



Elementos del clima y su relación con la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)¹

Climate elements and their relationship with the Guatemalan Moth *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) in potato (*Solanum tuberosum* L.) crop

Wilmar Alexander Wilches-Ortiz², Eduardo María Espitia-Malagón², Ruy Edeymar Vargas-Díaz²

- ¹ Recepción: 5 de octubre, 2021. Aceptación: 23 de febrero, 2022. Este trabajo se desarrolló en el producto de agenda quinquenal “Estrategias de producción sostenible de papa en el altiplano Cundiboyacense y Nariño, que permitan la obtención de un producto inocuo y de mínimo impacto” financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de investigación Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca, Colombia. wwilches@agrosavia.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>), eespitia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-4690-393X>), rvargas@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-2609-4087>).

Resumen

Introducción. La variabilidad climática y los escenarios de cambio climático influyen el comportamiento de las especies y los recursos naturales. El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae) produce un alimento de alto valor nutricional básico en la canasta familiar. En Colombia, el sistema productivo se ve afectado por plagas, como la polilla guatemalteca causada por *Tecia solanivora* (Povolný), con pocos estudios en campo que describan su relación con el clima. **Objetivo.** Evaluar el efecto de los elementos climáticos en las poblaciones de adultos machos de *T. solanivora* en tres ciclos de cultivo de papa en una localidad de Colombia. **Materiales y métodos.** En el municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia, entre noviembre de 2015 a octubre de 2017, se localizaron trampas cebadas con feromona sexual para la captura de adultos de polilla guatemalteca en tres ciclos de cultivo de papa var Diacol capiro y se registraron: número de adultos, precipitación (mm), humedad relativa (%), temperaturas mínima, media y máxima (°C), velocidad del viento (km/h), brillo solar(h/día), índices agroclimáticos de grados día (°Cd), evapotranspiración de referencia (mm/día) e índice hídrico (IH). Se realizaron pruebas de Pearson y Dickey-Fuller, series de tiempo y correlación cruzada. **Resultados.** La fluctuación de adultos de *T. solanivora* presentó correlación positiva con la temperatura máxima, grados día y brillo solar, y correlación negativa con la precipitación ($p < 0,05$). La temperatura máxima ($20 - 23 \text{ °C} \pm 0,7 \text{ °C}$) presentó mayor significancia ($p < 0,05$) de todas las correlaciones cruzadas con *Tecia solanivora*, con una relación directa al sobrepasar los coeficientes de autocorrelación, lo que incrementó la población y desplazamiento de los adultos de *T. solanivora*. La autocorrelación con la precipitación ($62 - 128 \text{ mm} \pm 22 \text{ mm}$) presentó disminución de la población ($p < 0,05$). **Conclusiones.** Las variables climáticas fueron limitantes críticas para la emergencia y supervivencia de *T. solanivora*.

Palabras clave: índice agroclimático, insecto plaga, tubérculo, manejo integrado de plagas.



Abstract

Introduction. Climate variability and climate change scenarios influence the behavior of species and natural resources. The potato (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae) crop produces a food of high nutritional value that is a staple in the family food basket. In Colombia, the production system is affected by pests, such as the Guatemalan potato moth caused by *Tecia solanivora* (Povolný), with few field studies describing its relationship with climate. **Objective.** To evaluate the effect of climatic elements on the adult male populations of *T. solanivora* in three potato crop cycles in a locality in Colombia. **Materials and methods.** In the municipality of Mosquera, Cundinamarca, Colombia, between November 2015 and October 2017, baited traps with sexual pheromone were located for the capture of adult Guatemalan potato moths in three potato cv Diacol capiro crop cycles, and the following were recorded: number of adults, precipitation (mm), relative humidity (%), minimum, mean, and maximum temperatures (°C), wind speed (km/h), solar brightness (h/day), agroclimatic indices of degree days (°Cd), reference evapotranspiration (mm/day), and water index (HI). Pearson and Dickey-Fuller tests, time series, and cross-correlation were performed. **Results.** The fluctuation of adults of *T. solanivora* was positively correlated with maximum temperature, degree days, and solar brightness, and a negatively correlated with precipitation ($p < 0.05$). The maximum temperature (20 - 23 °C ± 0.7 °C) presented the highest significance ($p < 0.05$) of all the cross-correlations with *Tecia solanivora*, with a direct relationship when exceeding the autocorrelation coefficients, which increased the population and displacement of *T. solanivora* adults. The autocorrelation with precipitation (62 – 128 mm ± 22 mm) showed population decrease ($p < 0.05$). **Conclusions.** Climatic variables were critical limiting factors for the emergence and survival of *T. solanivora*.

Keywords: agroclimatic index, insect pest, tuber, integrated pest management.

Introducción

En Colombia, la producción anual de papa (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae) para el 2020 fue de 2 625 272 t en un área de 125 426 ha, con rendimientos aproximados de 20,9 t ha⁻¹ (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Se reportan altos niveles de poblaciones de plagas en cultivos de papa en Colombia, de las cuales la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) ha sido uno de los insectos más limitantes del cultivo, debido al daño directo que causa en los tubérculos, tanto en campo como en almacén (Espitia et al., 2019; Núñez López et al., 2020). Sus tasas de daño en la cosecha varían entre 2 y 15 %, y causan pérdidas significativas del tubérculo en campo y en almacenamiento, con fuentes de infestación en condiciones climáticas favorables (Kroschel & Schaub, 2013; Kroschel et al., 2020; Wilches Ortiz, 2019).

Ante el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y las variaciones climáticas, puede existir una mayor probabilidad de afectación a los cultivos por parte de los insectos plaga. Se ha determinado que los parámetros climáticos como aumento de la temperatura y del CO₂ atmosférico, y los niveles cambiantes de las precipitaciones, tienen impactos significativos en los sistemas productivos y los invertebrados asociados (Skendžić et al., 2021). Los insectos son organismos poiquilotérmicos, en donde la temperatura de su cuerpo depende de la temperatura del medio ambiente; por ello, se ha considerado este el factor ambiental como el que más afecta el comportamiento, la distribución, el desarrollo y la reproducción de los insectos (Kocmánková et al., 2009).

El cambio climático y las alteraciones meteorológicas afectan de maneras diversas los factores bióticos, como por ejemplo las plagas. El aumento de temperatura afecta de forma directa la reproducción, la distribución geográfica, la supervivencia, la propagación y la dinámica poblacional de los insectos, así como las relaciones entre las plagas, el medio ambiente y los enemigos naturales, mayor incidencia de enfermedades de plantas transmitidas

por insectos, reducciones en la eficacia del control biológico, interacción interespecífica planta-insecto alterada y aumento en el riesgo de invasión por plagas migratorias (Prakash et al., 2014; Skendžić et al., 2021).

Como organismos adaptables, los insectos plaga responden de manera diferente al cambio climático. Diversas investigaciones han utilizado enfoques innovadores, como los modelos de fenología de respuesta climática basados en procesos para evaluar el efecto del aumento de la temperatura, bajo los cambios proyectados en la temperatura global, para una amplia gama de plagas de papa (Mujica et al., 2017; Orlandini et al., 2018; Schaub et al., 2016; Sporleder et al., 2004; 2013; 2017).

