



Producto 8. Validación del Sistema de alerta temprana para el manejo del tizón tardío de la papa. Cerro Punta, Tierras Altas, Panamá.

Rodrigo A. Morales A., Arnulfo Gutiérrez G.

2019 - 2022



Copyright, licencias CC y Disclaimer.

Códigos JEL: Q16

ISBN: (Rodrigo Morales A., Arnulfo Gutiérrez G., Jorge Muñoz., Jessica Sánchez)

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

FONTAGRO es un fondo administrado por el Banco pero con su propia membresía, estructura de gobernabilidad y activos. Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables. Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

El presente documento ha sido preparado por [agregar los nombres de los participantes directos de la publicación]

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org

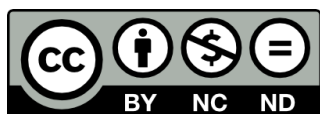


Tabla de Contenidos

Abstract/Resumen.....	4
Palabras Clave: <i>P. infestans</i> , cultivares, susceptibilidad, control, fungicidas, HH-DSS.	4
Introducción	6
Objetivos	7
Metodología.....	8
Resultados	12
Discusión.....	21
Conclusiones	25
Referencias Bibliográficas	27



Resumen

El tizón tardío de la papa es una amenaza constante para su producción exitosa. El control está basado en el uso casi exclusivo de fungicidas, afectando al ambiente, la salud de los productores y consumidores. El objetivo de estos estudios fueron validar el sistema de la alerta temprana del tizón tardío, en cultivares de papa con diversos niveles de resistencia y estimar su eficiencia en el manejo del tizón tardío. Se estableció un ensayo para caracterizar la susceptibilidad al tizón tardío de los cultivares de papa disponibles en Las Tierras Altas, Panamá. Para validar el sistema de la alerta temprana se establecieron cuatro ensayos experimentales, que consistieron en el uso de discos de colores rojo, amarillo y verde. Cada disco integró los componentes de resistencia genética, la precipitación, periodo de lluvias y la aplicación de fungicidas. El disco rojo se utilizó para el cultivar susceptible, disco amarillo para los de resistencia media y el disco verde para el resistente al tizón tardío. Se comparó con la práctica de control de los productores que consistió en las aplicaciones de fungicidas de diversos modos de acción, a intervalos de 3 a 5 días. Con los registros semanales de la severidad del tizón tardío se trazaron y estimaron los parámetros epidemiológicos Curvas de Progreso de la Enfermedad (CPE), Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC), Área Bajo las Escaleras de Progreso de la Enfermedad (AUDPS), los respectivos valores relativos, y los valores resultantes de la escala de susceptibilidad. Se seleccionó a 398017.53 como resistente, a IDIAP Roja 17, Ultra y Patagonia con resistencia media y Granola como susceptible. Con estos cultivares se establecieron los dos primeros ensayos de validación del sistema de la alerta temprana, en las épocas lluviosas de 2019 y 2020 y sin Ultra en los dos ensayos de validación de 2022. Se confirmó que los valores promedio del AUDPS son superiores a los estimados del AUDPC, detectándose mayor diferenciación estadística entre los cultivares. Con la implementación del sistema de la alerta temprana, se realizaron menos aplicaciones de fungicidas comparado a la práctica de control del tizón tardío por los productores de papa. La reducción fue de hasta 65% con 398017.53 y la ampliación del intervalo de las aplicaciones de fungicidas de hasta 13 días, con el inicio de los síntomas de tizón tardío. Pero, con la práctica convencional de control de los productores se registraron los menores valores de severidad en el tiempo y se calculó el menor valor promedio estadístico del AUDPC, AUDPS y los respectivos valores relativos, comparado a la implementación del sistema de la alerta temprana. Los rendimientos comerciales de papa fueron superiores en las parcelas experimentales de Granola e IDIAP Roja 17 con la práctica de control de los productores y en 398017.53 fueron similares entre ambos métodos de control del tizón tardío. En IDIAP Roja 17 y 398017.53 con el uso de la alerta temprana se estimaron los menores costos variables y los menores valores del EIQ (Environment Impact Quocient), lo que indicó que hay reducción en los costos de producción y menores impactos negativos ecológicos.

Palabras Clave: *P. infestans*, cultivares, susceptibilidad, control, fungicidas, HH-DSS.



