

Artículo Original

Relación de *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) y el tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, 1876 (Peronosporales: Peronosporaceae) con la fenología de la papa *Solanum tuberosum* Linnaeus, 1753 (Solanales: Solanaceae)

Relationship between *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) and late blight *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, 1876 (Peronosporales: Peronosporaceae) with potato *Solanum tuberosum* Linnaeus, 1753 (Solanales: Solanaceae) phenology

Wilmar Alexander Wilches-Ortiz¹ , Yuly Paola Sandoval-Cáceres¹ , Ruy Edeymar Vargas Diaz¹  y Ginna Natalia Cruz-Castiblanco¹ 

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. ✉ *wwilches@agrosavia.co, ysandoval@agrosavia.co, rvargas@agrosavia.co, gcruz@agrosavia.co

ZooBank: urn:lsid:zoobank.org:pub:225A1516-8EB6-431B-97E7-8E55DC51DCE8
<https://doi.org/10.35249/rche.48.4.22.14>

Resumen. El cultivo de papa es el cuarto en importancia mundial, en Colombia *Tecia solanivora* (Povolný) y *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary son limitantes que afectan su producción. Se evaluó la relación de la polilla guatemalteca y el tizón tardío en campo. Se estableció un cultivo de papa cultivar Diacol Capiro en Mosquera, Cundinamarca (Colombia), y se registraron semanalmente datos de captura de adultos de *T. solanivora* (trampas cebadas) y la severidad del daño de *P. infestans* junto con la fenología de la planta y datos de precipitación (mm), H.R. (%), temperatura (°C), velocidad del viento (km.h⁻¹) y brillo solar (h). Se encontró una correlación positiva significativa (p<0,05) de Pearson entre *T. solanivora* y la fenología del cultivo, la temperatura máxima y la H.R., para *P. infestans* con la precipitación y la H.R., y de la fenología del cultivo con la temperatura máxima. Correlaciones negativas con significancia (p<0,05) entre la severidad de *P. infestans* con el viento, el brillo solar, la temperatura máxima y la fenología del cultivo, y con la precipitación. Se encontró relación entre *T. solanivora*, la fenología del cultivo y la temperatura máxima, entre *P. infestans* y la precipitación, la H.R. y la temperatura mínima y entre la velocidad del viento y el brillo solar. Existe relación entre *T. solanivora* con la floración y formación de bayas, la temperatura máxima con la formación de tallos secundarios y la temperatura mínima con la senescencia. *Tecia* y *Phytophthora* como factores bióticos ejercen un efecto sobre el cultivo e interaccionan con factores abióticos como el clima.

Palabras clave: Abiótico; biótico; fitoprotección; tubérculo.

Abstract. Potato crop is the fourth most important globally, in Colombia *Tecia solanivora* (Povolný) and *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary are limiting factors that affect its production. The relationship between Guatemalan moth and Late Blight was evaluated in the field. A potato cultivar Diacol Capiro crop was established in Mosquera, Cundinamarca (Colombia), and data on the capture of adults of *T. solanivora* (baited traps) and the severity of damage *P. infestans* were recorded weekly, together with the phenology of the plant and precipitation data (mm), R.H. (%), temperature (°C), wind speed (km.h⁻¹) and solar brightness (h). A significant positive correlation (p<0.05) of Pearson was found

Recibido 1 Octubre 2022 / Aceptado 18 Noviembre 2022 / Publicado online 30 Noviembre 2022
Editor Responsable: José Mondaca E.

between *T. solanivora* and crop phenology, maximum temperature and R.H., for *P. infestans* with precipitation and R.H., and of crop phenology with the maximum temperature. Negative correlations with significance ($p < 0.05$) between the severity of *P. infestans* with wind, solar brightness, maximum temperature and crop phenology, and with precipitation. A relationship was found between *T. solanivora*, crop phenology and maximum temperature, between *P. infestans* and precipitation, R.H. and minimum temperature and between wind speed and solar brightness. There is a relationship between *T. solanivora* with flowering and berry formation, the maximum temperature with the formation of secondary stems and the minimum temperature with senescence. *Tecia* and *Phytophthora* as biotic factors exert an effect on the crop and interact with abiotic factors such as climate.

Key words: Abiotic; biotic; phytoprotection; tuber.

Introducción

La papa *Solanum tuberosum* Linnaeus, 1753 se considera un cultivo importante en los países desarrollados y en vías de desarrollo debido a su uso versátil, aproximadamente el 85% de la biomasa de una planta de papa es comestible, mucho más que el 50% de la biomasa aportada por los cereales (Lutaladio y Castaldi 2009). La papa es una hierba anual perteneciente a la familia de las solanáceas, cuyo tubérculo se produce en mayores cantidades para consumo humano, se le considera como el cuarto cultivo básico más importante a nivel mundial después del maíz, el arroz y el trigo (Zhang *et al.* 2017).

En el año 2020 Colombia reportó una producción anual de papa de 2.625.272 t en un área de 125.426 ha, con rendimientos aproximados de 20,9 t.ha⁻¹ (MADR 2021). Se le ha atribuido a la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) como una de las principales plagas en el cultivo de papa y su daño en cosecha puede variar entre el 2 y 15% afectando los tubérculos en campo y almacén (Espitia *et al.* 2020; Núñez-López *et al.* 2020; Wilches-Ortiz *et al.* 2022). Adicionalmente, al tizón tardío de la papa *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, 1876 se le ha considerado una de las enfermedades de mayor importancia en el cultivo y se resalta que su control se ha caracterizado por un alto aporte de fungicidas debido a que la mayoría de los genotipos de papa cultivados en Colombia son susceptibles al tizón tardío (Vargas *et al.* 2009). Para el manejo de estos dos limitantes del cultivo, los productores asumen que la polilla y el patógeno están presentes y aplican plaguicidas de manera preventiva y curativa sin seguimiento oportuno de los mismos (Duarte-Carvajalino *et al.* 2018; Wilches Ortiz 2019).