Los sistemas de producción de papa de los países tropicales son susceptibles a las infestaciones de plagas, debido a las condiciones climáticas favorables que suelen tener durante todo el año para el crecimiento de la población (Dillon et al., 2010). Diferentes investigadores de países del trópico, destacan que la precipitación y la temperatura son factores determinantes en el desarrollo y la densidad de la población de *T. solanivora*, con un aumento del insecto durante los periodos secos y una disminución asociada a las precipitaciones (Barreto et al., 2004; Cotes et al., 2012; Niño, 2003; Rodríguez et al., 1988). Cabe resaltar que el agua influye en el rendimiento del cultivo, una escasez de este recurso puede provocar que el follaje retire agua de los tubérculos y, en consecuencia, estos pierdan peso, así como la posible proliferación de insectos plagas (Motalebifard et al., 2013; Rodríguez-Pérez, 2010; Sun et al., 2014).

En países como Corea, se ha presentado un aumento en la abundancia y distribución en nueve especies de insectos plagas [*Chilo suppressalis* (Walker, 1863) (Lepidoptera: Crambidae), *Lissorhoptrus oryzophilus* (Kuschel, 1951) (Coleoptera: Brachyceridae), *Nephotettix cincticeps* (Uhler, 1896) (Hemiptera: Cicadellidae), *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae), *Mythimna separata* (Walker, 1865) (Lepidoptera: Noctuidae), *Sogatella furcifera* (Horváth, 1899) (Hemiptera: Delphacidae), *Scotinophara lurida* (Burmeister, 1834) (Hemiptera: Pentatomidae), *Laodelphax striatellus* (Fallén, 1826) (Hemiptera: Delphacidae) y *Nilaparvata lugens* (Stål, 1854) (Hemiptera: Delphacidae)] asociadas a cambios en los parámetros climáticos, como efecto del cambio climático reportado en los últimos diecisiete años (Kwon et al., 2012).

Los enfoques interdisciplinarios locales son importantes para enfrentar la incertidumbre del comportamiento de las plagas y las condiciones climáticas para poder aplicar métodos integrados de control sobre las mismas. El presente trabajo, tuvo como objetivo evaluar el efecto de los elementos climáticos en las poblaciones de adultos machos de la polilla guatemalteca en tres ciclos de cultivo de papa en una localidad de Colombia.

Materiales y métodos

Ubicación y área de estudio

El experimento se llevó a cabo en el lote experimental 49 (4° 41' 18,84" N 74° 12' 22,67" O) del Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con un área de experimentación de 7622 m² en el departamento de Cundinamarca, Municipio de Mosquera, Vereda San José, con una altitud de 2560 m s. n. m. (Figura 1).

Cultivo y trampas de *T. solanivora*

Se establecieron tres ciclos de cultivo de papa de la variedad comercial Diacol Capiro, considerada como susceptible (Bejarano et al., 1997), para favorecer la presencia de la polilla guatemalteca (*T. solanivora*) y poder contrastar con las variables del clima. Entre noviembre 2015 y octubre de 2017, se estableció un sistema de monitoreo basado en trampas cebadas con feromonas de *T. solanivora*, las cuales consistieron en recipientes plásticos de 22

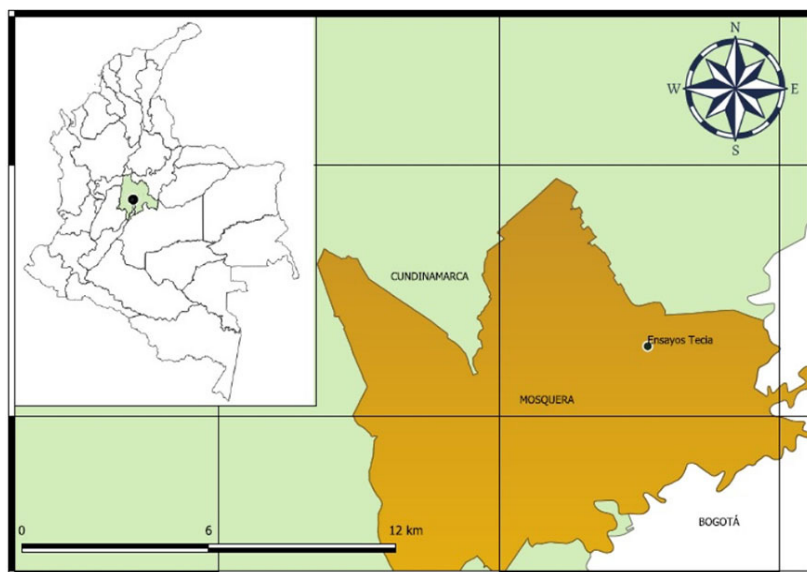


Figura 1. Localización del ensayo de adultos de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y su relación con elementos del clima en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, durante el periodo 2015 a 2017, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 1. Location of the adult Guatemalan moth (*Tecia solanivora*) adults and its relationship with climate elements in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop trial, during the period 2015 to 2017 at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

cm de largo x 16 cm de diámetro con dos ventanas laterales de 8 x 16 cm, fondo con agua jabonosa y feromona suspendida de la tapa, sujetadas a soportes de madera (Figura 2). La captura de adultos machos de *T. solanivora*, se registró cada semana con lectura del promedio de dieciséis trampas distribuidas en el lote. Las variables climáticas de precipitación, temperaturas máxima, mínima, media, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar, se tomaron cada día en la estación meteorológica local [Tibaitatá- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)] y se promediaron cada semana, acorde con las fechas de seguimiento de *T. solanivora*.

Determinación de índices agroclimáticos

Se utilizaron índices agroclimáticos desarrollados a partir de las variables climáticas, condiciones de la zona y características del insecto. Los índices agroclimáticos obtenidos fueron grados día (GD), índice hídrico (IH) y evapotranspiración de referencia (ET_o). Para el cálculo de grados día (GD) se utilizó la ecuación (1) descrita por Rodríguez-Roa et al. (2019):

$$GD = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b \quad [1]$$

Donde:

GD = grados día (°Cd).

T_{max} = temperatura máxima del día (°C).

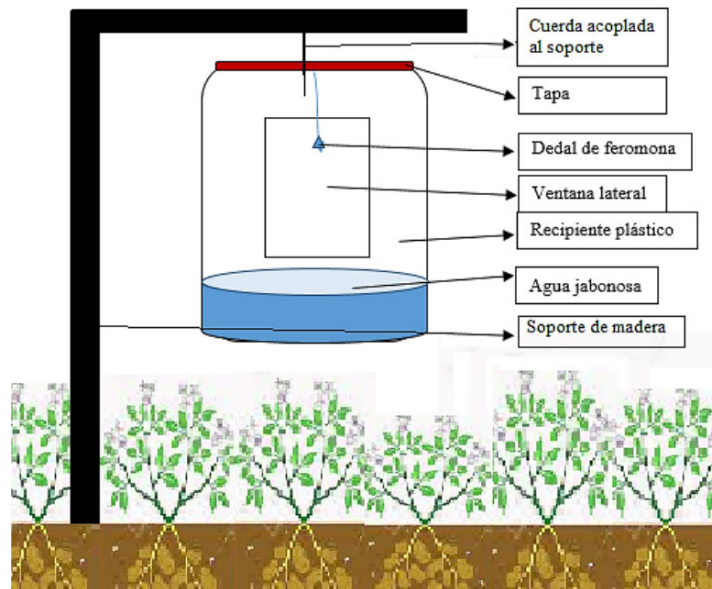


Figura 2. Ilustración de la trampa de feromona utilizada en el ensayo de adultos de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y su relación con elementos del clima en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, durante el periodo 2015 a 2017 en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca - Colombia.

