elección				
	I	II	III	IV	*IR
1539	S	S			S
1555		S			S
1571		AR			MR
1604			MR	MR	MR
1612	R		MR	S	MR
1629			AR	MR	R
1630	AR				AR
1676			MR		S
1679			R	S	MR
1729			MR		MR
1815	AR		R	S	MR
2060	AR		S		MR
2152	AR		MR		MR
2384	AR		MR	S	MR
2387			R	AS	S
2388	S				S
2394	R		MR		MR
2395	AR				MR
2406	AR		AR	MR	R
2407	AR		MR		MR
2419	MR		MR		MR
2420	MR				MR
2424			MR		MR
2426	S		S		S
2427			AS		S
2430	S		AS		S
2443	MR				S
2446	R				MR
2464	AR		MR		MR

Accesión	Ensayo Libre elección				
	I	II	III	IV	*IR
2497	MR				S
2498	R		S		MR
2500	AR		AS		S
2506	MR		S		S
2581	AR		MR	MR	MR
PP	AS	S	AS	S	S
Diacol Capiro		AS	R		S
Tuquerreña		AS		AS	AS

Con el propósito de confirmar las respuestas de resistencia de las accesiones seleccionadas, se realizó un cuarto experimento con 13 genotipos de acuerdo con sus respuestas e índice de resistencia estimado en las tres anteriores evaluaciones y a la disponibilidad en la CCC (Tabla 4). Se encontraron diferencias significativas para las variables incidencia ($p < 0,05$ $F=3,98$ $gl=12$), severidad ($p < 0,05$

$F=3,64$ $gl=12$) y desarrollo biológico ($p < 0,05$ $F=3,44$ $gl=12$), en la prueba de comparación múltiple Tuquerreña presentó mayor susceptibilidad a la plaga. Para las variables incidencia y severidad, los valores más bajos fueron en el material 2581, seguido de los genotipos 2406, 1629 y 1604; los materiales 2406 y 2581 limitaron el desarrollo biológico de la plaga (Figura 1).

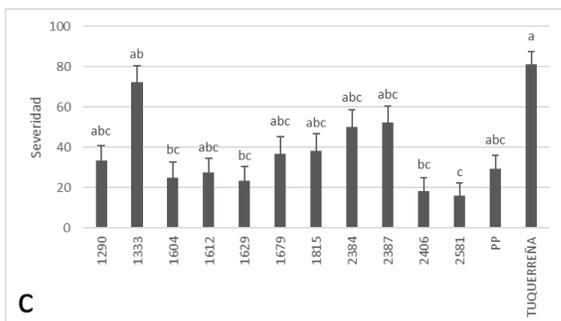
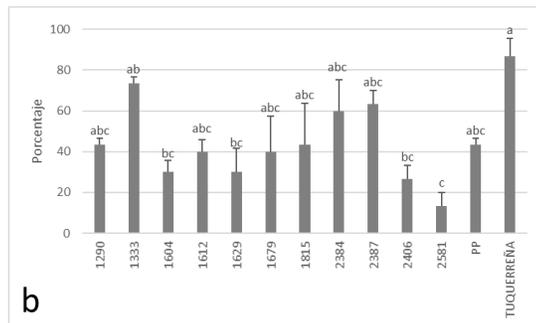
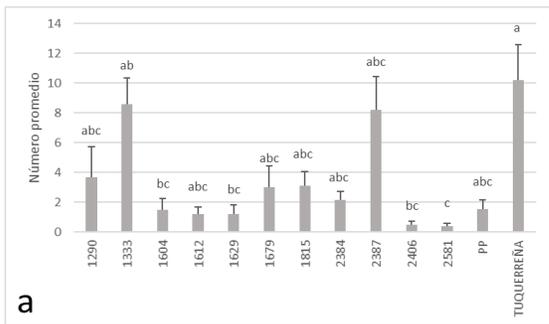


Figura 1. Respuesta de los materiales de la CCC seleccionados por resistencia a *T. solanivora* en condiciones de almacenamiento: a. Desarrollo biológico, b. Incidencia y c. Severidad del daño.

Con los experimentos de libre elección se validaron respuestas de resistencia por antixenosis, que corresponde al potencial que tiene una planta para evitar el ataque de un herbívoro e interferir en la elección del hospedero (Pelletier et al., 2013). Además, las hembras de los insectos pueden ser atraídas por compuestos volátiles que emiten las plantas hospederas para su alimentación y oviposición, en algunos casos pueden intervenir compuestos disuasivos de oviposición emitidos por otras hembras (Rojas, 2012).