La producción del tubérculo en Cundinamarca se ha caracterizado por ser tradicional con una alta dependencia a innumerables aplicaciones de agroquímicos, destacándose el manejo fitosanitario principalmente a *T. solanivora* y a *P. infestans* (Espitia Malagon *et al.* 2018; Núñez-López *et al.* 2020; Wilches Ortiz 2019). El seguimiento del estado fenológico del cultivo, las poblaciones de *T. solanivora* y de *P. infestans* es importante para determinar si hay cambios en la sensibilidad a los fungicidas y la preferencias del insecto y la enfermedad (Olave-Achury *et al.* 2022; Wilches-Ortiz *et al.* 2022).

En los países del trópico durante todo el año se presentan condiciones climáticas que suelen ser favorables para las infestaciones de plagas y la ocurrencia de enfermedades en los cultivos, presentándose la interacción de tres factores principales: un ambiente conductivo, un huésped susceptible y uno o más insectos limitantes y patógenos virulentos (Dillon *et al.* 2010; Mundt 2009). A nivel local los enfoques interdisciplinarios representan una gran importancia para mitigar la alta incertidumbre del comportamiento de los insectos, las enfermedades y la fenología de la planta frente al clima, y así mismo permiten implementar métodos integrados de control en los diferentes cultivos. Históricamente se ha reconocido que las epidemias de tizón tardío de la papa y la distribución, reproducción, desarrollo y comportamiento de los insectos (organismos poiquilotérmicos) dependen en gran medida

de las condiciones climáticas (Crosier 1934; Kocmánková *et al.* 2009), a pesar de ello existen pocos a nulos estudios de la relación e interacción del insecto plaga y la enfermedad en el cultivo de la papa en un clima determinado. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue el de evaluar la relación de la polilla guatemalteca y el tizón tardío con la fenología de una variedad susceptible en condiciones de campo con seguimientos climáticos.

Materiales y Métodos

Localización y material vegetal

El estudio se realizó en el municipio de Mosquera, Cundinamarca (Colombia) a una altitud de 2560 m snm con coordenadas 4°41'18.84" N y 74°12'22.67" O. Se estableció un ciclo de cultivo de papa durante los meses de diciembre de 2015 a mayo de 2016 con el cultivar comercial Diacol Capiro considerado susceptible a *T. solanivora* (Bejarano *et al.* 1997) y al tizón tardío (Núñez-López 2011). El estudio se estableció en condiciones de campo en el lote experimental número 49 del Centro de Investigación Tibaitatá, perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

Las parcelas básicas se separaron por un metro de barrera vegetal con *Avena sativa* Linnaeus, 1753 para evitar interferencia entre parcelas, las trampas cebadas para *T. solanivora* y dispersión de propágulos del oomicete de *P. infestans*. Cada unidad experimental se conformó de 10 surcos, cada uno con 45 tubérculos sembrados a una distancia de 35 cm, en cuatro repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. En todo el ciclo de cultivo no se realizó aplicación de fungicidas e insecticidas para favorecer la presencia de *P. infestans* y *T. solanivora*. Adicionalmente se duplicaron las parcelas en las que el manejo de polilla guatemalteca y el tizón tardío en el cultivo fue convencional con aplicaciones fitosanitarias decididas por el agricultor para poder contrastar el rendimiento del cultivar.

En el ciclo del cultivo de papa se realizó seguimiento a las plantas de acuerdo a la escala BBCH de Hack *et al.* (1993), además de tenerse en cuenta los criterios en Diacol Capiro propuestos por Valbuena *et al.* (2010).

Seguimiento de la polilla guatemalteca *T. solanivora*

Las trampas cebadas con feromona sexual de *T. solanivora*, fueron como las reportadas por Wilches-Ortiz *et al.* (2022) en recipientes plásticos (22 cm de largo x 16 cm de diámetro) con feromona sexual suspendida de la tapa, con dos aperturas cuadradas laterales (8 x 16 cm) y en el fondo con agua jabonosa para romper la tensión superficial. Por cada unidad experimental se dispusieron dos trampas las cuales se sujetaron a soportes de madera y se registró la captura semanal de adultos machos.

Seguimiento del tizón tardío *P. infestans*

Se obtuvieron datos de severidad en puntos equidistantes en 5 surcos centrales por cada unidad experimental, se tuvo como criterios de selección plantas sin anomalías fisiológicas, daños causados por bacterias y virus. Se evaluaron 30 plantas por unidad experimental semanalmente, el sistema de seguimiento se realizó a través de lecturas del porcentaje de área foliar afectada, utilizando percepción visual desde el tercio inferior hasta el tercio superior de las plantas evaluadas registrándose el porcentaje de severidad de 0 a 100% coincidiendo con Pérez y Forbes (2008), quienes afirman que los porcentajes de área foliar afectada son: (0 % = planta sana y 100 % = planta muerta), y cuyas lecturas de evaluación coinciden con la escala reportada por el CIP. Para esto se empleó la clave para evaluar la severidad del tizón tardío en condiciones de campo (Henfling 1987).