Figure 2. Pheromone trap illustration used in the Guatemalan moth (*Tecia solanivora*) adults assay and its relationship with climate elements in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop trial, during the period 2015 to 2017 at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

T_{min} = temperatura mínima del día (°C).

T_b = temperatura umbral mínima o temperatura base (°C).

Para la determinación del valor de temperatura base, se han propuesto diferentes modelos empíricos y biofísicos que describen la relación de la tasa de desarrollo frente a la temperatura (Shi et al., 2017). La tasa de desarrollo en función de la temperatura se obtiene al someter las poblaciones del insecto plaga a temperaturas constantes en ensayos de laboratorio (Marco, 2001; Skourti et al., 2019). Para *T. solanivora* se han desarrollado estudios de supervivencia en donde el insecto no subsiste a temperaturas menores de 10 °C (Castillo Yépez, 2005; Dangles et al., 2008; Nov, 1995). En la presente investigación los datos corresponden a valores obtenidos en campo en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, en la zona de Sabana Occidente de Bogotá, donde la plaga *T. solanivora* tiene un óptimo desarrollo y según lo reportado por Rodríguez Roa (2011) la temperatura media es de 14 °C ± 1 °C, por tanto, se calcularon los grados día (GD) con una temperatura base de 12 °C.

Se aplicó la ecuación (2), de índice hídrico descrita por Rodríguez-Roa et al. (2019):

$$IH = \frac{PPT}{ET_o} \quad [2]$$

Donde:

IH = índice hídrico.

PPT = precipitación.

Eto = evapotranspiración de referencia.

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto), se utilizó el programa CropWat® (FAO), que adopta el método Penman-Monteith (Allen et al., 1994). Los datos utilizados correspondieron a los valores medios de temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día) y brillo solar (horas).

Análisis estadísticos

Las variables evaluadas se sometieron a correlaciones de Pearson (Pearson, 1897), test de significancia (Pearson, 1931), prueba de raíces unitarias Dickey-Fuller (Dickey & Fuller, 1979), series de tiempo (Tustin, 1947) y correlación cruzada (Wallis & Matalas, 1971), con el fin de entender las relaciones insecto-clima. Los datos se analizaron mediante el software R® 3.6.3 (R Core Team, 2020).

Resultados

Se favoreció la presencia de la polilla guatemalteca (*T. solanivora*) en las trampas dispuestas a lo largo de tres ciclos del cultivo, lo que permitió contrastar con las variables del clima. Por prueba de Pearson se encontraron correlaciones positivas con significancia ($p < 0,05$) de la presencia de *T. solanivora* (14 – 227 ind/trampa \pm 44ind/trampa) con la temperatura máxima (17,7 -23 °C \pm 1 °C), grados día (0 – 4,6 °Cd \pm 1 °Cd), brillo solar (0,6 – 8,7 h/día \pm 1,5 h/día) y correlación negativa significativa ($p < 0,05$) con la precipitación (0 – 128 mm \pm 29 mm) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Correlaciones de las variables climáticas y número promedio semanal de adultos machos de *T. solanivora* en cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) var. Diacol capiro, durante el periodo 2015 a 2017 en el Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Table 1. Correlations of between climatic variables and weekly average number of *T. solanivora* adult males in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, during the period 2015 to 2017 at the Tibaitata Research Center, Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Variabes climáticas	<i>Tecia solanivora</i>
Precipitación (mm)	-0,242303843*
Humedad relativa (%)	0,001412331
Temperatura máxima (°C)	0,503954742*
Temperatura mínima (°C)	-0,155790663
Temperatura media (°C)	0,105887818
Velocidad viento (km/h)	0,061035318
Brillo solar(horas)	0,225702296*
Grados día (°Cd)	0,239175110*
ETo (mm/día)	0,115641786
Índice hídrico (IH)	-0,177495685

* Correlación de Pearson con significancia ($p < 0,05$). / * Pearson's correlation with significance ($p < 0.05$).

En el presente estudio las precipitaciones influyeron de forma negativa con la reducción de *T. solanivora* en los tres ciclos de cultivo de papa. El comportamiento paralelo de las variables de temperatura máxima ($17,7 - 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) y precipitación ($0 - 128 \text{ mm} \pm 29 \text{ mm}$) frente a la cantidad promedio de adultos de *T. solanivora* ($14 - 227 \text{ ind/trampa} \pm 44 \text{ ind/trampa}$) durante los tres ciclos del cultivo en la localidad de estudio, se puede apreciar en la Figura 3. La mayor población del insecto ($68 - 227 \text{ ind/trampa} \pm 44 \text{ ind/trampa}$) se presentó con los mayores picos de temperatura ($20 - 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$), acompañado de bajas precipitaciones ($0 - 63 \text{ mm} \pm 19 \text{ mm}$), desde el segundo hasta el quinto mes del primer ciclo del cultivo (Figura 3). En el segundo ciclo del cultivo, la población de *T. solanivora* disminuyó ($15 - 59 \text{ ind} \pm 10 \text{ ind/trampa}$) con un mayor rango de precipitaciones ($1,4 - 111 \text{ mm} \pm 27 \text{ mm}$) y temperaturas máximas de $17,7$ a $21 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$, se destaca en este ciclo que el valor más alto de la población (59 ind/trampa) se presentó paralelo con el pico de la temperatura ($21 \text{ }^\circ\text{C}$), con una de las más bajas precipitaciones ($2,8 \text{ mm}$). En el tercer ciclo el rango promedio de capturas del insecto ($15 - 60 \pm 11 \text{ ind/trampa}$) fue similar con un aumento del rango de precipitación ($0 - 128,6 \text{ mm} \pm 36 \text{ mm}$) y de temperatura ($19 - 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$), respecto a ciclo de cultivo 2 (Figura 3).

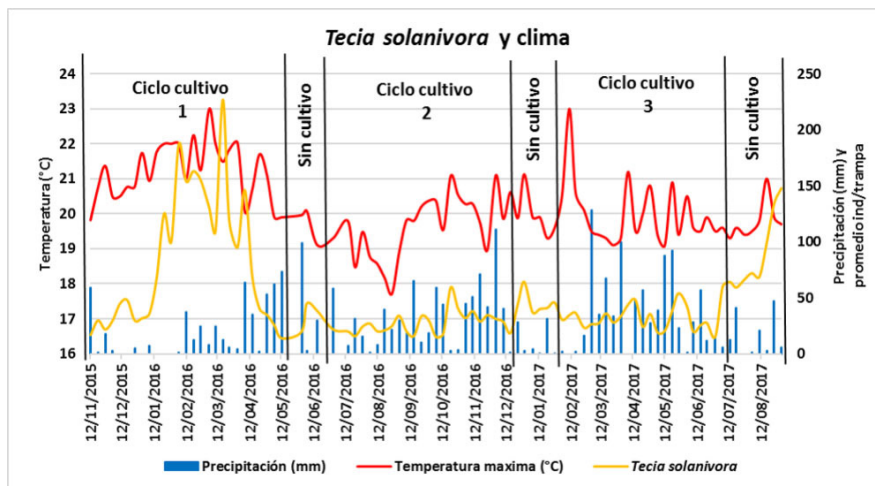


Figura 3. Relación de los adultos de *T. solanivora* con las variables de precipitación y temperatura en tres ciclos de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, durante el periodo 2015 a 2017 en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 3. Relationship of the *T. solanivora* adults with the precipitation and temperature variables in three crop cycles of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro, during the period 2015 to 2017 at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Para comprender el comportamiento de las variables de clima y las poblaciones del insecto, se tomaron las tendencias de las series de tiempo obtenidas de los datos recolectados durante veintinueve meses, desde noviembre de 2015 a octubre de 2017 (Figura 4, 5, 6 y 7).