Según la definición de resistencia dada por Smith & Clement (2012): “la suma de las cualidades heredadas genéticamente constitutivas que resultan en que un cultivo o especie tenga menor daño que una planta susceptible que carece de esas cualidades”, y teniendo en cuenta las diferencias en los porcentajes de incidencia y severidad del daño entre los testigos y los materiales evaluados, se puede afirmar que en la CCC existen fuentes de resistencia a *T. solanivora*, lo cual coincide con Bejarano et al. (1997) y Rivera (2015).

Con la información obtenida (**Tabla 4**) y según la disponibilidad de tubérculos de los genotipos que mostraron consistencia en los ensayos realizados según su grado de resistencia a *T. solanivora*, se seleccionaron siete genotipos de la CCC y se realizaron tablas de vida en el año 2016 (Cely-Pardo et al., 2019), se encontró que seis de esos materiales afectaron negativamente el crecimiento del insecto al alterar su desarrollo biológico medido por la tasa neta de reproducción y la tasa intrínseca de crecimiento natural. Basados en estos resultados, cinco accesiones (1604, 1629, 1815, 2384 y 2581) fueron

evaluados en campo en finca de pequeño productor con alta incidencia de la plaga.

Evaluación preliminar en condiciones de campo:

Se conoce que las plantas producen compuestos volátiles para defenderse de insectos plaga, pero también emanan sustancias atrayentes (Broad et al., 2008). Karlsson et al. (2009), analizaron los compuestos volátiles producidos por diferentes órganos de la planta de papa y determinaron que los compuestos liberados desde inicio de floración y tuberización atraen al adulto de *T. solanivora*. En la **Figura 2** se muestra la presencia de la plaga en el cultivo, se observa incremento de capturas desde inicio de floración hasta cosecha.

Según la caracterización fenológica y madurez fisiológica de cada tratamiento, la cosecha se realizó en tres momentos diferentes después de la siembra: la primera para el genotipo 1815 y PN a los 171 días, en la segunda se cosecharon los genotipos 1629, 2581 y PP a los 191 días y en la última a los 207 días los materiales 1604, 2384 y Tuquerreña.

En cuanto a la respuesta de los 8 clones evaluados por PID al momento de la cosecha, hubo diferencias significativas ($p < 0,0001$, $F = 10,54$, $gl = 7$). Los clones 1629, PP y PN mostraron el mayor PID (18,95%, 22,91% y 34,58% respectivamente), los clones 1815 y 2384 presentaron menor PID (0,83% y 2,91% respectivamente) (**Figura 3**). Con estos datos, se estimó el nivel de resistencia de los materiales según las escalas de evaluación descritas en la Tabla 1. Se clasificaron como resistentes (R) los materiales 1815 y 2384, Tuquerreña como susceptible (S) y los demás (1604, 1629,

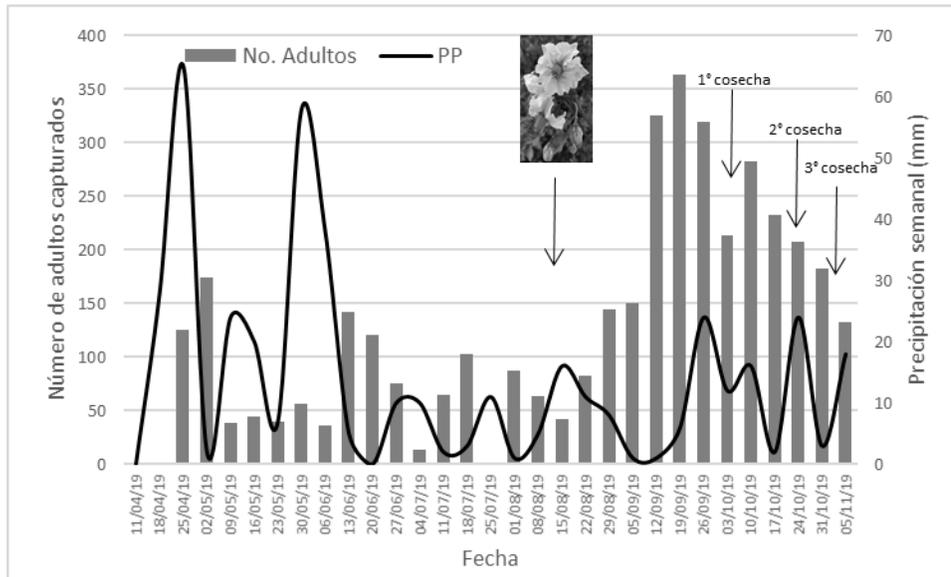


Figura 2. Capturas de polilla guatemalteca en trampas con feromona sexual y registro de precipitación semanal durante el ciclo de cultivo en parcela experimental en Toca – Boyacá.