Información meteorológica

De la estación meteorológica local [Tibaitatá- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)] se registraron datos diarios de las variables climáticas de precipitación (mm), temperaturas máximas (°C), mínimas (°C), brillo solar (h), velocidad del viento (km/h) y humedad relativa (%). Los datos se promediaron cada semana, coincidiendo con los seguimientos de *T. solanivora* y *P. infestans*, para el caso de la precipitación este dato fue acumulativo.

Producción del cultivo

Por cada unidad experimental se tomaron 2 puntos de muestreo al momento de la cosecha, cada uno compuesto de 10 plantas por surco y separados equidistantemente. En los tubérculos cosechados se tomó medidas de peso por unidad de área clasificados por su calidad de acuerdo a la evaluación de cosecha reportada por Wilches Ortiz (2019) con diámetros de tubérculo en calidad primera (>5 cm), segunda (4,5 – 5 cm) y riche (< 2 cm). El rendimiento del cultivo en los tratamientos se calculó con los datos obtenidos por unidad de área y fueron expresados a t.ha⁻¹.

Análisis estadísticos

Se comprobaron los supuestos de normalidad en todos los datos y se realizó análisis de varianza [ANOVA] y comparación por prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de los registros de rendimiento del cultivo. Para las variables de adultos de *T. solanivora*, severidad de *P. infestans*, fenología y clima se realizó correlación de Pearson (Pearson 1897) con su respectivo test de significancia (Pearson 1931), adicionalmente se aplicó análisis de correspondencia canónica (Chen *et al.* 2019). El análisis de los datos se realizó con el software R® 3.6.3 (R Core Team 2020) con las librerías corrplot (Wei *et al.* 2017), CCA (González y Déjean 2021) y ggplot2 (Wickham 2016).

Resultados y Discusión

Ciclo y fenología del cultivo de papa

En la Tab. 1 se registra las etapas fenológicas alcanzadas por el cultivar Diacol Capiro en condiciones de la localidad de Mosquera, Cundinamarca y sin ninguna aplicación de agroquímicos dirigidas a los blancos biológicos *T. solanivora* y *P. infestans*, para la determinación de las etapas fenológicas se siguió la escala BBCH de Hack *et al.* (1993) y los reportes fenológicos del cultivar reportados para la zona por Valbuena *et al.* (2010).

Tabla 1. Fenología del cultivo de papa (cultivar Diacol Capiro) en condiciones de Sabana de occidente, Lote 49 del centro de investigación Tibaitatá, AGROSAVIA. / Potato crop phenology (Diacol Capiro cultivar) under Western Savannah conditions, Lot 49 of the Tibaitatá research center, AGROSAVIA.

DDE	BBCH	ETAPA	Descripción
0	0	Siembra (S)	Tubérculos semilla dispuestos en campo.
0	0,9	Emergencia (Em)	Tallos sobrepasan superficie del suelo.
18	1,0-1,9	1. Desarrollo de Tallos Principales (Dtp)	Primeras hojas empiezan a alargarse hasta la formación de tallos principales con hojas desplegadas (>4 cms).

32	2,1-3,9	2. Formación de Tallos Secundarios (Fts)	Primer brote basal visible (> 5 cm), el 10% de plantas se tocan entre hileras hasta un 90% de cobertura de plantas que se tocan entre hileras.
72	4,0-6,9	3. Floración (Flor)	Comienzo de formación de tubérculos y botones florales hasta la floración completa.
93	7,0-8,9	4. Formación de bayas (Fby)	Primeras bayas visibles hasta maduración completa con semillas.
114	9,1-9,8	5. Senescencia (Sen)	Comienzo amarillamiento de las hojas y tallos hasta su secado completo.
130	9,9	Cosecha (Cos)	Tubérculos aptos para cosecha.
131-163	N/A	Sin Cultivo (SC)	Sin Cultivo.

Días después de emergencia (DDE). Fuente: El autor, adaptado de Hack *et al.* (1993) y Valbuena *et al.* (2010).

Polilla guatemalteca *T. solanivora* y tizón tardío *P. infestans* en el cultivo

Durante el periodo de seguimiento se observó un comportamiento activo de los adultos de *T. solanivora* ($15 - 226 \pm 59$ ind. trampa⁻¹) con una menor presencia del insecto en el momento que no hay cultivo (semanas después de la cosecha) y el máximo número de adultos se presentó en la formación de bayas. La severidad del tizón tardío ($0-100 \pm 39$ %) tuvo un incremento exponencial a partir de la formación de bayas llegando a su comportamiento máximo al terminar la senescencia del cultivo. En la Fig. 1 se presentan estos comportamientos en conjunto con la precipitación ($0-99 \pm 27$ mm) y la humedad relativa ($69-90 \pm 5$ %). Así como las demás interacciones climáticas de temperatura máxima ($19-23 \pm 1$ °C) (Fig. 2), temperatura mínima ($2- 10 \pm 2$ °C), velocidad del viento ($5 -8 \pm 0,8$ km.h⁻¹) y brillo solar ($2-8 \pm 1,5$ h) (Fig. 3).

