



Siembra

ISSN: 1390-8928

ISSN: 2477-8850

xblastra@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador

Ecuador

Wilches Ortiz, Wilmar Alexander; Vargas Diaz, Ruy Edeymar; Espitia Malagón, Eduardo María

Efectos del clima y su relación con el tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Siembra, vol. 9, núm. 2, e4008, 2022, Julio-Diciembre

Universidad Central del Ecuador

Quito, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4008>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653871546009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

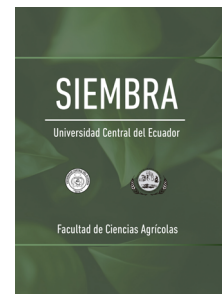
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efectos del clima y su relación con el tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Relationship between effects of climate and the late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) in the potato (*Solanum tuberosum* L.) crop

Wilmar Alexander Wilches Ortiz¹, Ruy Edeymar Vargas Díaz², Eduardo María Espitia Malagón³.



Siembra 9 (2) (2022): e4008

Recibido: 02/08/2022 Revisado: 24/08/2022 / 14/09/2022 Aceptado: 15/09/2022

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera – Bogotá. CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

✉ wwilches@agrosavia.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera – Bogotá. CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

✉ rvargas@agrosavia.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0003-2609-4087>

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera – Bogotá. CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

✉ eespitia@agrosavia.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-4690-393X>

*Autor de correspondencia:

wwilches@agrosavia.co

Resumen

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto cultivo de importancia en el mundo y es afectado por la variabilidad climática, principalmente en las epidemias de las enfermedades y supervivencia de patógenos, como el tizón tardío causado por *Phytophthora infestans*. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de los elementos climáticos en la severidad del tizón tardío en el cultivo de papa. El estudio se realizó en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia, entre diciembre del 2015 y mayo del 2016. Se evaluaron las variedades Diacol Capiro (DC), ICA-Única (IU) y Pastusa Suprema (PS), en las que se registró semanalmente la severidad del tizón tardío en conjunto con datos de precipitación (Pr), humedad relativa (HR), temperatura (T), velocidad del viento (VV), brillo solar (BS); datos con los que se calcularon los índices agroclimáticos: índice hídrico (IH), grados día (GD) y evapotranspiración de referencia (ET₀). En este estudio se presentó correlación positiva significativa ($p < 0,05$) entre la severidad de tizón en las tres variedades, con el IH ($0-158 \pm 58$), la precipitación ($0-63 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$) y la temperatura mínima ($2-10 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$), y correlación negativa significativa ($p < 0,05$) con el BS ($2-7,7 \text{ h día}^{-1} \pm 1,7 \text{ h día}^{-1}$). Los GD ($0-4 \text{ °Cd} \pm 1 \text{ °Cd}$) presentaron correlación positiva significativa con DC y PS, y también correlación positiva entre la temperatura media ($11-15,3 \text{ °C} \pm 1,41 \text{ °C}$) con DC. La ET₀ ($0,4-3,3 \text{ mm día}^{-1} \pm 0,87 \text{ mm día}^{-1}$) y la temperatura máxima ($19,9-23 \text{ °C} \pm 0,75 \text{ °C}$) se correlacionaron negativamente con DC y PS, y también entre la VV ($5,27-7,95 \text{ km h}^{-1} \pm 0,79 \text{ km h}^{-1}$) con DC. Se concluyó que las variables climáticas influyeron en la severidad y supervivencia de *P. infestans* en el cultivo de papa.

Palabras clave: fitopatología, índice agroclimático, *Phytophthora infestans*, severidad.

Abstract

Potato (*Solanum tuberosum*) is the fourth most important crop worldwide. The crop is affected by the climate variability, mainly in relation to diseases severity and pathogens survival, which is the case of late blight caused by *Phytophthora infestans*. The objective of this study was to evaluate the effect of the climatic elements on late blight severity. The study was carried out in the municipality of Mosquera, Cundinamarca, Colombia, from December 2015 to May 2016. The potato varieties Diacol Capiro (DC), ICA-Unica (IU) and Pastusa Suprema (PS) were included in this study. Data of late blight severity together with data of precipitation (Pr), relative humidity (RH), temperature (T), wind speed (VV), solar brightness (BS) were recorded, and with these data the agroclimatic indices water index (IH), temperature degree day (GD) and evapotranspiration reference (ET₀) were calculated. There was a significant positive correlation ($p < 0.05$) of late blight severity in the three varieties with IH ($0-158 \pm 58$), precipitation ($0-63 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$) and minimum temperature ($2-10 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$), and significant negative correlation ($p < 0.05$) of *P.*

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

ISSN: 1390-8928

Frecuencia: semestral

vol. 9, núm. 2, 2022

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4008>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

infestans severity with BS ($2-7.7 \text{ h day}^{-1} \pm 1.7 \text{ h day}^{-1}$). The GD ($0-4 \text{ }^{\circ}\text{Cd} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{Cd}$) presented a significant positive correlation with DC and PS, and also positive correlation with the mean temperature ($11-15.3 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$) with DC. The ETo ($0.4-3.3 \text{ mm day}^{-1} \pm 0.87 \text{ mm day}^{-1}$) and maximum temperature ($19.9-23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$) were significantly and negatively correlated with DC and PS, and also between VV ($5.27-7.95 \text{ km h}^{-1} \pm 0.79 \text{ km h}^{-1}$) with DC. It was concluded that climatic variables influenced late blight severity and *P. infestans* survival.

Keywords: phytopathology, agroclimatic index, *Phytophthora infestans*, severity.

1. Introducción

En Colombia, la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) para el 2021 fue de 2.621.344 t en un área de 120.190 ha con rendimientos aproximados de $21,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2021). La papa es una hierba anual 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). El cultivo es clave en la seguridad alimentaria de millones de personas que basan su dieta y dependen económicamente del tubérculo (Wilches Ortiz, 2019). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], en sus cifras del balance alimentario en Colombia, destaca que la papa representa un consumo promedio per cápita de $56,9 \text{ kg año}^{-1}$, con aportes de proteínas de $2,8 \text{ g día}^{-1}$ y cerca de 108 kilocalorías persona⁻¹ día⁻¹ (FAO, 2022). La producción en Cundinamarca se caracteriza por ser tradicional con alta dependencia a innumerables aplicaciones de agroquímicos, destacándose el manejo de enfermedades, enfocado principalmente al tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* (Espitia-Malagón *et al.*, 2018; Núñez-López *et al.*, 2020).