Para las series de tiempo se realizó la prueba de Dickey-Fuller y se observó que todas series no fueron estacionarias, razón por la cual se les aplicó la transformación logaritmo natural $\ln(x)$ para obtener estacionariedad; para la variable de *T. solanivora* fue necesario realizar la diferenciación $\ln(x)$; D (-1); D (-1) (Nochai & Nochai, 2006). Con las series transformadas sin ningún patrón, o sin presentar tendencia alguna, e indica que la serie es estacionaria en media y varianza (Nochai & Nochai, 2006), se procedió a realizar correlación cruzada entre

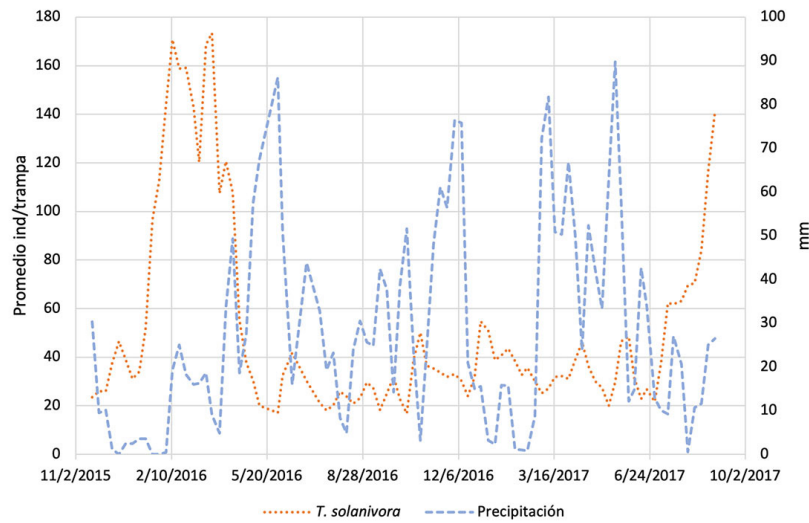


Figura 4. Series de tiempo durante veinticuatro meses (nov 2015 a oct 2017) en la población de adultos machos de *T. solanivora* con la variable de precipitación en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca - Colombia.

Figure 4. Time series for twenty-four months (Nov 2015 to Oct 2017) in the male adults population of *T. solanivora* with the precipitation variable in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA) Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

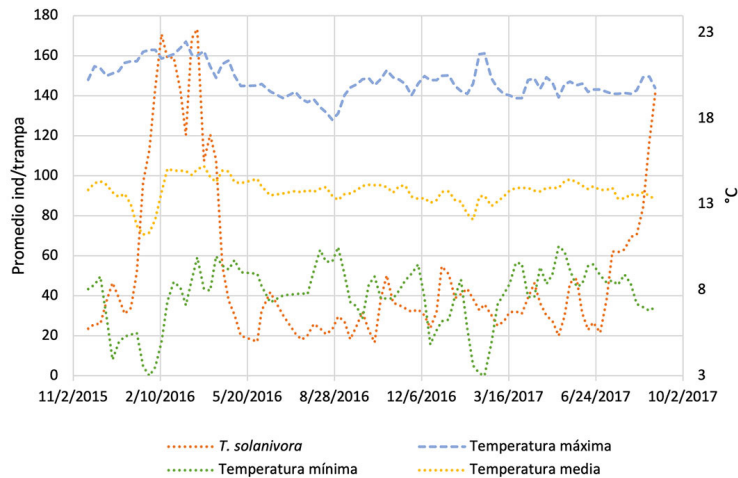


Figura 5. Series de tiempo durante veinticuatro meses (Nov 2015 a Oct 2017) de adultos machos de *T. solanivora* con la variable de temperatura en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca - Colombia.

Figure 5. Time series for twenty-four months (Nov 2015 to Oct 2017) of male adults of *T. solanivora* with the temperature variable in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

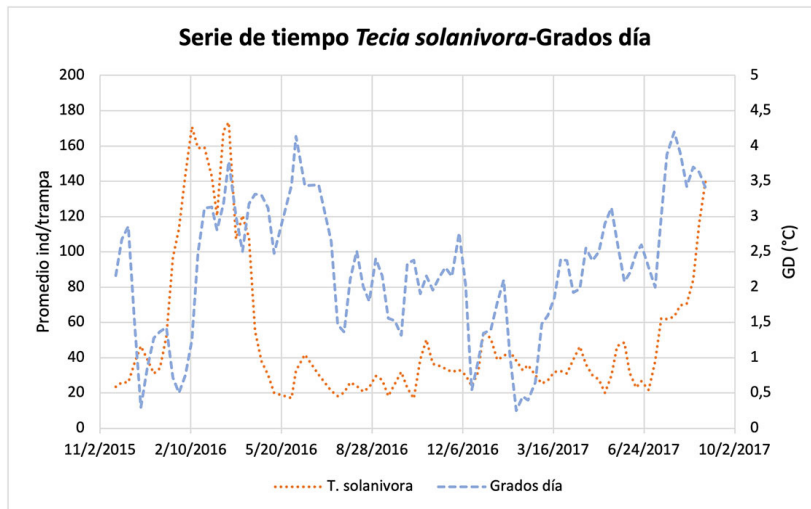


Figura 6. Series de tiempo durante veinticuatro meses (Nov 2015 a Oct 2017) de adultos machos de *T. solanivora* con la variable de grados día en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

Figure 6. Time series for twenty-four months (Nov 2015 to Oct 2017) of male adults of *T. solanivora* with the day degrees variable in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitatá Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

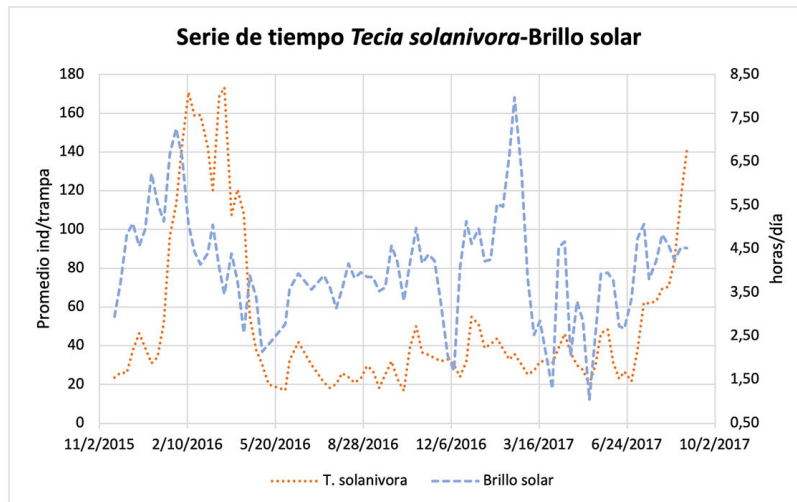


Figura 7. Series de tiempo durante veinticuatro meses (Nov 2015 a Oct 2017) de adultos machos de *T. solanivora* con la variable de brillo solar (horas/día) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

Figure 7. Time series for twenty-four months (Nov 2015 to Oct 2017) of male adults of *T. solanivora* with the solar brightness (hours/day) variable in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

las variables y se obtuvieron los croscorelogramas (Figura 8, 9, 10 y 11). Los Lag (retardo) correspondieron a semanas, se tomó un total de datos correspondiente a 94 semanas y el croscorelograma genera un cuarto de los datos analizados, es decir veinticuatro semanas distribuidas en los gráficos.