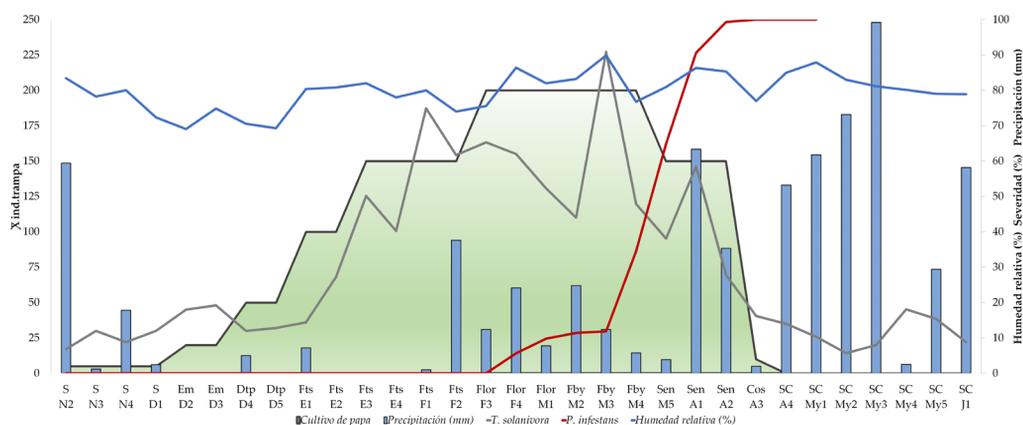


Figura 1. Comportamiento de *T. solanivora* y *P. infestans* durante el ciclo del cultivar Diacol Capiro con las condiciones de precipitación y humedad relativa. S: Siembra, Em: Emergencia, Dtp: Desarrollo de tallos principales, Fts: Formación tallos secundarios, Flor: Floración, Fby: Formación bayas, Sen; Senescencia, Cos: Cosecha, SC: Sin cultivo, N: Noviembre, D: Diciembre, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, J: Junio. / Behavior of *T. solanivora* and *P. infestans* during the Diacol Capiro cultivar cycle with precipitation and relative humidity conditions. S: Sowing, Em: Emergence, Dtp: Development of main stems, Fts: Formation of secondary stems, Flower: Flowering, Fby: Formation of berries, Sen; Senescence, Cos: Harvest, SC: No crop, N: November, D: December, E: January, F: February, M: March, A: April, My: May, J: June.

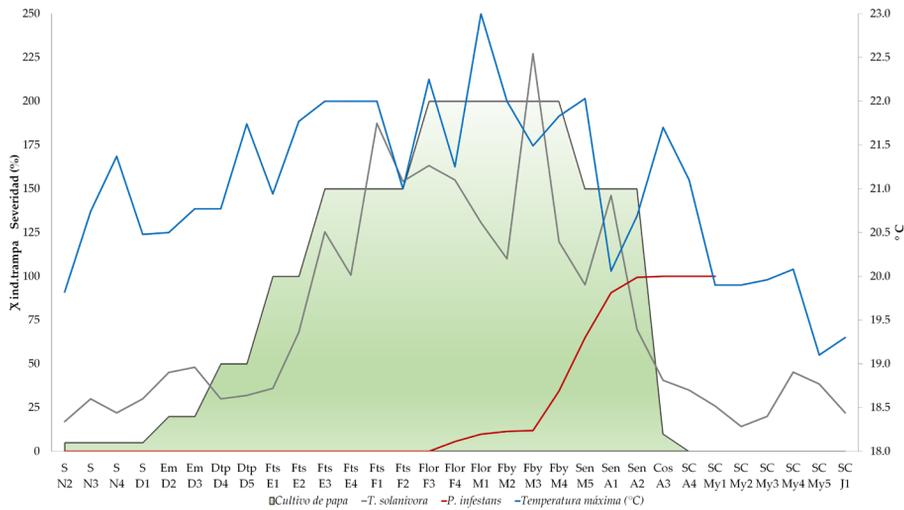


Figura 2. Comportamiento de *T. solanivora* y *P. infestans* durante el ciclo del cultivar Diacol Capiro con la temperatura máxima. S: Siembra, Em: Emergencia, Dtp: Desarrollo de tallos principales, Fts: Formación tallos secundarios, Flor: Floración, Fby: Formación bayas, Sen; Senescencia, Cos: Cosecha, SC: Sin cultivo, N: Noviembre, D: Diciembre, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, J: Junio. / Behavior of *Tecia solanivora* and *Phytophthora infestans* during the cycle of the Diacol Capiro cultivar with the maximum temperature. S: Sowing, Em: Emergence, Dtp: Development of main stems, Fts: Formation of secondary stems, Flower: Flowering, Fby: Formation of berries, Sen; Senescence, Cos: Harvest, SC: No crop, N: November, D: December, E: January, F: February, M: March, A: April, My: May, J: June.