Un gran número de enfermedades en cultivos agrícolas son causadas a nivel mundial por el fitopatógeno del género *Phytophthora*, a pesar de los avances en el conocimiento de este oomicete, aún continúa causando importantes pérdidas económicas en la agricultura (Savary *et al.*, 2019; Wilches Ortiz, 2013). El tizón tardío de la papa se considera la enfermedad vegetal más importante en todo el mundo, ya que se asoció con la hambruna irlandesa de la papa en la década de 1840 (Narouei-Khandan *et al.*, 2020). La mayoría de los genotipos de papa cultivados en Colombia son susceptibles al tizón tardío, y el control de la enfermedad requiere un alto aporte de plaguicidas (Vargas *et al.*, 2009). En países donde la ocurrencia del tizón tardío es persistente, como es el caso de Colombia, los productores asumen que el patógeno está presente y aplican fungicidas preventivos (Duarte-Carvajalino *et al.*, 2018). El seguimiento de las poblaciones de *P. infestans* es importante para determinar si hay cambios en la sensibilidad a los fungicidas y la preferencia del hospedero (Olave-Achury *et al.*, 2022). La evaluación de la severidad de la enfermedad del tizón tardío generalmente se realiza de forma visual, estimando el porcentaje de follaje afectado en el cultivo (Forbes *et al.*, 2014).

El desarrollo epidemiológico de las enfermedades infecciosas resulta de la interacción de tres factores principales: un ambiente conductivo, un huésped susceptible y un patógeno virulento (Mundt, 2009). Se espera que el cambio climático ejerza un fuerte impacto en las epidemias y la ecología de las enfermedades de plantas (Zhan *et al.*, 2018), que amenaza en gran medida la seguridad alimentaria, los paisajes naturales y la salud humana (Myers *et al.*, 2017). Las predicciones climáticas actuales incluyen no solo cambios en la temperatura y la humedad promedio, sino también en sus amplitudes diarias (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Los enfoques interdisciplinarios locales son de gran importancia para mitigar la alta incertidumbre del clima sobre el desarrollo de las plagas y enfermedades, permitiendo aplicar métodos integrados de control en los diferentes cultivos (Wilches-Ortiz *et al.*, 2022). Durante mucho tiempo se ha reconocido que las epidemias de tizón tardío de la papa dependen en gran medida de las condiciones climáticas (Crosier, 1934), a pesar de ello existen pocos a nulos estudios de la relación de la enfermedad con el clima. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue el de evaluar el efecto de los elementos climáticos en la severidad del tizón tardío en tres variedades de papa en una localidad de Colombia.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización y material vegetal

El estudio se realizó en el municipio de Mosquera, Cundinamarca a una altitud de 2.560 m s. n. m. en el lote experimental 49 del Centro de Investigación Tibaitatá, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con coordenadas $4^{\circ} 41' 18,84'' \text{ N}$ y $74^{\circ} 12' 22,67'' \text{ O}$.

Se estableció un ciclo de cultivo de papa durante el período de diciembre de 2015 a mayo de 2016 en tres variedades comerciales de papa (Pastusa suprema, Ica única y Diacol capiro) con cuatro repeticiones. Las parcelas básicas se separaron por un metro de barrera vegetal (*Avena sativa* L.) para evitar dispersión de propágulos de *P. infestans* entre parcelas. Cada unidad experimental se conformó de 10 surcos, cada uno con 45 tubérculos sembrados a una distancia de siembra de 35 cm, para un total de 12 unidades experimentales en el estudio de investigación. En todo el ciclo no se realizó aplicaciones de fungicidas para favorecer la presencia de la enfermedad del tizón tardío (*P. infestans* (Mont.) de Bary) (Figura 1).



Figura 1. Tizón tardío. a) síntoma en hoja de papa. b) Imagen microscópica (40x) de esporangios, e hifas de *Phytophthora infestans*.
Figure 1. Late blight a) symptom in potato leaf. b) Microscopic image (40x) of sporangia, and hyphae of *Phytophthora infestans*.

2.2. Severidad del tizón tardío

Para la toma de datos de severidad se tomaron puntos equidistantes por cada unidad experimental, cuyos criterios de selección fueron plantas sin anomalías fisiológicas, daños causados por bacterias y virus. Para cada muestreo se tomaron 5 surcos centrales por cada unidad experimental y se evaluaron 30 plantas por unidad experimental semanalmente durante los meses de diciembre de 2015 a mayo de 2016, 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 Centro Internacional de la Papa (Tabla 1).

Tabla 1. Clave para evaluar la severidad del tizón tardío en condiciones de campo (Henfling, 1987).

Table 1. Key to assess the severity of late blight under field conditions (Henfling, 1987).

Valores	<i>Phytophthora infestans</i> (%)		Síntomas
	Media	Límites	
1	0	0	Sano (sin enfermedad).
2	2,5	Trazas < 5	Se presenta el tizón tardío con un máximo de 10 lesiones por planta.
3	10	5 > 15	Plantas aparentemente sanas, pero las lesiones son vistas fácilmente al observarse de cerca. Máxima afectación de área foliar por lesiones corresponde a no más de 20 folíolos.
4	25	15 < 35	En la mayoría de las plantas es fácilmente visible el tizón. Alrededor del 25 % del follaje está cubierto de lesiones o destruido.
5	50	35 < 65	Parcela aparentemente verde, pero todas las plantas están afectadas; las hojas inferiores, muertas. Alrededor del 50 % del área foliar está destruido.
6	75	65 < 85	Parcela aparentemente verde, pero con manchas pardas. Alrededor del 75 % de cada planta está afectado. Las hojas de la mitad inferior están destruidas
7	90	85 < 95	La parcela no está predominantemente verde ni pardo. Solo las hojas superiores están verdes. Muchos tallos tienen lesiones extensas.
8	97,5	95 < 100	La parcela se ve parda. Unas cuantas hojas superiores aún presentan algunas áreas verdes.
9	100	100	La mayoría de los tallos están lesionados o muertos. Todas las hojas y los tallos están muertos.