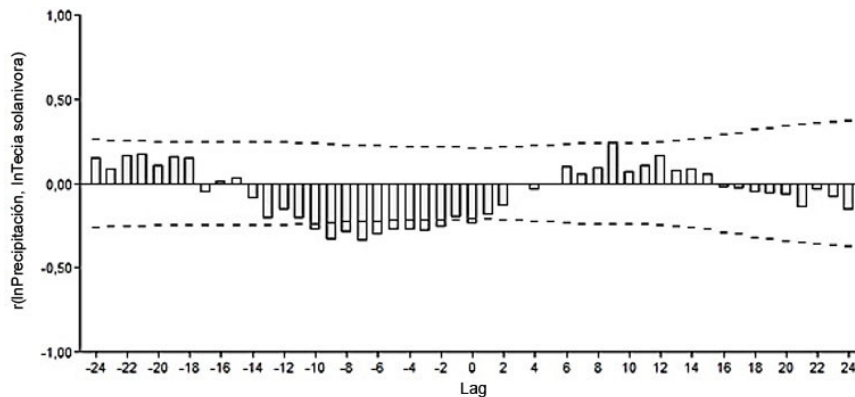


Figura 8. Correlación cruzada durante Nov. 2015 a Oct. 2017 por pares de variables analizadas para *Tecia solanivora* y precipitación en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 8. Cross-correlation during Nov 2015 to Oct 2017 by pairs of variables analyzed for *Tecia solanivora* and precipitation in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca.

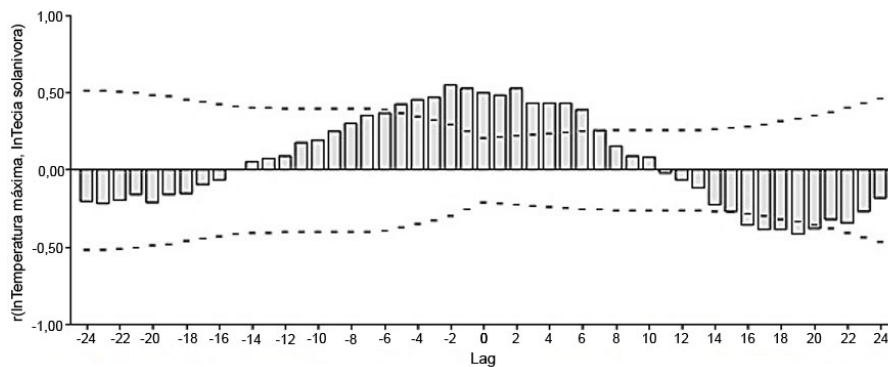


Figura 9. Correlación cruzada durante Nov. 2015 a Oct. 2017 por pares de variables analizadas para *Tecia solanivora* y temperatura máxima en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 9. Cross-correlation during Nov 2015 to Oct 2017 by pairs of variables analyzed for *Tecia solanivora* and maximum temperature in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca.

La correlación presentada entre las variables de precipitación, temperatura máxima, grados día y velocidad del viento frente al promedio semanal de adultos de *T. solanivora*, se muestra en las Figuras 8, 9, 10 y 11. Se destaca

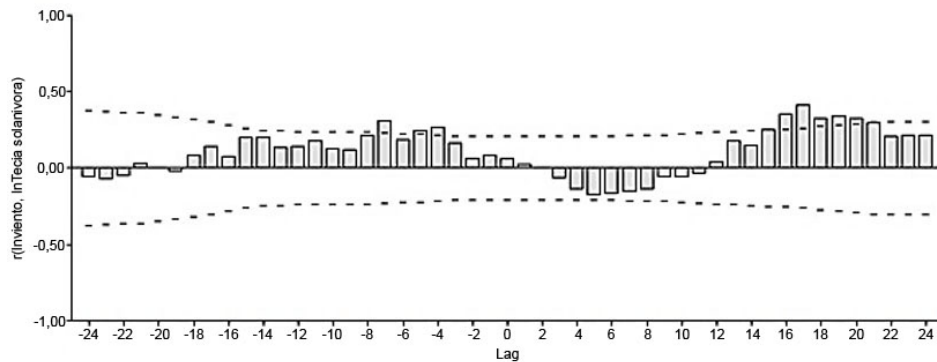


Figura 10. Correlación cruzada durante Nov. 2015 a Oct. 2017 por pares de variables analizadas para *Tecia solanivora* y velocidad del viento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 10. Cross correlation during Nov 2015 to Oct 2017 by pairs of variables analyzed for *Tecia solanivora* and wind speed in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca.

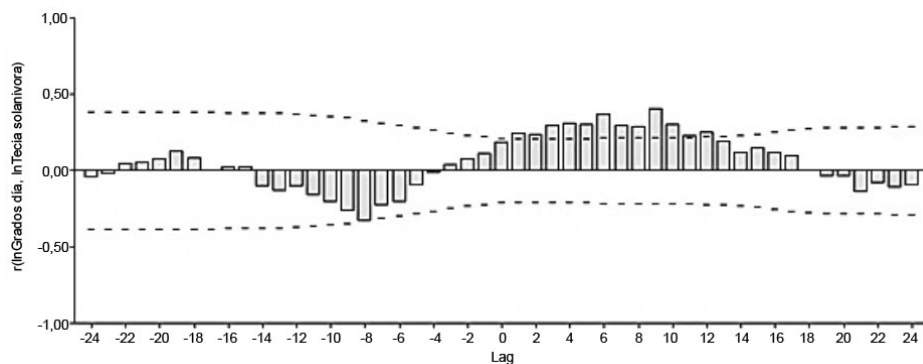


Figura 11. Correlación cruzada durante Nov. 2015 a Oct. 2017 por pares de variables analizadas para *Tecia solanivora* y grados día en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol capiro, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Figure 11. Cross-correlation during Nov 2015 to Oct 2017 by pairs of variables analyzed for *Tecia solanivora* and day degrees in the potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol capiro crop, at the Tibaitata Research Center. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca.

que los picos de la población del insecto (50 – 227 ind/trampa \pm 46 ind/trampa) se favorecieron por la temperatura máxima (20 °C – 23 \pm 0,7 °C), grados día (1 – 4,6 °Cd \pm 1 °Cd) y el viento (132 – 214 km/día \pm 24 km/día).

En el croscorelograma (Figura 8), se observó que existió una alta influencia negativa de dos a diez semanas entre la precipitación (62 – 128 mm \pm 22 mm) y el promedio semanal de adultos de *T. solanivora*, con una relación inversa al sobrepasar los coeficientes de autocorrelación en los Lag (retardo). En la precipitación se presentaron coeficientes en retardo negativo, lo que indica que los datos de la variable dependiente (*T. solanivora*) ocurrieron en una o más unidades temporales antes que los datos de la variable independiente (precipitación). Esto podría atribuirse a un comportamiento de los adultos de *T. solanivora* adelantado a las condiciones de lluvia con una disminución en sus poblaciones.