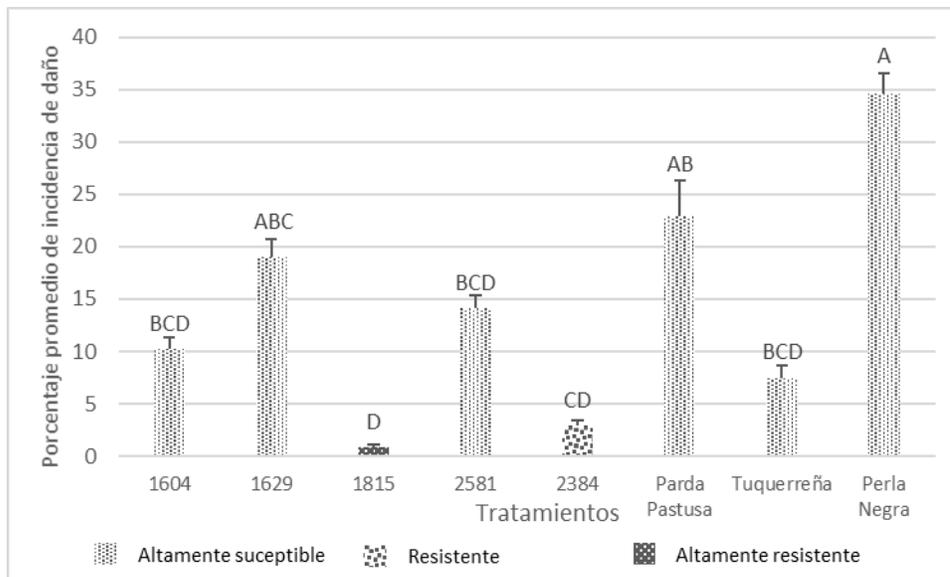


Figura 3. Incidencia de daño de *T. solanivora* y niveles de resistencia en 8 materiales de papa de la CCC bajo infestación natural en finca de pequeño productor en Toca – Boyacá

2581, PP y PN) con alta susceptibilidad (AS). El genotipo 1815 y PN presentaron el menor y mayor porcentaje de daño (1,11% y 31,6% respectivamente), los materiales 1629, 2581 y PP evaluados en la segunda cosecha fueron AS (con valores entre 14,4 y 22,5 % de daño). En la última cosecha se evidenció una respuesta variable en cuanto a los niveles de resistencia 1604 (AS), 2384 (R) y Tuquerreña (S) (Figura 3). Teniendo en cuenta los altos niveles de polilla capturados en la trampa desde inicio de floración (Figura 2) y las respuestas de resistencia al daño (Figura 3), se puede afirmar que hubo preferencia del insecto por los genotipos susceptibles y que los diferentes días a cosecha no afectaron la respuesta de resistencia de estos materiales, sin embargo, al haber sido evaluados en un solo ciclo de cosecha es necesario realizar más estudios que corroboren esta afirmación.

Se confirmó la susceptibilidad de PP a la plaga, característica ya reportada por diversos autores (Álvarez et al., 2000; Bejarano et al., 1997; Cadena et al., 2005; Ordóñez et al., 2012; Rivera, 2015; Sánchez, (2021). Se observó susceptibilidad de PN en condiciones de campo, en contraste con lo reportado por Sánchez (2021) en laboratorio, quien encontró atributos de resistencia a *T. solanivora* por el mecanismo de antibiosis, al evidenciar efecto negativo sobre la sobrevivencia de larvas y desarrollo de hembras en generaciones continuas.

Tuquerreña presentó diferencias estadísticas con los otros testigos para la variable PID, con esto se evidencia que es una variedad menos susceptible a la polilla, como lo reportan Bejarano et al. (1997) y Ordóñez et al. (2012). Estudios

realizados por Cely-Pardo et al. (2019), Rivera (2015) y Sánchez (2021) en experimentos poblacionales para construir tablas de vida del insecto sobre la variedad Tuquerreña, le atribuyen características de resistencia por antibiosis, porque afectó la supervivencia, fecundidad y alargó el ciclo de vida de la plaga; efectos más importantes de la antibiosis según Cardona y Mesa (2011).