En cada variedad de papa se determinó el área bajo la curva de la enfermedad (AUDPC, por sus siglas en inglés), mencionada por Inglis *et al.* (1996) y se calculó el área relativa bajo la curva del progreso de la enfermedad (rAUDPC, por sus siglas en inglés), mediante la fórmula descrita por Shaner (1977), dividiendo el valor promedio de AUDPC de cada seguimiento por cada potencial máximo de AUDPC, se calcularon los valores como: días entre la última lectura menos días de la primera lectura multiplicado por 100 (Fry, 1978), por tanto, su valor es estandarizado sin unidades.

2.3. Información meteorológica

Las variables agroclimáticas que se utilizaron fueron datos diarios de temperatura mínima (°C), temperatura media (°C), temperatura máxima (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), brillo solar (horas) y velocidad del viento (km h⁻¹). Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica del C.I. Tibaitatá y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), debido a su cercanía con el cultivo, además de ser la estación representativa de la Sabana Occidente de Bogotá, los datos se registraron en conjunto semanalmente con los de severidad del tizón tardío.

2.4. Determinación de índices agroclimáticos

Se utilizaron los datos climáticos para determinar los índices agroclimáticos de grados día (GD), y evapotranspiración de referencia (ET_o) e índice hídrico (IH), de acuerdo con las condiciones de la zona y las características propias del fitopatógeno. Los grados día (GD) se calcularon a partir de la ecuación [1] reseñada por Rodríguez-Roa *et al.* (2019):

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

Conversiones:

- GD = Grados día (°Cd).
- T_{\max} = Temperatura máxima del día (°C).
- T_{\min} = Temperatura mínima del día (°C).
- T_b = Temperatura base del fitopatógeno (°C).

Existen distintos modelos empíricos y biofísicos para la determinación del valor de temperatura base, los cuales describen la relación de desarrollo de los organismos con respecto a la temperatura (Shi *et al.*, 2017). Para *P. infestans* se han desarrollado estudios de los parámetros óptimos de la infección en donde el patógeno tiene un mínimo de temperatura de 10 °C (Saucedo Castillo *et al.*, 2020). En este estudio los datos se obtuvieron en condiciones de campo en el municipio de Mosquera-Cundinamarca, el cual se ubica en la zona de la Sabana, Occidente de Bogotá, donde *P. infestans* ha desarrollado un comportamiento óptimo y de acuerdo con lo reportado por Rodríguez Roa (2011), en esta locación la temperatura media corresponde a 14 °C ± 1 °C, razón por la que los grados día (GD) se calcularon a temperatura base de 12 °C.

Para el índice hídrico se utilizó la ecuación [2] de Rodríguez-Roa *et al.* (2019):

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

Conversiones:

- IH = Índice hídrico (und).
- Pt = Precipitación (mm).
- ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm).

Se utilizó el programa CropWat® (FAO) para calcular la evapotranspiración de referencia Eto, el cual se basa en el método Penman Monteith (Allen *et al.*, 1994). Se utilizaron datos de brillo solar (horas), humedad relativa (%), velocidad del viento (km día⁻¹) y los valores medios de temperaturas mínima y máxima (°C).

2.5. Análisis estadísticos

Los valores medios de la severidad en las parcelas de las variedades de papa se analizaron mediante análisis de varianza [ANOVA] y comparación por prueba de Duncan ($p \leq 0,05$). Las variables climáticas y de severidad del tizón tardío se analizaron mediante correlación de Pearson (Pearson, 1897) con su respectivo test de significancia (Pearson, 1931) y 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).

3. Resultados y Discusión

3.1. Tizón tardío en variedades de papa

P. infestans se manifestó en las tres variedades comerciales de papa, siendo la variedad Diacol capiro la más susceptible al presentar la máxima severidad a los 154 DDS con diferencias significativas al presentar un valor rAUDPC de 0,44, seguido de la variedad pastusa suprema (0,39) a los 166 DDS y, finalmente, con un valor de 0,30 en la variedad ica única a los 173 DDS (Tabla 2). El rAUDPC obtenido para la variedad Diacol capiro (0,44) demuestra la alta afectación en esta variedad por el tizón tardío de la papa en comparación de los demás materiales, coincidiendo con los reportes de la susceptibilidad de esta variedad a *P. infestans* (Núñez-López, 2011; Rodríguez y Hernández, 2011).

Tabla 2. Comportamiento del tizón tardío en las variedades Diacol capiro, Ica Unica y Suprema. Días después de siembra (DDS) y severidad (%) final, área bajo la curva del desarrollo de la enfermedad (AUDPC), tasas de desarrollo (rAUDPC). Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0,05$) entre variedades (30 evaluaciones por parcela en cuatro repeticiones).
Table 2. Response of late blight of Diacol Capiro, Ica Unica and Suprema varieties. Days after planting (DDS) and final severity (%), area under the disease progress curve (AUDPC), development rates (rAUDPC). Means with different letters indicate significant statistical differences (Duncan, $p \leq 0.05$) between varieties (30 evaluations per plot in four replications).

Variedad	DDS	Severidad final (%) <i>Phytophthora infestans</i>	AUDPC	rAUDPC
Diacol capiro	154	99,7	2485,3	0,51
	154	99,0	2353,8	0,48
	154	99,7	2550,5	0,52
	154	99,0	1331,1	0,27
	154	99^b	2180^{ab}	0,44^b
Ica única	173	86,8	1742,2	0,29
	173	99,3	1638,2	0,27
	173	90,0	1867,2	0,31
	173	98,0	1999,2	0,33
	173	94^a	1812^a	0,30^a
Pastusa suprema	166	100,0	2468,0	0,40
	166	100,0	2293,7	0,38
	166	100,0	2398,3	0,39
	166	98,7	2457,9	0,40
	166	100^b	2404^b	0,39^{ab}

3.2. Correlaciones del clima y severidad de *P. infestans*

Se favoreció la ocurrencia del tizón tardío (*P. infestans*) en las tres variedades de papa y su relación con las variables climáticas. Se encontró correlación positiva significativa ($p < 0,05$) de Pearson entre la severidad de