T. solanivora presentó retardos positivos frente a la temperatura máxima (Figura 9) y velocidad del viento (Figura 10), lo que indica que los aumentos de la población de adultos suceden después de que se presentan estas condiciones de clima consideradas favorables para el insecto.

Los grados día se consideran un importante índice agroclimático para el comportamiento de insectos. Se destaca que la croscorelación de *T. solanivora* y este índice presentó retardos positivos que demostraron un aumento de importancia de la población en respuesta a esta variable, que con el transcurrir de las semanas mostró picos uniformes de población de adultos (Figura 11).

Discusión

Con la mayor precipitación (62 – 128 mm \pm 22 mm) hubo reducción de la población del insecto respecto al periodo de mayor presencia de adultos (Figura 3, 4). En periodos lluviosos, se ha reportado que las pérdidas de rendimiento en el cultivo son por lo general bajas, con un adecuado engrosamiento y tuberización (Oppeltová et al., 2021; Rymuza et al., 2015), además, se destaca la disminución de las poblaciones de los insectos plagas por el impacto de la lluvia (Chen et al., 2019; Pollet et al. 2003; Wagg et al., 2021). Por tanto, se puede considerar el riego como una estrategia de manejo integrado del cultivo para favorecer el rendimiento y disminuir las poblaciones de adultos de *T. solanivora*, lo que coincide con alcances de la investigación de Peña Baracaldo y Zenner de Polanía (2015) en la localidad de Tenjo, Cundinamarca (Colombia), en donde encontraron que el tratamiento de riego presentó un aumento del 18 % de rendimiento del cultivo con respecto al testigo y, además, mencionaron que hubo ausencia de la polilla guatemalteca.

La precipitación influyó de forma negativa en la población de adultos de *T. solanivora*. La mayor cantidad de individuos se presentó en condiciones de precipitaciones bajas (0 – 63 mm \pm 19 mm), lo que indica que este factor afectó la dinámica de poblaciones, la tasa de reproducción y la sobrevivencia (Shrestha, 2019; Skendžić et al., 2021). Aunque son pocos a escasos los estudios detallados de la interacción directa entre la precipitación y *T. solanivora*, existen estudios en otras especies de polillas, como por ejemplo, *Spodoptera frugiperla* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), en donde hubo correlación negativa entre la especie y la precipitación, lo que indica que las poblaciones de este taxón de lepidóptero, disminuyen en los periodos de mayor pluviosidad (Salazar-Blanco et al., 2020). El correlograma de precipitación demostró un comportamiento en la población anticipado, por tanto *T. solanivora* presentó respuesta anticipada a las lluvias, lo que coincide con reportes de este comportamiento en algunos taxones de insectos e inclusive de arácnidos (Azevedo et al., 2020).

La temperatura máxima (17,7 - 23 °C \pm 1 °C) con respecto a la fluctuación poblacional de *T. solanivora*, presentó el valor más alto de correlación positiva (Cuadro 1), lo que coincide con que el desarrollo de los insectos está ligado a las temperaturas externas. Entre más cálidas sean las temperaturas (22° \pm 3°C), el desarrollo de los insectos será más acelerado (Chen et al., 2019). En los insectos las características termales y de comportamiento varían entre estados (Ma et al., 2021), para este estudio se realizó seguimiento solo a los adultos machos (proporción reportada 1:1) (Rincón & García, 2007). Las temperaturas registradas en la estación climatológica corresponden a una altura de 2 m sobre la superficie del suelo, y los estados inmaduros de *T. solanivora* transcurren en el suelo o dentro de tubérculos, donde las variaciones térmicas pueden ser diferentes al registro de la estación.

Aunque la relación directa entre la temperatura y *T. solanivora* ha sido poco estudiada, existen investigaciones en otras especies de polillas como *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae), en donde también se encontró correlación positiva entre la especie y la temperatura máxima, lo que indica que las poblaciones se ven favorecidas por temperaturas extremas (Duraimurugan, 2018). Los correlogramas de temperatura máxima (20 – °C 23 \pm 0,7 °C) y velocidad del viento (132 – 214 km/día \pm 24 km/día), indicaron un comportamiento posterior en la población de adultos de *T. solanivora*, representado en una alta tasa de aumento de sus poblaciones al detectar

temperaturas máximas y velocidades del viento estables, lo que coincide con comportamientos de otros insectos que al exponerse a altas temperaturas (19 – 25 °C, 28 – 32 °C) generan una respuesta al aumentar sus tasas metabólicas y generar un crecimiento más rápido (González-Tokman et al., 2020; Gillooly et al., 2002; Li & Gong, 2017).

Diferentes estudios experimentales han demostrado que los grados día presentan una relación directa con la tasa de desarrollo de insectos (Beasley & Adams, 1996; Fand et al., 2014; Peddu et al., 2020). En el presente estudio se logró identificar que la crosrelación de los grados día (1 – 4,6 °Cd \pm 1 °Cd) de *T. solanivora*, presentó una respuesta positiva, representada en picos uniformes de población de adultos al transcurrir del tiempo, por tanto, esta variable tiene una relación directa con el aumento de las poblaciones de adultos del insecto. Lo que coincide con estudios en otras polillas como *Pectinophora gossypiella* (Saunders, 1844) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Fand et al., 2021) y *Phthorimaea operculella* (Zeller, 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Skenderasi et al., 2021).

Conclusiones

Existió correlación de la temperatura máxima (17,7 -23 °C \pm 1 °C) el brillo solar (0,6 – 8,7 h/día \pm 1,5 h/día) y los grados día (0 – 4,6 °Cd \pm 1 °Cd), con el incremento en la población del insecto y una condición desfavorable por efecto de la precipitación (0 – 128 mm \pm 29 mm).

La precipitación (62 – 128 mm \pm 22 mm) influyó en la disminución de las poblaciones de adultos de *T. solanivora*. La implementación del riego podría ser de utilidad en el manejo integrado de plagas del cultivo de papa, además, se considera que la medición de la pluviosidad puede convertirse en una estrategia para la generación e implementación de herramientas de apoyo a la toma de decisiones de los momentos de aplicación de insecticidas.

La temperatura máxima (20 °C – 23 \pm 0,7 °C) y los grados día (1 – 4,6 °Cd \pm 1 °Cd), influyeron en el aumento de poblaciones de adultos de *T. solanivora*. Ante posibles escenarios de cambio climático con temperaturas altas (\geq 20° \pm 1 °C), se podría acelerar el desarrollo de polillas de *T. solanivora*, debido a que la temperatura máxima fue la condición climática donde hubo mayor incremento de las poblaciones de adultos del insecto.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) por la financiación, y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la gestión y puesta en marcha de los experimentos.