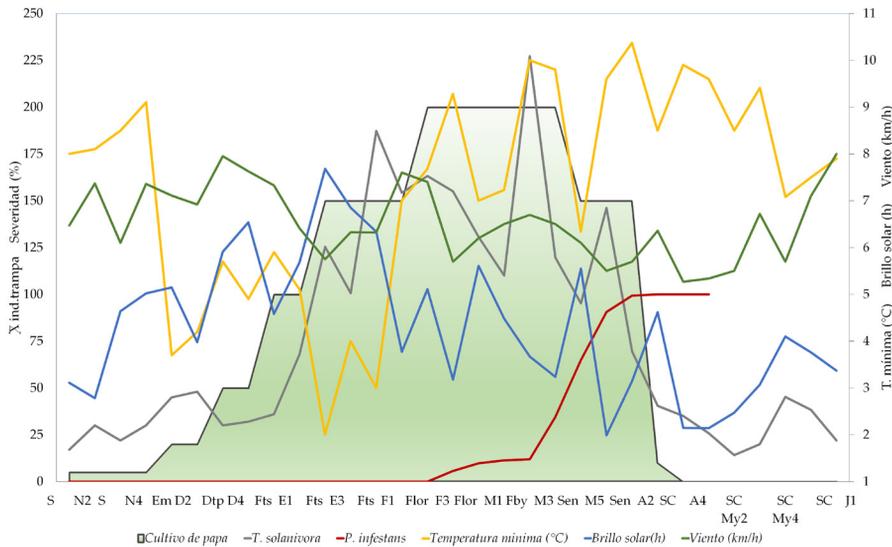


Figura 3. Comportamiento de *T. solanivora* y *P. infestans* durante el ciclo del cultivar Diacol Capiro con las condiciones de temperatura mínima, brillo solar y velocidad del viento. S: Siembra, Em: Emergencia, Dtp: Desarrollo de tallos principales, Fts: Formación tallos secundarios, Flor: Floración, Fby: Formación bayas, Sen; Senescencia, Cos: Cosecha, SC: Sin cultivo, N: Noviembre, D: Diciembre, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, J: Junio. / Behavior of *T. solanivora* and *P. infestans* during the cycle of the diacol capiro cultivar under the conditions of minimum temperature, sunlight and wind speed. S: Sowing, Em: Emergence, Dtp: Development of main stems, Fts: Formation of secondary stems, Flower: Flowering, Fby: Formation of berries, Sen; Senescence, Cos: Harvest, SC: No crop, N: November, D: December, E: January, F: February, M: March, A: April, My: May, J: June.

Correlación *T. solanivora*, *P. infestans* y fenología del cultivo

El establecimiento del cultivo y los seguimientos realizados permitieron determinar la relación de *T. solanivora* y *P. infestans* en el cultivo de papa cultivar Diacol Capiro. Se encontró correlación positiva significativa ($p < 0,05$) de Pearson entre *T. solanivora* y la fenología del cultivo, la temperatura máxima y la humedad relativa; para *P. infestans* con la precipitación y la humedad relativa, y finalmente la fenología del cultivo con la temperatura máxima.

Se presentaron correlaciones negativas con significancia ($p < 0,05$) entre la severidad de *P. infestans* con el viento, el brillo solar, la temperatura máxima y la fenología del cultivo, la cual a su vez es negativa con la precipitación (Tab. 2). Se coincide con otros estudios que reportan relación de *T. solanivora* con la fenología del cultivo (Gripenberg *et al.* 2010; Karlsson *et al.* 2017) y con la temperatura máxima (Wilches-Ortiz *et al.* 2022). Janiszewska *et al.* (2021), afirman que uno de los factores más importantes que influyen en la aparición del tizón tardío son las condiciones climáticas, siendo las más favorables para el desarrollo la alta humedad relativa ($> 90\%$) y precipitaciones constantes, en lo que se coincide en este estudio en el que la humedad relativa ($69-90 \pm 5 \%$) y la precipitación ($0-99 \pm 27$ mm) presentaron correlaciones positivas significativas.

La temperatura máxima ($19-23 \pm 1$ °C) presentó correlación significativa con la fenología de la papa, coincidiendo con los reportes de Witbooi (2020) que atribuyen a la temperatura máxima una mayor relación con el crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa.

Tabla 2. Correlación de *T. solanivora*, *P. infestans* y la fenología del cultivo con variables del clima. / Correlation of *T. solanivora*, *P. infestans* and crop phenology with climate variables.

	<i>T. solanivora</i>	<i>P. infestans</i>	Fenología
<i>Tecia solanivora</i>	/	-0,25	0,65 *
Severidad <i>P. infestans</i>	-0,25	/	-0,49 *
Fenología	0,65 *	-0,49 *	/
Humedad relativa (%)	0,47 *	0,42 *	0,16
Precipitación (mm)	-0,18	0,54 *	-0,54 *
Temperatura mínima (°C)	-0,05	0,58	-0,06
Temperatura máxima (°C)	0,57 *	-0,30	0,86 **
Viento (km/h)	-0,34	-0,67 *	0,11
Brillo solar (horas)	0,10	-0,56 *	0,36

*Significancia ($p < 0,05$) en correlación Pearson.

Se presentaron diferentes relaciones en el cultivo las cuales se presentan en el análisis de correspondencia canónica (Fig. 4), en el que se confirman correlaciones con un 78% de la varianza total, con una relación directa entre *T. solanivora*, la fenología del cultivo y la temperatura máxima. Entre *P. infestans* y la precipitación, la humedad relativa y la temperatura mínima y entre la velocidad del viento y el brillo solar. La interacción específica a nivel de las etapas fenológicas del cultivo demostró una relación entre *T. solanivora* con la floración y formación de bayas del cultivo, la temperatura máxima con la formación de tallos secundarios y la temperatura mínima con la senescencia (Fig. 4).

Se destaca que la fenología de la papa puede dividirse en fases fenológicas y que el desarrollo de los tubérculos coincide con la floración de la planta (Rodríguez-Falcón *et al.* 2006). Dado que las larvas de *T. solanivora* se alimentan exclusivamente de tubérculos, esto implica que la etapa más adecuada para las larvas se presenta con la floración de la

planta, lo cual se vio reflejado en la correlación de los adultos de *T. solanivora*, en la cual se corrobora la hipótesis de “preferencia-desempeño”, propuesta por primera vez por Jaenike (1978), que estipula que las hembras generalmente se sienten atraídas por las especies de plantas, la estructura de la planta y/o la etapa fenológica que ofrecen una influencia positiva sobre el rendimiento de la progenie (Gripenberg *et al.* 2010).