P. infestans en las tres variedades con el índice hídrico ($0-158 \pm 58$), la precipitación ($0-63 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$) y la temperatura mínima ($2-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Los grados día ($0-4 \text{ }^{\circ}\text{Cd} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{Cd}$) (Figura 2) presentaron correlación positiva con significancia en las variedades diacol capiro y suprema (Tabla 3), la temperatura media ($11-15,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,41 \text{ }^{\circ}\text{C}$) correlación positiva con la variedad diacol capiro (Tabla 3). Se presentó correlación negativa con significancia ($p < 0,05$) entre la severidad de *P. infestans* en las tres variedades con el brillo solar ($2-7,7 \text{ h día}^{-1} \pm 1,7 \text{ h día}^{-1}$) (Figura 3), con las variedades diacol capiro y pastusa suprema con la ETo ($0,4-3,3 \text{ mm día}^{-1} \pm 0,87 \text{ mm día}^{-1}$) (Figura 4), Temperatura máxima ($19,9-23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y finalmente la velocidad del viento ($5,27-7,95 \text{ km h}^{-1} \pm 0,79 \text{ km h}^{-1}$) (Figura 5) con diacol capiro (Tabla 3).

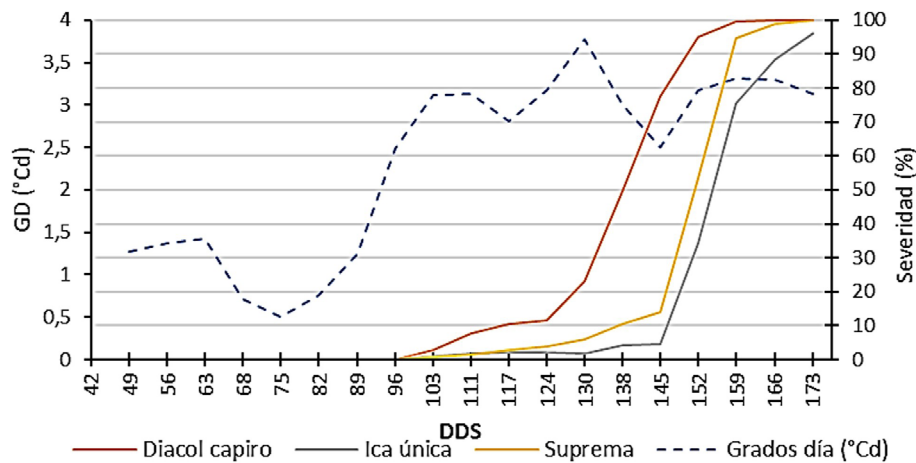


Figura 2. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) e índice hídrico en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).
Figure 2. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the water index in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after sowing - dds).

Tabla 3. Correlaciones de las variables climáticas y severidad del tizón tardío en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol Capiro, Ica Única y Pastusa Suprema en el Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca - Colombia.
Table 3. Correlations of climatic variables and severity of late blight in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Diacol Capiro, Ica Unica and Pastusa Suprema at the Tibaitatá Research Center, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca – Colombia.

Variables climáticas	Severidad tizón tardío <i>Phytophthora infestans</i>		
	<i>D. capiro</i>	<i>I. única</i>	<i>P. suprema</i>
Precipitación (mm)	0,63**	0,52*	0,53*
Humedad relativa (%)	0,42	0,32	0,33
Temperatura máxima (°C)	-0,50**	0,43	-0,45*
Temperatura mínima (°C)	0,64**	0,50*	0,54*
Temperatura media (°C)	0,40*	0,26	0,30
Vel. viento (km h ⁻¹)	-0,64**	-0,52	-0,53
Brillo solar(horas)	-0,65**	-0,52*	-0,54*
Grados Día (°Cd)	0,53*	0,41	0,45*
ETo (mm día ⁻¹)	-0,53*	0,43	-0,46*
Índice Hídrico (IH)	0,74***	0,55*	0,58**

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

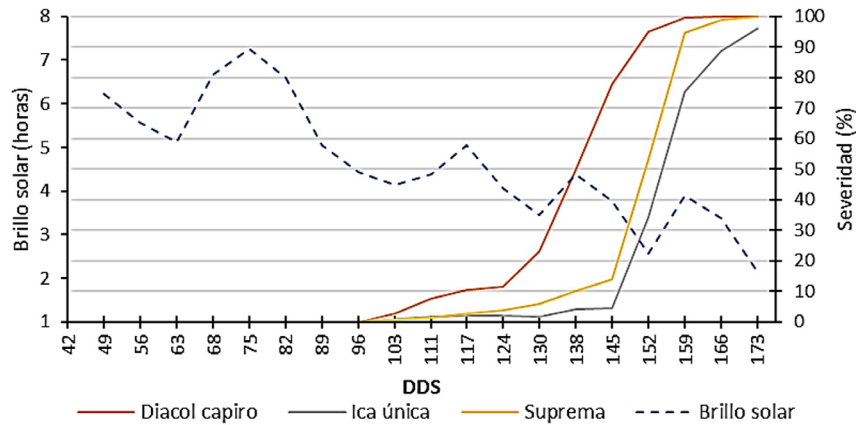


Figura 3. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y la precipitación en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).
Figure 3. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and rainfall in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

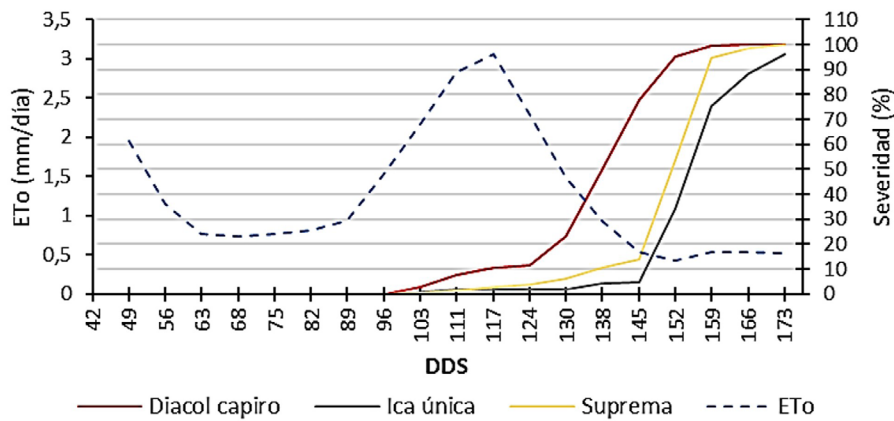


Figura 4. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y la humedad relativa en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).
Figure 4. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and relative humidity in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