Según Smith & Clement (2012), la resistencia de las plantas a insectos plaga, “es la suma de cualidades genéticas heredadas que tiene cada especie y que se evidencia al ser menos afectadas por la plaga, frente a plantas susceptibles que carecen de esas cualidades”. Así, para las evaluaciones de selección genética en campo por resistencia a insectos es importante tener en cuenta los daños causados por la plaga sobre la planta, en comparación con las susceptibles y no sobre el efecto en el insecto (Álvarez, 2015). Teniendo en cuenta lo anterior, en condiciones de campo para los genotipos 1815 y 2384 se confirmó lo encontrado por Cely-Pardo et al. (2019) en condiciones de laboratorio para estos mismos materiales.

No obstante, una sola evaluación en campo no es suficiente para determinar la resistencia a *T. solanivora* de los materiales seleccionados, debido a que otros factores ajenos a la defensa de las plantas podrían estar influyendo sobre el comportamiento de estas. Por lo anterior, es necesario realizar otras evaluaciones en diferentes ambientes y en condiciones favorables para la plaga.

Caracterización morfológica de los materiales de papa

En general las plantas de todos los materiales se caracterizaron por tener

hábito de crecimiento semi-erecto, con un juego de tallos verdaderos (aéreos), 50% de coloración verde con muchas manchas y alas de forma recta; las bayas en general tuvieron forma globosa, donde predominó el color verde con pocos puntos blancos. Para las variables relacionadas a la floración, prevaleció como color primario el morado en todos los genotipos, sin embargo, se encontraron variaciones en las intensidades del color, imperando los tonos oscuros. Según la caracterización morfológica de variables cualitativas de la CCC del grupo *Andigena*, Bernal, et al. (2006), menciona que las variables más discriminantes entre genotipos fueron el color primario y secundario de la flor; el color predominante y secundario de la piel del tubérculo, y, el color secundario de la carne del tubérculo.

La prueba de correlación de Spearman entre incidencia de polilla en tubérculos y las variables color primario de la flor ($Rho=0,74882$ y $p=0,0325$) e intensidad del color primario de la flor ($Rho= -0,82479$ y $p=0,0117$), mostró relación directa entre la coloración morado con el ataque de la plaga e inversa con la intensidad, esto concuerda con Sánchez et. al. (2005) quien afirma que la etapa fenológica de floración es un periodo donde ocurre atracción de *T. solanivora*.

Predominó la coloración oscura en los tratamientos 1815 y 2384, los cuales mostraron menos susceptibilidad frente al daño de la plaga; por el contrario, la intensidad de color pálido de los materiales 1629 y PN se asoció a materiales más susceptibles al ataque de la polilla. Esto se explica debido a que existe una relación fuerte en la coloración de las flores y la incidencia de la plaga en los tubérculos, teniendo en cuenta que, si bien todos los materiales presentaron un color

primario morado, hubo variaciones en las intensidades del color.

El color predominante de los tubérculos se agrupó de dos formas, el primero en colores oscuros que van desde el color rojo hasta el negruzco: tratamientos 1604, 1815, 2581, 2384, Tuquerreña y PN, el segundo en colores claros específicamente amarillo: tratamientos 1629 y PP, este último presentó AS al ataque de la plaga. Si bien como lo menciona Cadena et al., (2005) el color y la forma de los tubérculos se consideran factores lejanos relacionados con cierto grado de resistencia al ataque de la plaga, y aún no se ha encontrado relación con los porcentajes de daño en el tubérculo, razón por la cual se requieren más estudios.

Evaluación de rendimiento

El análisis de varianza para los materiales evaluados detectó diferencias significativas del rendimiento entre tratamientos, ($p=0,0053$, $F=4,14$, $gl=7$). Se encontró que las variedades 2581 y PP no presentaron diferencias (2,2472 y 2,1739 Kg/planta respectivamente). Los genotipos Tuquerreña, 1629, 2384 y 1604 fueron estadísticamente iguales con los menores promedios de rendimiento entre 1,78 y 1,8 Kg/planta. Los materiales 1815 y PN presentaron los mejores valores con promedios de 2,55 y 2,51 Kg/planta, clasificados como AR y S al ataque de la plaga respectivamente.