El adulto pone huevos en el suelo cerca de la base de la planta y son las larvas de primer estadio las que ubican el tubérculo de papa en el suelo por geotaxis y ninguna señal química influye en su orientación (Camargo Gil *et al.* 2010). Una ubicación rápida de la fuente de alimento para las larvas por parte de los adultos de *T. solanivora* permitirá su supervivencia, debido a que los neonatos están expuestos en el suelo y su vulnerabilidad depende de la elección de oviposición del adulto. La fenología se relacionó con la temperatura máxima, e inter-específicamente con la formación de tallos secundarios, la floración y el desarrollo de bayas principalmente, coincidiendo con Witbooi (2020), que encontró que las temperaturas máximas de 20 °C, 24 °C y 28 °C tuvieron un efecto positivo en la floración, sobre la tuberización y el agrandamiento de tubérculos.

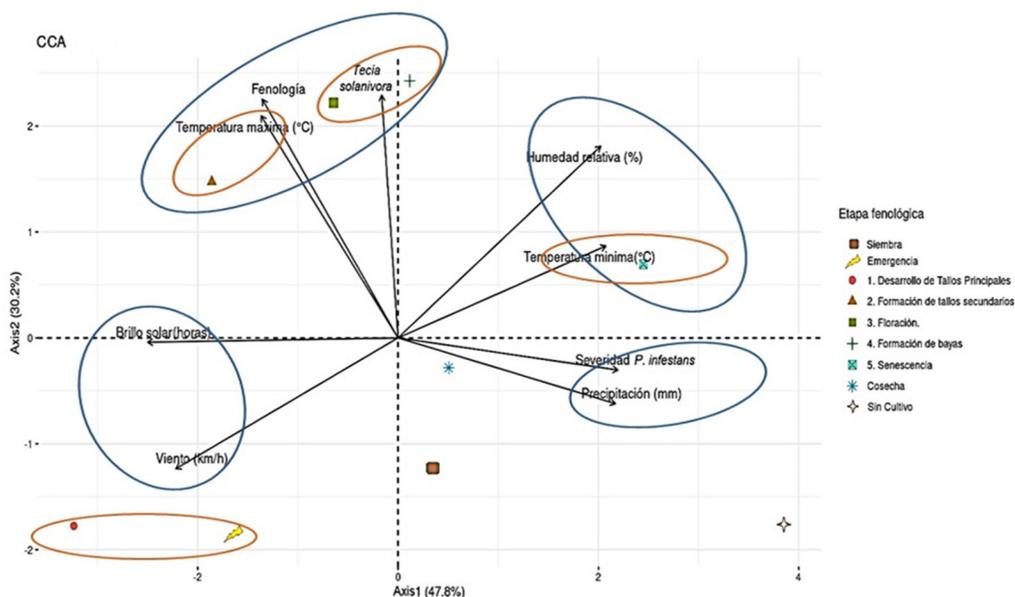


Figura 4. Análisis de correspondencia canónica de la relación de *T. solanivora* y *P. infestans* durante los meses de noviembre 2015 a junio 2016 en el cultivar Diacol Capiro con la fenología y condiciones climáticas. / Canonical correspondence analysis between relationship of *T. solanivora* and *P. infestans* during the months of November 2015 to June 2016 in the Diacol Capiro cultivar with phenology and climatic conditions.

Producción del cultivo de papa Diacol Capiro

La producción de tubérculos en el cultivo de la papa es de gran importancia debido a que representa el beneficio final obtenido por el agricultor. Ampliamente se ha atribuido a las plagas y enfermedades, e incluso a los eventos climáticos las pérdidas en el rendimiento de los cultivos (Van der Waals *et al.* 2016). Para el caso del cultivar Diacol Capiro se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en su rendimiento total y en la categoría primera del tubérculo, estos resultados demuestran la importancia de controlar *T. solanivora* y *P. infestans* en el cultivo, puesto que se reduce la producción total en un 44% respecto al control convencional (Fig. 5). Nústez-López (2011) menciona que el cultivar Diacol Capiro en

condiciones óptimas tiene un potencial de rendimiento superior a las 40 t.ha⁻¹, lo cual se evidencia en el rendimiento superior obtenido con el control convencional (53 t.ha⁻¹) y en contraste al no aplicar control (30 t.ha⁻¹), demostrando que en conjunto *T. solanivora* y *P. infestans* reducen el rendimiento del cultivo. Se resalta la importancia de los seguimientos al insecto y a la enfermedad en el cultivo para la toma de decisiones de control, tal como lo menciona Wilches Ortiz (2019).