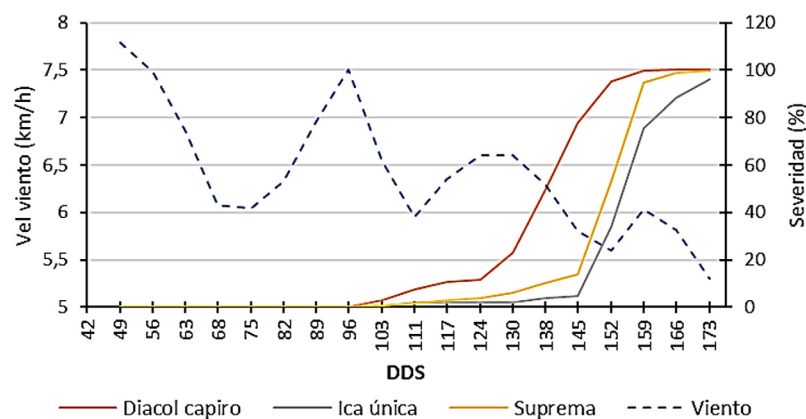


Figura 5. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y la temperatura en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).
Figure 5. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the temperature in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

La cantidad de agua es de gran importancia para el cultivo de la papa, existen estudios que resaltan el efecto de la precipitación sobre la distribución de enfermedades (Quiroz *et al.*, 2018; Zayan, 2019). En este estudio la severidad de *P. infestans* se vio favorecida por la precipitación (0-63 mm \pm 23 mm) (Figura 6) y el índice hídrico (0-158 \pm 58) (Figura 7), cabe destacar que una de las vías de reproducción del patógeno corresponde a esporangios y de estos se producen zoosporas y oosporas que requieren del viento y el agua para poder movilizarse y avanzar la epidemia en el cultivo de la papa. Janiszewska *et al.* (2021) mencionan que las condiciones favorables para el desarrollo del tizón tardío son la alta humedad relativa (> 90 %), las bajas temperaturas (> 16 °C) acompañadas de precipitaciones constantes. En la Figura 6 se puede observar las precipitaciones que demuestran la relación positiva con el desarrollo de la enfermedad.

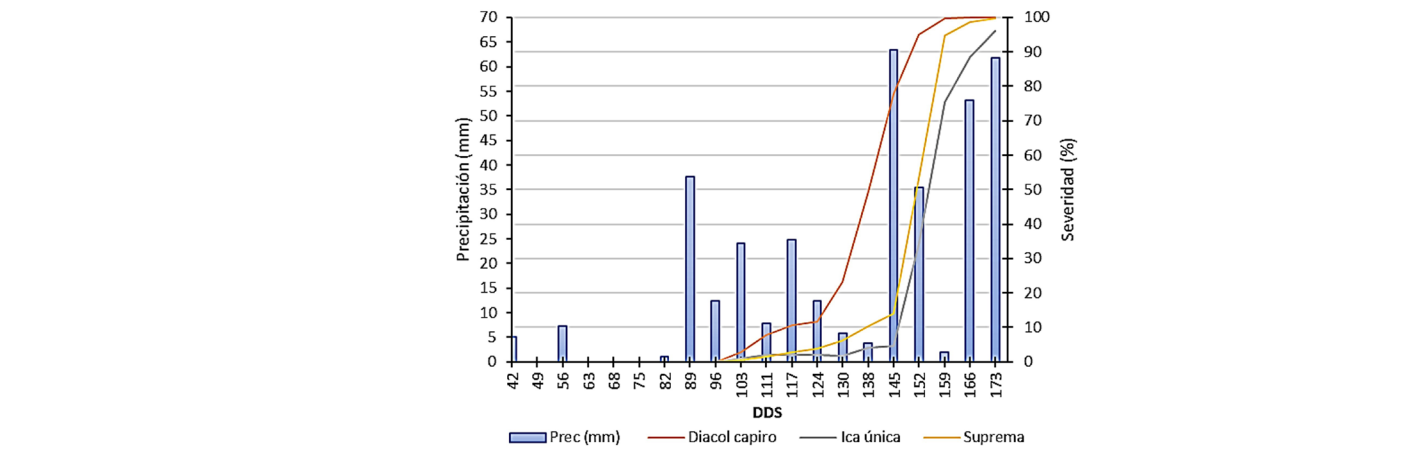


Figura 6. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y el brillo solar en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 6. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the solar brightness in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

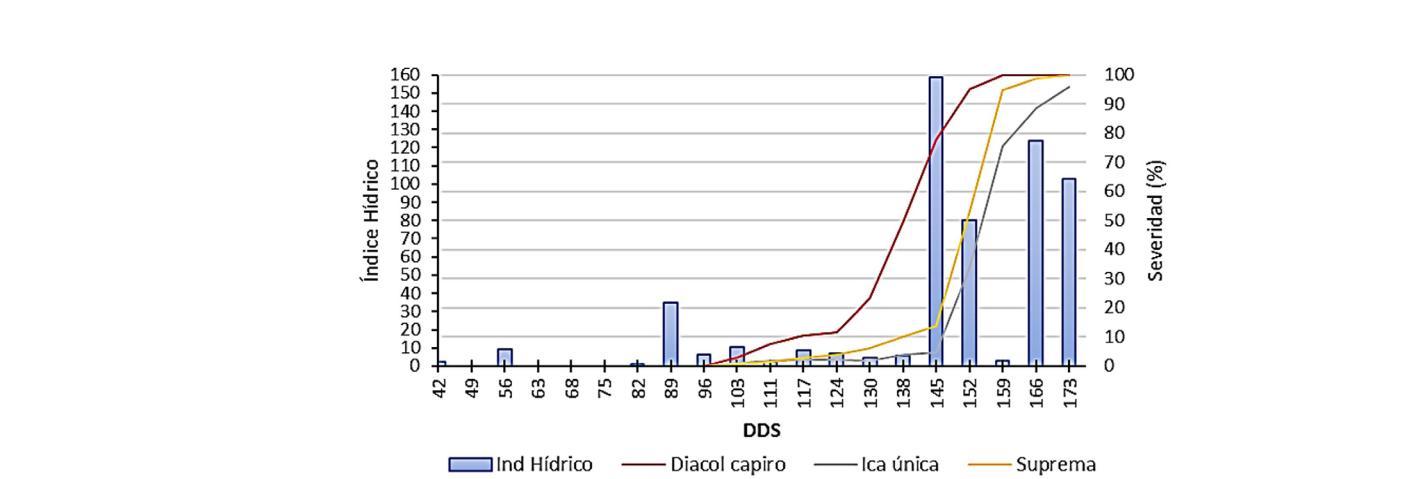


Figura 7. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y la velocidad del viento en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 7. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the wind speed in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