En cuanto al número de tubérculos por categoría, la variedad PN registró el mayor promedio para la categoría 0 con 40 tubérculos por planta, seguido de PP con 10 tubérculos. Por su parte, en las categorías 3 y Riche, los tratamientos 2384 y Tuquerreña registraron los promedios más altos (797 y 897 respectivamente) en

comparación al testigo PN que obtuvo el menor promedio (208 tubérculos).

Conclusiones

Las accesiones seleccionadas en los experimentos de no elección presentan características de resistencia a *T. solanivora* por el mecanismo de antibiosis, esto se evidenció en el bajo porcentaje de sobrevivencia de la plaga.

Se constató el mecanismo de antixenosis en algunos genotipos de la CCC evaluados en almacenamiento demostrado por la no preferencia de oviposición y menor desarrollo biológico de la polilla.

Los genotipos 1815 y 2384 presentaron menor daño y menor susceptibilidad en campo, en cuanto al rendimiento el material 1815 presentó los mayores valores de producción que se equiparan a la variedad comercial Parda Pastusa que es altamente susceptible a *T. solanivora*.

Las características morfoagronómicas asociadas a la coloración e intensidad del color de la flor evidencian una correlación con la incidencia de *T. solanivora* en los tubérculos por lo cual es necesario realizar más evaluaciones que permitan determinar si estas coloraciones pueden ser atrayentes de la plaga.

Basados en los atributos de resistencia y rendimiento que presentaron los genotipos 1815 y 2384 son promisorios como una variedad o como parentales valiosos en un programa de mejoramiento.

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 “Búsqueda, selección y aprovechamiento de fuentes de resistencia a limitantes fitosanitarios en *Solanum tuberosum* grupo Andígena para zonas productoras de Colombia”. A los investigadores Iván Valbuena, Olga Pérez y al personal del laboratorio de Entomología de AGROSAVIA por su apoyo en la toma y análisis de información. Al productor Luis Porfirio Cruz por participar en los ensayos de campo. A los pares evaluadores y editores de la revista por sus comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Referencias citadas

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. Universidad Nacional de Colombia.

Argüelles, J., Perez, M., Barreto, N., & Espitia, E. (2012). La vigilancia de las poblaciones de gusano blanco *Premnotrypes vorax* y polilla guatemalteca *Tecia solanivora*: una herramienta útil para su manejo en el cultivo de la papa. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-108-0>

Bacca, T., Haddi, K., Pineda, M., Guedes, R., & Oliveira, E. (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>

- Barreto-Triana, N., Cely-Pardo, L., & Mayorga, O. (2013). Evaluación y caracterización de materiales genéticos promisorios de la Colección Central Colombiana de papa por resistencia a la polilla guatemalteca *Tecia solanivora*. (p. 30). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica.
- Bejarano, M., Ñústez, C., & Luque, J. (1997). Respuesta de 10 variedades de papa (*Solanum Tuberosum* L) y 3 híbridos interespecíficos al ataque de la polilla (*Tecia solanivora* Povolny), en condiciones de almacenamiento. In Revista Agronomía Colombiana (Vol. 14, Issue 2, pp. 138–143).
- Berdugo-Cely, J., Valbuena, R., Sánchez-Betancourt, E., Barrero, L., & Yockteng, R. (2017). Genetic diversity and association mapping in the colombian central collection of *Solanum tuberosum* L. Andigenum group using SNPs markers. PLoS ONE, 12(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173039>
- Bernal, Á., Arias, J., Moreno, J., Valbuena, I., & Rodríguez, L. (2006). Detección de posibles duplicados en la Colección Central Colombiana de papa *Solanum tuberosum* subespecie andigena a partir de caracteres morfológicos. Agronomía Colombiana, 24(2), 226–237.
- Broad, S., Schellhorn, N., Lissont, S., & Mendham, N. (2008). Host location and oviposition of lepidopteran herbivores in diversified broccoli cropping systems. Agricultural and Forest Entomology, 10, 157–165.
- Cadena, M., Naranjo, A., & Ñústez, C. (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 Mejía, C., & Mesa, N. (2011). Resistencia Varietal a insectos. Universidad Nacional de Colombia.
- 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. Libro de Resúmenes IV Taller Internacional de La Polilla Guatemalteca de La Papa, *Tecia solanivora*, 10–22.
- Cifuentes, A., & López-Ávila, A. (2004). Búsqueda de resistencia en la CCC a la polilla guatemalteca de papa. Memorias XXXI Congreso de La Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), 87–92.
- Federación Colombiana de Productores de papa - Fedepapa, & Fondo Nacional de fomento a la papa - FNFP. (2020). Informe trimestral de coyuntura económica del subsector papa III Trimestre-2020. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/BOLETIN-ECONOMICO-N°13.pdf>
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira, S., Pereira, R., Casadei, G., Berti, E., Postali, J., Zucchi, R., Batista, S., Vndramin, J., Marchini, L. C., Spotti, J., & Omoto, C. (2002). Métodos de Control de Pragas. In Entomología Agrícola (p. 116). Fudacão de estudos agrários Luiz de Queiroz - FEALQ.
- Gamarra, H.; Kreuze, J. (2019). Propuesta: atracticida: aplicación de una nueva tecnología para el manejo de *Tecia solanivora* “polilla guatemalteca de la papa.” Libro de Resúmenes IV Taller Internacional de La Polilla Guatemalteca de