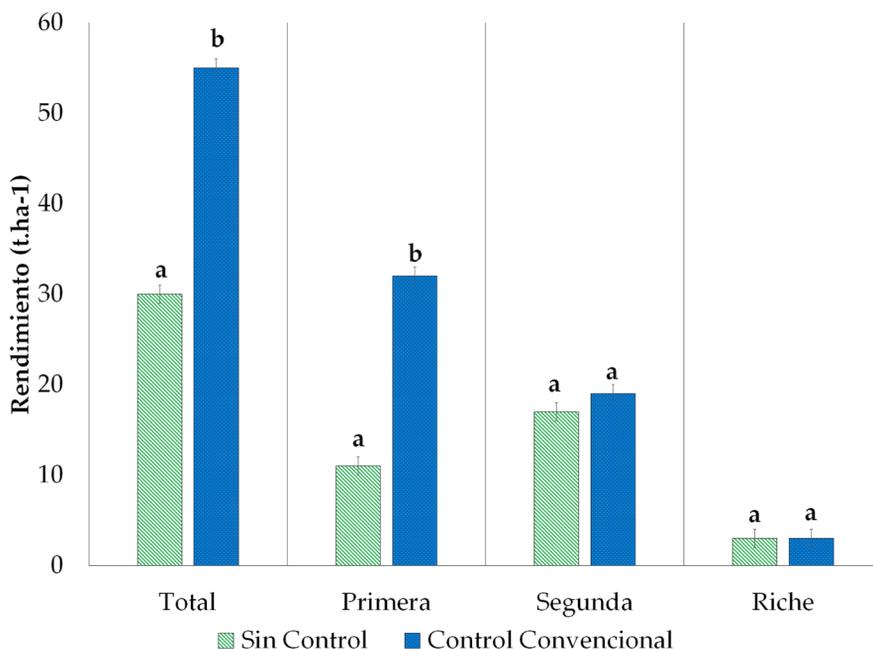


Figura 5. Rendimiento y clasificación del cultivar de papa Diacol Capiro durante los meses de noviembre 2015 a junio 2016. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$) entre tratamientos del manejo fitosanitario de *T. solanivora* y *P. infestans* (T1: sin control, T2: control convencional. Cuatro repeticiones). / Yield of Diacol Capiro potato cultivar during the months of November 2015 to June 2016. Means with different letters indicate significant statistical differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between phytosanitary management treatments of *T. solanivora* and *P. infestans* (T1: no control, T2: conventional control, four repetitions).

Conclusiones

Existe correlación positiva significativa entre *T. solanivora* y la fenología del cultivo, especialmente con la floración y formación de bayas del cultivo y de *P. infestans* con la precipitación y la humedad relativa, y finalmente la fenología del cultivo con la temperatura máxima.

Se presentaron correlaciones negativas significativas entre la severidad de *P. infestans* con la fenología del cultivo, el viento, el brillo solar y la temperatura máxima.

Se destaca la relación directa entre *T. solanivora*, la fenología del cultivo y la temperatura máxima. Entre *P. infestans* y la precipitación, la humedad relativa y la temperatura mínima y entre la velocidad del viento y el brillo solar.

Existe relación entre la temperatura máxima con la formación de tallos secundarios y la temperatura mínima con la senescencia. La polilla guatemalteca y el tizón tardío como factores bióticos ejercen un efecto sobre el cultivo de la papa y a su vez interactúan con factores abióticos como el clima.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR, por la financiación y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), por la ejecución del proyecto “Estrategias de producción sostenible de papa en el altiplano Cundiboyacense y Nariño, que permitan la obtención de un producto inocuo y de mínimo impacto”.

Financiamiento

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia – MADR.

Literatura Citada

- Bejarano, M., Nústez, C. y 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. *Revista Agronomía Colombiana*, 14(2): 138-143. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21480/22472>
- Camargo Gil, C., Rincon Rueda, D.F. y Valencia, E. (2010)** Localización de hospedero por larvas neonatas de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1): 5-10. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:189
- Chen, S., Wang, S. y Sinnott, R. (2019)** Parametric canonical correlation analysis. *Proceedings of the International Conference on Cloud Computing Technology and Science, CloudCom, 2019-Decem*, 347-353. <https://doi.org/10.1109/CloudCom.2019.00060>
- Crosier, W. (1934)** Studies in the biology of *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Cornell University Agricultural Experiment Station Memoires*, 155: 1-40. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20057004054>
- Dillon, M.E., Wang, G. y Huey, R.B. (2010)** Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*, 467(7316): 704-706. <https://doi.org/10.1038/nature09407>
- Duarte-Carvajalino, J.M., Alzate, D.F., Ramirez, A.A., Santa-Sepulveda, J.D., Fajardo-Rojas, A.E. y Soto-Suárez, M. (2018)** Evaluating late blight severity in potato crops using unmanned aerial vehicles and machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 10(10): 1-17. <https://doi.org/10.3390/rs10101513>
- Espitia, E., Wilches, W., Barreto-Triana, N., Cely-Pardo, L., Fuentes, J.C., Herrera, C., Sánchez, G. y Diaz, M.C. (2020)** Implementación del manejo integrado de la polilla guatemalteca en parcelas demostrativas en Colombia. In: C. O. y C. Agrocabildo (Ed.). *Libro de resúmenes IV Taller Internacional de la Polilla Guatemalteca de la Papa Tecia solanivora* (p. 52). Universidad de La Laguna. [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_709_Libro de resúmenes del IV Taller Internacional de Tecia solanivora.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_709_Libro%20de%20resumenes%20del%20IV%20Taller%20Internacional%20de%20Tecia%20solanivora.pdf)
- Espitia Malagon, E.M., Wilches Ortiz, W.A. y Vargas Diaz, R.E. (2018)** Yield evaluation for three potato varieties using two methods for late blight (*Phytophthora infestans*) control, in three localities in Colombia. *10th WPC- XXVIII ALAP 2018 Congress: Biodiversity, Food Security and Busines.*, 146. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26507.36647>
- González, I. y Déjean, S. (2021)** CCA: Canonical Correlation Analysis. Package. R package version 1.2.1. *R Package Version*, 1, 14. <https://cran.r-project.org/web/packages/CCA/CCA.pdf>
- Gripenberg, S., Mayhew, P.J., Parnell, M. y Roslin, T. (2010)** A meta-analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects. *Ecology Letters*, 13(3): 383-393. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01433.x>
- Hack, H., Gall, H., Klemke, T.H., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. y Witzemberger, A. (1993)** The BBCH scale for phenological growth stages of potato (*Solanum tuberosum* L.). In: *Proceedings of the 12th annual congress of the European Association for Potato Research*.