En este estudio no se presentó correlación significativa entre la humedad relativa y la severidad del tizón tardío (*P. infestans*), los valores de Pearson son de 0,42 en la variedad diacol capiro, 0,32 en ica única y 0,33 en suprema (Tabla 3), la relación es positiva entre las dos variables y se observa que la humedad relativa (69,3-89,9 % \pm 5,6 %) no logra sobrepasar el 90 % (Figura 8), esta variación coincide con la reportada de 60-90 % por

Luengas Bautista (2014), en cultivos de papa en Cundinamarca, Janiszewska *et al.* (2021) afirman que uno de los factores más importantes que influyen en la aparición del tizón tardío son las condiciones climáticas y que para ello la humedad relativa se considera favorable al superar el 90 %, razón por la cual en este estudio la humedad relativa presentó relación positiva pero no fue significativa con el tizón tardío.

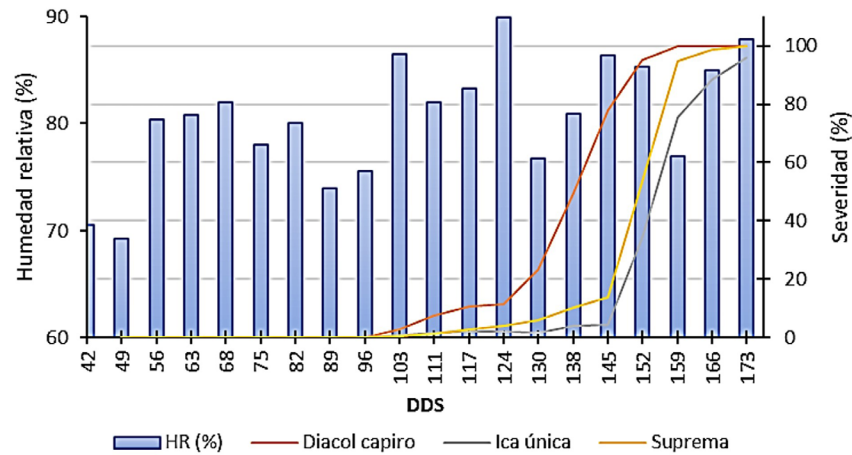


Figura 8. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y la evapotranspiración de referencia en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 8. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the evapotranspiration reference in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

Janiszewska *et al.* (2021) mencionan que el tizón tardío de papa se ve favorecido por temperaturas bajas ($> 16^{\circ}\text{C}$). La temperatura mínima ($2-10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) (Figura 9) influyó positivamente en el desarrollo del tizón tardío en las variedades diacol capiro, ica única y pastusa suprema. Luengas Bautista (2014) mencionan en estas mismas variedades de papa en localidades cercanas a la del presente estudio (Facatativá, El Rosal y Subachoque, Cundinamarca), en donde afirman que la variabilidad climática de los valores de alta humedad relativa y bajas temperaturas en los campos muestreados afectó la incidencia del tizón tardío en los cultivares diacol capiro (susceptible) y los demás cultivares (resistencia media). Shakya *et al.* (2015) encontraron que a temperaturas promedio relativamente bajas ($< 17^{\circ}\text{C}$), las tasas de progresión de incubación y latencia de *P. infestans* fueron más rápidas en condiciones oscilantes que en condiciones constantes, mientras que estas tasas fueron más lentas en condiciones oscilantes a temperaturas promedio $> 17^{\circ}\text{C}$.

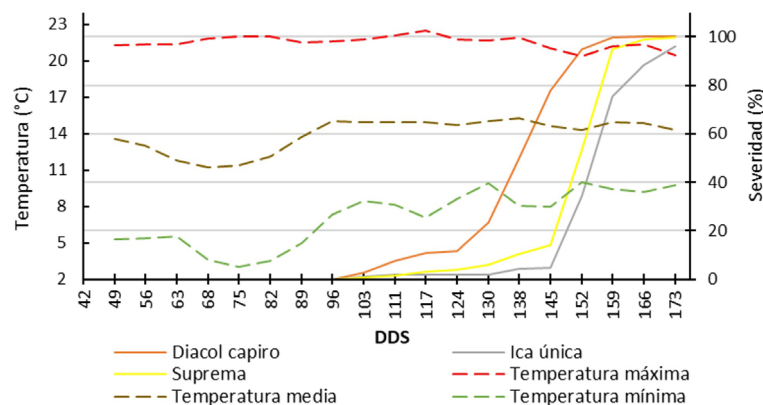


Figura 9. Relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y los grados día en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 9. Relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the degree days in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

La luz del sol tiene un impacto negativo en el proceso de esporulación de *P. infestans*; en particular, la radiación ultravioleta daña los esporangios (Pacilly *et al.*, 2016). El brillo solar presentó correlación negativa significativa con la severidad del tizón tardío en las tres variedades de papa (Tabla 3) coincidiendo con Luengas Bautista (2014) quienes estudiaron dicha relación en localidades de Cundinamarca obteniendo que existe una correlación de la severidad del tizón tardío en diferentes cultivares (Diacol capiro, ica única, suprema y criolla) con una radiación solar baja. En la Figura 3 se observa este comportamiento directo en donde a medida que las horas de brillo solar disminuyen, mayor es la severidad del tizón tardío en las tres variedades de papa en estudio.