La Papa, *Tecia solanivora*, 66–71.
<https://doi.org/10.31167/csef.v0i42.17500>

Gómez, R. (2000). Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas (p. 27). Centro Internacional de la Papa - CIP.

Gutiérrez, Y., Bacca, T., Zambrano, L. S., Pineda, M., & Guedes, R. N. (2019). Trade-off and adaptive cost in a multiple-resistant strain of the invasive potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest Management Science*, 75(6), 1655–1662.
<https://doi.org/10.1002/ps.5283>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. (1996). Norma Técnica Colombiana NTC 341 (1969-09-23) (p. 7).

Karlsson, M., Birgersson, G., Cotes, A., Bosa, F., Bengtsson, M., & Witzgall, P. (2009). Plant odor analysis of potato: Response of Guatemalan moth to above and belowground potato volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 5903-5909.

Ñústez-López, C., Delgado-Niño, M., Alba-Chacón, A., Duque-Puentes, L., Mosquera-Vásquez, T., Rodríguez-Molano, L. E., GarcíaDomínguez, C., Cotes-Prado, A., Beltrán-Acosta, C., Espitia-Malagón, E., Barreto-Triana, N., Cely-Pardo, L., & Wilc, C. (2020). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.

Ordóñez, M., Rosero V, J., & Bacca, T. (2012). Evaluation of resistance of five potato varieties (*Solanum spp.*, Solanaceae) to attack by *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Boletín*

Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 16(1), 108–119.

Painter, R. H. (1968). Insect resistance in crop plants. University Press of Kansas, Lawrence & London.

Pelletier, Y., Horgan, F., & Pompon, J. (2013). Potato resistance against insect herbivores: Resources and opportunities. In F. Giordanengo, S. Vincent, & A. Alyokhin (Eds.), *Insect Pests of Potato: Global Perspectives on Biology and Management* (pp. 439–462). Elsevier.

Rivera, H. (2015). Evaluación de la resistencia varietal de accesiones de la Colección Central Colombiana de Papa al ataque de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora*. Universidad Militar Nueva Granada.

Rivera, H., & López-Ávila, A. (2010). Evaluación de líneas de papa transgénica para el control de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). Resúmenes XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, 100.

Rojas, J. (2012). El papel del estímulo químico durante la búsqueda de hospedero por lepidópteros herbívoros. In J. C. Rojas & E. A. Malo (Eds.), *Temas Selectos en Ecología Química de Insectos* (1st ed., pp. 287-314).). El Colegio de la Frontera Sur.

Sánchez-León, G., Cely-Pardo, N., Barreto-Triana, N., & Sotelo-Cardona, P. (2021). Parámetros reproductivos de *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) en genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 25(1), 71–90.
<https://doi.org/10.37066/ralap.v25i1.420>

Sánchez, D., López-Ávila, A., & Rodríguez, L. (2005). Determinación de

las etapas críticas en el desarrollo fenológico del cultivo de la papa *Solanum phureja*, frente al ataque de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 230–238.

Smith, C., & Clement, S. (2012). Molecular Bases of Plant Resistance to Arthropods. *Annual Review of Entomology*, 57, 309–328.

Valderrama, A., Velásquez, N., Rodríguez, E., Zapata, A., Zaidi, M., Altosaar, I., & Arango, R. (2007). Resistance to *Tecia solanivora*

(Lepidoptera: Gelechiidae) in three transgenic andean varieties of potato expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Acv protein. *Journal of Economic Entomology*, 100(1), 172–179.

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.

<https://doi.org/10.17230/ingciencia.9.18.1>
1