Referencias

- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., & Perrier, A. (1994). An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), 35–92.
- Azevedo, R., Costa Ferreira, R. N., de Azevedo, F. R., da Silva Nascimento, L., Pereira dos Santos, J. R., de Brito Ferreira, R. C. A., & de Oliveira Mesquita, F. (2020). Resposta antecipada ou atrasada em relação à chuva: Efeito da precipitação sobre uma assembleia de artrópodes em um enclave de floresta perenifólia. *Research, Society and Development*, 9(12), Artigo e47291210923. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10923>
- Barreto, N., Espitia, E., Galindo, R., Gordo, E., Cely, L., Sánchez, G., & López-Ávila, A. (2004). Fluctuación de la población de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) en tres intervalos de altitud en Cundinamarca y Boyacá,

- Colombia. En A. Pollet, G. Onore, F. Chamarro, & Á. Barragán (Eds.), *Memorias II Taller Internacional de Polilla Guatemalteca Tecia solanivora. Avances en investigación y manejo integrado de la polilla guatemalteca de la papa Tecia solanivora* (pp. 25–43). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010036182.pdf
- Beasley, C. A., & Adams, C. J. (1996). Field-based, degree-day model for pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae) development. *Journal of Economic Entomology*, 89(4), 881–890. <https://doi.org/10.1093/jee/89.4.881>
- Bejarano, M. V., Ñustez, C. E., & Luque, J. E. (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. *Agronomía Colombiana*, 14(2), 138–143. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21480/22472>
- Castillo Yépez, G. M. (2005). *Determinación del ciclo de vida de las “polillas de la papa” Symmetrischema tangliasi (gyen) y Tecia solanivora (povolny) (lepidopteros: gelechiidae), bajo condiciones controladas de laboratorio. Quito, Ecuador. 2004* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad Central del Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/93>
- Chen, C., Harvey, J. A., Biere, A., & Gols, R. (2019). Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change? *Ecology*, 100(11), Article e02819. <https://doi.org/10.1002/ecy.2819>
- Cotes, A. M., López-Ávila, A., Bosa Ochoa, C. F., Zuluaga, M. V., Rincón, D., Valencia, E., Clavijo Mc Cormick, A., Aragón, S. M., Borrero, F., Camargo, C., Cuadros, D., Witzgall, P., Bengtsson, M., Karlsson, M., & Birgersson, G. (2012). Uso de los compuestos volátiles de la papa en el control de la *Polilla guatemalteca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12458/44967_60390.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dangles, O., Carpio, C., Barragan, A. R., Zeddani, J. -L., & Silvain, J. F. (2008). Temperature as a key driver of ecological sorting among invasive pest species in the tropical Andes. *Ecological Applications*, 18(7), 1795–1809. <https://doi.org/10.1890/07-1638.1>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
- Dillon, M. E., Wang, G., & Huey, R. B. (2010). Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*, 467, 704–706. <https://doi.org/10.1038/nature09407>
- Duraimurugan, P. (2018). Effect of weather parameters on the seasonal dynamics of tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in castor in Telangana State. *Journal of Agrometeorology*, 20(2), 139–143. <https://www.agrimetassociation.org/journal/fullpage/fullpage1-1742959523.pdf>
- Espitia, E., Wilches, W., Barreto-Triana, N., Cely-Pardo, L., Fuentes, J. C., Herrera, C., Sánchez, G., & Diaz, M. C. (2019). Implementación del manejo integrado de la polilla guatemalteca en parcelas demostrativas en Colombia. En Comité Organizador y Científico (Ed.), *Libro de resúmenes IV Taller Internacional de la Polilla Guatemalteca de la Papa, Tecia solanivora* (pp. 52–55). Agrocabildo. https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_709_Libro%20de%20resumenes%20del%20IV%20Taller%20Internacional%20de%20Tecia%20solanivora.pdf
- Fand, B. B., Nagrath, V. S., Bal, S. K., Babu Naik, V. C., Naikwadi, B. V., Mahule, D. J., Gokte-Narkhedkar, N., & Waghmare, V. N. (2021). Degree day-based model predicts pink bollworm phenology across geographical locations of subtropics and semi-arid tropics of India. *Scientific Reports*, 11(1), Article 436. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80184-6>

- Fand, B. B., Tonnang, H. E., Kumar, M., Kamble, A. L., & Bal, S. K. (2014). A temperature-based phenology model for predicting development, survival and population growth potential of the mealybug, *Phenacoccus solanopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Crop Protection*, 55, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.020>
- Gillooly, J. F., Charnov, E. L., West, G. B., Savage, V. M., & Brown, J. H. (2002). Effects of size and temperature on developmental time. *Nature*, 417, 70-73. <https://doi.org/10.1038/417070a>
- González-Tokman, D., Córdoba-Aguilar, A., Dáttilo, W., Lira-Noriega, A., Sánchez-Guillén, R. A., & Villalobos, F. (2020). Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biological Reviews*, 95(3), 802–821. <https://doi.org/10.1111/brv.12588>
- Kocmánková, E., Trnka, M., Juroch, J., Dubrovský, M., Semerádová, D., Možný, M.; Žalud, Z. (2009). Impact of climate change on the occurrence and activity of harmful organisms. *Plant Protection Science*, 45, S48–S52. <https://doi.org/10.17221/2835-PPS>
- Kroschel, J., Mujica, N., Okonya, J., & Alyokhin, A. (2020). Insect pests affecting potatoes in tropical, subtropical, and temperate regions. In H. Campos, & O. Ortiz (Eds.), *The potato crop. Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 251–306). Open Access. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_8
- Kroschel, J., & Schaub, B. (2013). Biology and ecology of potato tuber moths as major pests of potato. In P. Giordanengo, C. Vincent, & A. Alyokhin (Eds.), *Insect pests of potato. Global perspectives on biology and management* (pp. 165–192). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386895-4.00006-5>
- Kwon, Y. S., Chung, N., Bae, M. J., Li, F., Chon, T. S., & Park, Y. S. (2012). Effects of meteorological factors and global warming on rice insect pests in Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(3), 507–515. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.05.004>
- Li, K., & Gong, Z. (2017). Feeling hot and cold: thermal sensation in *Drosophila*. *Neuroscience Bulletin*, 33(3), 317–322. <https://doi.org/10.1007/s12264-016-0087-9>
- Ma, C. S., Ma, G., & Pincebourde, S. (2021). Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures. *Annual Review of Entomology*, 66, 163–184. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-074454>
- Marco, V. (2001). Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-día. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28, 147–150. http://sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_28/B28-038-147.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, marzo). *Cadena de la papa* [Diapositivas]. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. <https://bit.ly/3OhLBLV>
- Motalebifard, R., Najafi, N., Oustan, S., Nyshabouri, M. R., & Valizadeh, M. (2013). The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. *Scientia Horticulturae*, 162, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.043>
- Mujica, N., Sporleder, M., Carhuapoma, P., & Kroschel, J. (2017). A temperature-dependent phenology model for *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(3), 1333–1344. <https://doi.org/10.1093/jee/tox067>
- Niño, L. (2003). Antecedentes de la investigación y manejo integrado de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) en Venezuela. En A. López-Avila (Ed.), *Memorias. III Taller Internacional de la Polilla Guatemalteca de la papa, Tecia solanivora* (pp. 107–114). Centro Internacional de la papa. <https://bit.ly/3B0Gk8m>