Los resultados indican una relación negativa de la velocidad del viento (Figura 5) y la evotranspiración de referencia (Figura 4) con el tizón tardío de la papa en las variedades diacol capiro, ica única y pastusa suprema. Se evidencio que el desarrollo máximo de la enfermedad se presentó en condiciones de menor intensidad del viento y evotranspiración de referencia, coincidiendo con Otieno (2022) que afirma que *Phytophthora infestans*, se mantiene en las hojas de la planta favorecido por la reducción de la intensidad del viento y por las variaciones de la evapotranspiración.

3.3. Análisis de correspondencia del clima y severidad de *P. infestans*

Se presentó relación entre la humedad relativa, la precipitación y el índice hídrico con la severidad de *P. infestans* en las tres variedades (Figura 10). El análisis de correspondencia canónica (Figura 11) confirma esta correlación con un 72,1% de la varianza total, en donde la severidad del tizón tardío en la variedad diacol capiro presenta la relación más fuerte con el índice hídrico, seguido de la precipitación que, a su vez, se relaciona con la severidad de *P. infestans* en las variedades ica única y pastusa suprema. Finalmente, la humedad relativa presenta una correlación de menor intensidad y se destaca una mayor ocurrencia de la enfermedad en el cultivo a los 145 y 152 DDS. Estos resultados coinciden con los reportes de Litschmann *et al.* (2018) que atribuyen una relación de la precipitación con la ocurrencia del tizón tardío en cultivos de papa.

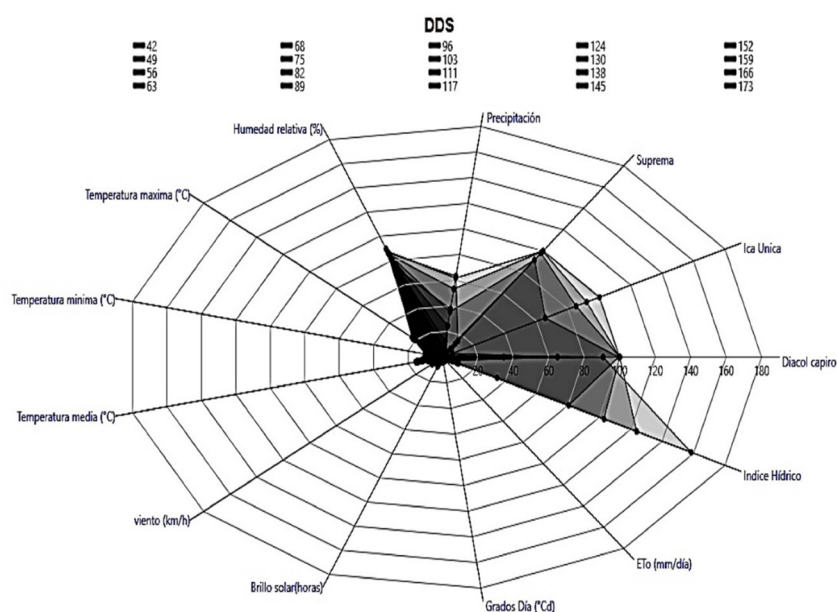


Figura 10. Gráfico radial de la relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y las variables climáticas en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 10. Radial graph of the relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the climatic variables assessed in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

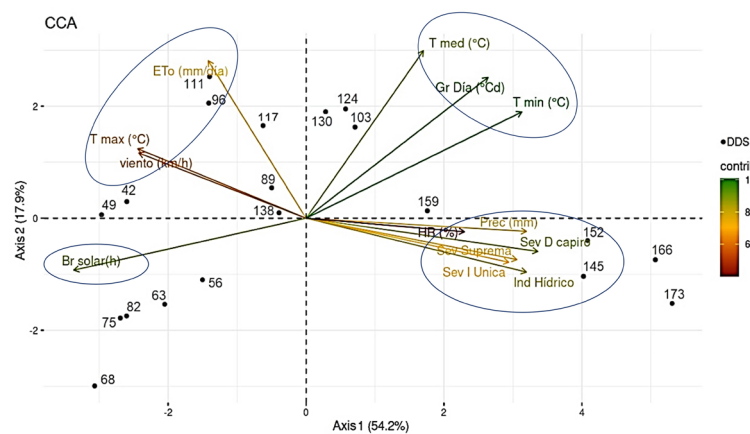


Figura 11. Análisis de correspondencia canónica de la relación de la severidad del tizón tardío (*P. infestans*) y las variables climáticas en tres variedades de papa durante los meses de diciembre 2015 a mayo 2016 en un ciclo de cultivo (173 días después de siembra - dds).

Figure 11. Canonical correspondence analysis of the relationship between the severity of late blight (*P. infestans*) and the climatic variables assessed in three potato varieties from December 2015 to May 2016 in a crop cycle (173 days after planting - dds).

4. Conclusiones

Existe correlación del índice hídrico ($0-158 \pm 58$), la precipitación ($0-63 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$) y la temperatura mínima ($2-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) con la ocurrencia del tizón tardío (*P. infestans*) y una condición desfavorable por efecto del brillo solar ($2-7,7 \text{ h día}^{-1} \pm 1,7 \text{ h día}^{-1}$) en las variedades de papa diacol capiro, pastusa suprema e ica única. Adicionalmente, se destaca que la humedad relativa ($> 90 \%$) influye en el desarrollo y supervivencia de la enfermedad en el cultivo.

Las variables climáticas impactan en la emergencia y supervivencia de *Phytophthora infestans* en el cultivo de la papa, principalmente en materiales susceptibles como diacol capiro, en donde este efecto es notorio en mayor proporción.

La epidemia del tizón tardío se podría reducir ante los posibles escenarios de cambio climático en los que se presenten temperaturas altas ($\geq 23^{\circ} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) en el cultivo de papa, puesto que la temperatura máxima fue una variable climática que presentó una relación negativa con el desarrollo de la enfermedad.

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 producto: “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.

Contribuciones de los autores

- Wilmar Alexander Wilches Ortiz: redacción – borrador original, investigación, curación de datos, análisis formal, visualización, redacción – revisión y edición.

- Ruy Edeymar Vargas Díaz: redacción – revisión y edición.
- Eduardo María Espitia Malagón: redacción – revisión y edición.