- Henfling, J.W. (1987)** El tizón tardío de la papa *Phytophthora infestans*. 2da-Edición. *Revisada Centro Internacional de La Papa Lima-Perú*.
- Jaenike, J. (1978)** On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. *Theoretical Population Biology*, 14(3): 350-356. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-5809\(78\)90012-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-5809(78)90012-6)
- Janiszewska, M., Sobkowiak, S., Stefańczyk, E. y Śliwka, J. (2021)** Population structure of *Phytophthora infestans* from a single location in Poland over a long period of time in context of weather conditions. *Microbial Ecology*, 81(3): 746-757. <https://doi.org/10.1007/s00248-020-01630-6>
- Karlsson, M.F., Proffitt, M. y Birgersson, G. (2017)** Host-plant location by the Guatemalan potato moth *Tecia solanivora* is assisted by floral volatiles. *Chemoecology*, 27(5): 187-198. <https://doi.org/10.1007/s00049-017-0244-2>
- Kocmánková, E., Trnka, M., Juroch, J., Dubrovský, M., Semerádová, D., Možný, M. y 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>
- Lutaladio, N. y Castaldi, L. (2009)** Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6): 491-493. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.002>
- MADR (2021)** Cadena de la papa. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2021-06-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Mundt, C.C. (2009)** The study of plant disease epidemics. *HortScience Horts*, 44(7): 2065-2066. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.7.2065b>
- Ñústez-López, C.E. (2011)** Variedades colombianas de papa (Primera ed). Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Agronomía Sede Bogotá. <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiiRTVzdzd5dnFsdjg/view?resourcekey=0-mKChRWXpdA5UgR1wLjAhQ>
- 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.A. y Ospina-Parra, C.E. (2020)** Papa de año (*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/07-manual-papa-de-ano-2020-EBOOK.pdf
- Olave-Achury, A., Cardenas, D., Restrepo, S., Lucca, F., Fry, W.E., Myers, K.L., Danies, G. y Soto-Suarez, M. (2022)** Phenotypic and genotypic characterization of *Phytophthora infestans* isolates associated with tomato and potato crops in Colombia. *Phytopathology*, 112(8): 1783-1794. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-21-0158-R>
- 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/10.1080/01621459.1931.10503208>
- 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>
- Pérez, W. y Forbes, G. (2008)** Manual técnico: El tizon tardío de la papa. (CIP (ed.); ComercialG). Centro Internacional de la Papa (CIP).
- R Core Team (2020)** R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

- Rodríguez-Falcón, M., Bou, J. y Prat, S. (2006)** Seasonal control of tuberization in potato: Conserved elements with the flowering response. *Annual Review of Plant Biology*, 57(1): 151-180. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105224>
- Valbuena Benavides, R.I., Roveda Hoyos, G., Bolaños Alomía, A.M., Zapata, J.L., Medina Cano, C.I., Almanza Merchán, P.J. y Porras Rodríguez, P.D. (2010)** Escalas fenológicas de las variedades de papa parda pastusa, diacol capiro y criolla yema de huevo en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. 55 pp. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12893>
- Van der Waals, J.E., Steyn, J.M., Franke, A.C. y Haverkort, A.J. (2016)** Grower perceptions of biotic and abiotic risks of potato production in South Africa. *Crop Protection*, 84: 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.02.008>
- Vargas, A.M., Ocampo, L.M.Q., Céspedes, M.C., Carreño, N., González, A., Rojas, A., Zuluaga, A.P., Myers, K., Fry, W.E., Jiménez, P., Bernal, A.J. y Restrepo, S. (2009)** Characterization of *Phytophthora infestans* populations in Colombia: First report of the A2 mating type. *Phytopathology*, 99(1): 82-88. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-1-0082>
- Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y. y Zemla, J. (2017)** R package “corrplot”: Visualization of a correlation matrix. *Statistician*, 56: 316-324. <https://cran.r-project.org/package=corrplot>
- Wickham, H. (2016)** *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- 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 [UnADM]. In *Universidad abierta y a distancia de mexico*. <http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/393>
- Wilches-Ortiz, W.A., Espitia-Malagon, E.M. y Vargas-Diaz, R.E. (2022)** Relationship between Guatemalan moth *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera : Gelechiidae) and elements of climate in the potato (*Solanum tuberosum* L.) crop. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3): 48552. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48552>
- Witbooi, H. (2020)** Phenological and physiological responses to abiotic parameters in rare potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Cape Peninsula University of Technology. <http://etd.cput.ac.za/handle/20.500.11838/3329>
- Zhang, H., Xu, F., Wu, Y., Hu, H. y Dai, X. (2017)** Progress of potato staple food research and industry development in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12): 2924-2932. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61736-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61736-2)