- Nochai, R., & Nochai, T. (2006). Arima model for forecasting oil palm price. In I. M. I. Ahmad, & M. A. Norhashidah (Eds.), *Applied mathematics: Proceedings of the 2nd IMT-GT regional conference on mathematics, statistics and applications* (pp. 13–15). Universiti Sains Malaysia. https://hughchristensen.com/papers/academic_papers/ST03.pdf
- Nov, A. (1995). Influencia de la temperatura sobre la biología de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae), criadas en tubérculos de papa *Solanum tuberosum* L. *Boletín de Entomología Venezolana*, 11(1), 49–54.
- Ñústez López, C. E., Delgado Niño, M. C., Alba Chacón, A. F., Duque Puentes, L. D., Mosquera Vásquez, T. Rodríguez Molano, L. E., García Domínguez, C., Cotes Prado, A. M., Beltrán Acosta, C. R., Espitia Malagón, E., Barreto Triana, N., Cely Pardo, L., Wilches Ortiz, W., & Ospina Parra, C. E. (2020). *Papa de año (Solanum tuberosum Grupo Andigenum. Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36818>
- Oppeltová, P., Kasal, P., Krátký, F., & Hajšlová, J. (2021). Analysis of selected water quality indicators from runoff during potato cultivation after natural precipitation. *Agriculture*, 11(12), Article 1220. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121220>
- Orlandini, S., Magarey, R. D., Woo Park, E., Sporleder, M., & Kroschel, J. (2018). Methods of agroclimatology: modeling approaches for pests and diseases. In J. Hatfield, M. V. K. Sivakumar, & J. H. Prueger (Eds.), *Agroclimatology: linking agriculture to climate* (pp. 453–488). Agronomy Monographs 60. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0027>
- Pearson, E. S. (1931). The test of significance for the correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, 26(174), 128–134. <https://doi.org/10.2307/2277761>
- Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution, on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60(359-367), 489–498. <https://doi.org/10.1098/rspl.1896.0076>
- Peddu, H., Fand, B. B., Sawai, H. R., & Lavhe, N. V. (2020). Estimation and validation of developmental thresholds and thermal requirements for cotton pink bollworm *Pectinophora gossypiella*. *Crop Protection*, 127, Article 104984. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104984>
- Peña Baracaldo, F. J., & Zenner de Polanía, I. (2015). Irrigation response of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. R12 Diacol Capiro. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 385–392. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1645>
- Pollet, A., Barragán, A., Zeddám, J. L., & Lery, X. (2003). *Tecia solanivora*, a serious biological invasion of potato cultures in South America. *International Pest Control*, 45, 139–144.
- Povolný, D. (1973). *Scobipalopsis solanivora* sp. n. A new pest of potato (*Solanum tuberosum*) from Central America. *Acta Universitatis Agriculturae*, 21, 133–145.
- Prakash, A., Rao, J., Mukherjee, A. K., Berliner, J., Pokhare, S. S., Adak, T., Munda, S., & Shashank, P. R. (2014). *Climate change: impact on crop pests*. Applied Zoologists Research Association. <https://bit.ly/3cgSGyJ>
- R core team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/index.html>
- Rincón, D. F., & García, J. (2007). Frecuencia de cópula de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 133–140. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1010>

- Rodríguez, C., Murillo, R., & Lépiz, C. (1988). Fluctuación de las capturas de las polillas de la papa *Scrobipalopsis solanivora* Povolny y *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera gelechiidae) en Cartago, Costa Rica. *Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 9, 12–21. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6327>
- Rodríguez-Pérez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 97–108. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i1.1229>
- Rodríguez-Roa, A., Arce-Barboza, B., Boshell-Villamarin, F., & Barreto-Triana, N. (2019). Effect of climate variability on *Collaria scenica* (Hemiptera: Miridae) on the Bogotá plateau. *Agronomía Colombiana*, 37(1), 47–61. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.75954>
- Rodríguez Roa, A. O. (2011). *Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, Collaria scenica, en la sabana de Bogotá* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3yOofaW>
- Rymuza, K., Radzka, E., & Lenartowicz, T. (2015). Effect of weather conditions on early potato yields in east-central Poland. *Communications in Biometry and Crop Science*, 10(2), 65–72.
- Salazar-Blanco, J. D., Cadet-Piedra, E., & González-Fuentes, F. (2020). Monitoreo de *Spodoptera* spp. en caña de azúcar: uso de trampas con feromonas sexuales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 445–459. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.39046>
- Schaub, B., Carhuapoma, P., & Kroschel, J. (2016). Guatemalan potato tuber moth, *Tecia solanivora* (Povolny 1973). In J. Kroschel, N. Mujica, P. Carhuapoma, & M. Sporleder (Eds.), *Pest distribution and risk atlas for Africa. Potential global and regional distribution and abundance of agricultural and horticultural pests and associated biocontrol agents under current and future climates* (pp. 24–38). International Potato Center. <https://doi.org/10.4160/9789290604761>
- Shi, P. J., Fan, M. L., & Reddy, G. V. (2017). Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects: (III) Phenological applications. *Annals of the Entomological Society of America*, 110(6), 558–564. <https://doi.org/10.1093/aesa/sax063>
- Shrestha, S. (2019). Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Scientific Agriculture*, 3(12), 74–80. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0727>
- Skenderasi, B., Mero, G., Karapanji, N., & Shahini, S. 2021. Study of potato tuber moth biology (*Phthorimaea operculella*), in the vegetation period, in korca region. *Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics*, 17(9), 693–699. <https://bit.ly/3PICtXY>
- Skendžić, S., Zovko, M., Pajač Živković, I., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), Article 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Skourti, A., Kavallieratos, N. G., & Papanikolaou, N. E. (2019). Laboratory evaluation of development and survival of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) under constant temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 83, 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.07.009>
- Sporleder, M., Kroschel, J., Gutierrez Quispe, M. R., & Lagnaoui, A. (2004). A temperature-based simulation model for the potato tuberworm, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera; Gelechiidae). *Environmental Entomology*, 33(3), 477–486. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-33.3.477>

- Sporleder, M., Schaub, B., Aldana, G., & Kroschel, J. (2017). Temperature-dependent phenology and growth potential of the Andean potato tuber moth, *Symmetrischema tangolias* (Gyen) (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, *141*, 202–218. <https://doi.org/10.1111/jen.12321>
- Sporleder, M., Tonnang, H. E. Z., Carhuapoma, P., Gonzales, J. C., Juarez, H., & Kroschel, J. (2013). Insect Life Cycle Modeling (ILCYM) software a new tool for regional and global insect pest risk assessments under current and future climate change scenarios. In J. E. Peña (Ed.), *Potential invasive pests of agricultural crops* (pp. 412–427). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845938291.0412>
- Sun, Y., Yan, F., Cui, X., & Liu, F. (2014). Plasticity in stomatal size and density of potato leaves under different irrigation and phosphorus regimes. *Journal of Plant Physiology*, *171*(14), 1248–1255. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.002>
- Tustin, A. (1947). A method of analysing the behaviour of linear systems in terms of time series. *Journal of the Institution of Electrical Engineers-Part IIA: Automatic Regulators and Servo Mechanisms*, *94*(1), 130–142. <https://doi.org/10.1049/ji-2a.1947.0020>
- Wagg, C., Hann, S., Kupriyanovich, Y., & Li, S. (2021). Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality. *Agricultural Water Management*, *247*, Article 106731. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106731>
- Wallis, J. R., & Matalas, N. C. (1971). Correlogram analysis revisited. *Water Resources Research*, *7*(6), 1448–1459. <https://doi.org/10.1029/WR007i006p01448>
- Wilches Ortiz, W. A. (2019). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) para una mayor seguridad alimentaria de pequeños productores en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia* [Tesis de Maestría, Universidad Abierta y a Distancia de México]. Repositorio institucional de la Universidad Abierta y a Distancia de México. <http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/393>