Referencias

- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., y Perrier, A. (1994). An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), 35-92.
- Chen, S., Wang, S., y Sinnott, R. (2019). Parametric canonical correlation analysis. En *2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, (pp. 347-353). <https://doi.org/10.1109/CloudCom.2019.00060>
- Crosier, W. (1934). *Studies in the biology of Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Vol. 155. Agricultural Experiment Station, Cornell University. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20057004054>
- Duarte-Carvajalino, J. M., Alzate, D. F., Ramírez, A. A., Santa-Sepúlveda, 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). <https://doi.org/10.3390/rs10101513>
- Espitia-Malagón, E. M., Vargas-Díaz, R. E., y Wilches-Ortiz, W. A. (2018). Yield evaluation for three potato varieties using two methods for late blight (*Phytophthora infestans*) control, in three localities in Colombia. En *10th WPC- XXVIII ALAP 2018 Congress: Biodiversity, Food Security and Business*. Perú. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26507.36647>
- Forbes, G. A., Pérez, W., y Piedra, J. A. (2014). *Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a Phytophthora infestans bajo condiciones de campo. Guía para colaboradores internacionales*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://doi.org/10.4160/9789290604501>
- Fry, W. E. (1978). Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology*, 68(11), 1650. <https://doi.org/10.1094/phyto-68-1650>
- 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>
- Henfling, J. W. (1987). *El tizón tardío de la papa Phytophthora infestans* (2ª ed.) Centro Internacional de la Papa. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD593.pdf
- Inglis, D., Johnson, D., Legard, D., Fry, W., y Hamm, P. (1996). Relative resistances of potato clones in response to new and old populations of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*, 80(5), 575-578. <https://doi.org/10.1094/PD-80-0575>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, y L. L. White (eds.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf
- 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>
- Litschmann, T., Hausvater, E., Dolezal, P., y Bastova, P. (2018). Climate change and its impact on the conditions of late blight occurrence. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 49(3), 173-180. <https://doi.org/10.2478/sab-2018-0023>
- Luengas Bautista, E. (2014). *Modeling the correlation between late blight development and climate variables in Cundinamarca, Colombia*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/12358>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. (2021). *Cadena de la papa*. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. [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*, 44(7), 2065b. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.7.2065b>
- Myers, S. S., Smith, M. R., Guth, S., Golden, C. D., Vaitla, B., Mueller, N. D., Dangour, A. D., y Huybers, P. (2017). Climate change and global food systems: potential impacts on food security and undernutrition. *Annual Review of Public Health*, 38(1), 259-277. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031816-044356>

- Narouei-Khandan, H. A., Shakya, S. K., Garrett, K. A., Goss, E. M., Dufault, N. S., Andrade-Piedra, J. L., Asseng, S., Wallach, D., y Bruggen, A. H. C. van. (2020). BLIGHTSIM: A new potato late blight model simulating the response of *Phytophthora infestans* to diurnal temperature and humidity fluctuations in relation to climate change. *Pathogens*, 9(8), 659. <https://doi.org/10.3390/pathogens9080659>
- Ñústez-López, C. E. (2011). *Variedades colombianas de papa* (1ª ed.). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. <https://papaunc.com/publicaciones>
- 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*. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36818>
- Olave-Achury, A., Cárdenas, D., Restrepo, S., Lucca, F., Fry, W. E., Myers, K. L., Danies, G., y Soto-Suárez, 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>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2022). *Food balance. Potatoes and products-2019*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Otieno, C. (2022). Impact of climate change on the spread of late blight of tomato. En *Egerton University 14th Biennial International Conference / Innovations in Climate Change and Natural Resource Management*. <https://conferences.egerton.ac.ke/index.php/euc/article/view/197>
- Pacilly, F. C. A., Groot, J. C. J., Hofstede, G. J., Schaap, B. F., y van Bueren, E. T. L. (2016). Analysing potato late blight control as a social-ecological system using fuzzy cognitive mapping. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0370-1>
- 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 tizón tardío de la papa*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>
- Quiroz, R., Ramírez, D. A., Kroschel, J., Andrade-Piedra, J., Barreda, C., Condori, B., Mares, V., Monneveux, P., y Pérez, W. (2018). Impact of climate change on the potato crop and biodiversity in its center of origin. *Open Agriculture*, 3(1), 273-283. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0029>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- 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*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7751>
- Rodríguez, A., y Hernández, E. (2011). Variedades colombianas de papa. *Revista papa*, 19, 5-21. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19752>
- Rodríguez-Roa, A., Arce-Barboza, B., Boshell-Villamarín, F., y Barreto-Triana, N. (2019). Effect of climate variability on *Collaria scenica* (Hemiptera: Miridae) on the Bogota plateau. *Agronomía Colombiana*, 37(1), 37-51. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.75954>
- Saucedo Castillo, O. M., Osés Rodríguez, R., y Fernández Pérez, L. E. (2020). Determination of optimal meteorological parameters for the incidence of late blight (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) in the potato. *Centro Agrícola*, 47(1), 45-49. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000100045
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., y Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Shakya, S. K., Goss, E. M., Dufault, N. S., y Van Bruggen, A. H. C. (2015). Potential effects of diurnal temperature oscillations on potato late blight with special reference to climate change. *Phytopathology*, 105(2), 230-238. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-14-0132-R>

- Shaner, G. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology*, 77(8), 1051-1056. <https://doi.org/10.1094/phyto-67-1051>
- Shi, P.-J., Fan, M.-L., y Reddy, G. V. P. (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>
- 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., Zemla, J., Freidank, M., Cai, J., y Protivinsky, T. (2017). *R package «corrplot»: Visualization of a correlation matrix*. R package version 0.84. <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. (2013). *Obtención de aislamientos de Phytophthora palmivora de palma de aceite en trampas de frutos*. Universidad de Cundinamarca. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35214.23367>
- 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*. Universidad Abierta y a Distancia de México. <http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/393>
- Wilches-Ortiz, W. A., Espitia-Malagon, E. M., y Vargas-Díaz, 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>
- Zayan, S. A. (2019). Impact of climate change on plant diseases and IPM strategies. En S. Topolovec-Pintarić (ed.), *Plant Diseases - Current Threats and Management Trends*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87055>
- Zhan, J., Ericson, L., y Burdon, J. J. (2018). Climate change accelerates local disease extinction rates in a long-term wild host-pathogen association. *Global Change Biology*, 24(8), 3526-3536. <https://doi.org/10.1111/gcb.14111>
- 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)