Abstract

Late blight disease is a constant threat to successful potato production. Control is based almost exclusively on the use of fungicides, which affects the environment and the health of producers and consumers. The aim of these studies was to validate the early warning system for late blight disease in potato cultivars with various levels of resistance and estimate its efficiency in late blight disease management. A trial was established to characterize the susceptibility to late blight disease of potato cultivars available in the highlands of Panama. Four experimental trials were established to validate the early warning system, which consisted of the use of red, yellow, and green color disks. Each disk integrated genetic resistance components, precipitation, rainfall periods, and fungicide application. The red disk was used for the susceptible cultivar, the yellow disk for the medium resistance cultivars, and the green disk for the late blight-resistant cultivar. The producer's control practice, which consisted of fungicide applications with various modes of action at intervals of 3 to 5 days, was compared with the early warning system. Weekly records of late blight disease severity were used to estimate epidemiological parameters, such as Disease Progress Curve (DPC), Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC), Area Under the Disease Progress Stairs (AUDPS), the respective relative values, and the resulting susceptibility scale values. 398017.53 was selected as resistant, IDIAP Roja 17, Ultra, and Patagonia as medium resistance, and Granola as susceptible. These cultivars were used to establish the first two validation trials of the early warning system in the rainy seasons of 2019 and 2020, and without Ultra in the two validation trials of 2022. It was confirmed that the average AUDPS values were higher than the estimated AUDPC values, and greater statistical differentiation was detected among cultivars. With the implementation of the early warning system, fewer fungicide applications were made compared to the producer's late blight disease control practice. The reduction was up to 65% with 398017.53, and the interval between fungicide applications was extended to 13 days, with the onset of late blight disease symptoms. However, the lowest severity values over time were recorded with the producer's conventional control practice, and the lowest statistical average values of AUDPC, AUDPS, and their respective relative values were calculated, compared to the implementation of the early warning system. Commercial potato yields were higher in the experimental plots of Granola and IDIAP Roja 17 with the producer's control practice, and in 398017.53, they were similar between both late blight disease control methods. In IDIAP Roja 17 and 398017.53, the use of the early warning system estimated lower variable costs and lower values of EIQ (Environment Impact Quotient), indicating a reduction in production costs and lower negative ecological impacts.

Keywords: *P. infestans*, cultivars, susceptibility, control, fungicides, HH-DSS.



Introducción

El oomyceto *P. infestans*, causante de la devastadora enfermedad tizón tardío de la papa, es una amenaza constante para la producción mundial de papa y tomate, provocando que más fungicidas se apliquen a estos cultivos que a cualquier otro (Fry, 2008; Wiik, 2014). Los reportes indican que se gastan exorbitantes sumas de dinero en fungicidas para el control del tizón tardío (Adolf et al., 2020; Fry et al., 2013). Es evidente el peligro potencial del tizón tardío, y que los fungicidas utilizados para el control no son efectivos para reducir las infecciones foliares (Landeo and Turkensteen, 1989; Morales, 2001). Las pérdidas de rendimientos comerciales de papa causadas por el tizón tardío alcanzan hasta US\$ 6.7 mil millones anuales (Ghislain et al., 2019; Nowicki et al., 2012). Además, esta enfermedad se encuentra ampliamente distribuida en plantaciones donde los productores no tienen acceso a diversas alternativas de control (Hijmans, 2001; Nelson et al., 2001). Por lo tanto, un cultivo de papa de una variedad susceptible en zonas endémicas al tizón tardío puede ser devastado en un periodo de 7 a 10 días (Andrade-Piedra et al., 2005I y II; Fry, 2008).

En la explosión y desarrollo de epifitias del tizón tardío, se identifican diversos elementos que conforman la pirámide de la enfermedad (en este caso del patosistema papa-*P. infestans*). Estos son: 1) cultivares de papa disponibles (clones y variedades), que varían en su expresión de resistencia genética (Garrett et al., 2001; Kirk et al., 2001); 2) *P. infestans*, el cual la literatura especializada reporta la gran variabilidad genética de sus poblaciones (Cooke et al., 2011; Páez et al., 2005); 3) el ambiente favorable predominante en las zonas paperas tropicales (Fry, 2008); 4) la influencia positiva del tiempo en la duración de componentes del clima, del ciclo biológico del tizón tardío y de los cultivares sembrados (Fenu and Mallocci, 2020); y 5) el productor quien decide el cultivar a sembrar, las épocas de siembra y las prácticas agronómicas y de protección del cultivo (Chaube and Pundhir, 2005). Estos elementos son la base para la implementación de las diversas tácticas de control y su incorporación -previa evaluación y confirmación en campo- a los programas de manejo integral del cultivo de papa.

Para el control integrado del tizón tardío, se ha descrito el desarrollo de modelos de simulación, como es el caso de los sistemas de soporte de decisiones (DSS, acrónimo del inglés decision support systems) (Cooke et al., 2011). Estas valiosas herramientas han sido utilizadas por los productores en Europa, siendo validadas en Suramérica (Cooke et al., 2011; Forbes et al., 2008). Están basadas en los registros del comportamiento de las poblaciones de *P. infestans*, del clima, del crecimiento y desarrollo de las plantas de papa, las características de fungicidas y los cultivares disponibles (Adolf et al., 2020). Poseen gran impacto en los pequeños productores de papa de los países en vías de desarrollo, ya que provee información de esta importante enfermedad y les brinda conocimientos para su manejo (Acuña et al., 2017). En la actualidad, se ha contemplado la validación en campo de la alerta temprana basada en el sistema portátil de apoyo a la toma de decisiones (HH-DSS, acrónimo del inglés Hand Held-Decision Support System). Surge como un nuevo enfoque de manejo inteligente para pronosticar la enfermedad del tizón tardío y los riesgos a las plantaciones comerciales de papa en la región (Lal et al., 2018; Mizubuti and Fry, 2006).



Objetivos

Validar el sistema de alerta temprana del tizón tardío de la papa, en cultivares de papa con diversos niveles de resistencia y estimar la eficiencia en la supresión de infecciones causadas por *P. infestans*.



Metodología

Para establecer los ensayos de validación del sistema de la alerta temprana, en reuniones programáticas de trabajo con técnicos investigadores y agentes de cambio, y productores de papa, se consensuó el protocolo establecido en el proyecto y su adecuación práctica en el tiempo, según los sistemas de producción y agroclimatológicas de las Tierras Altas de Panamá. Para la selección de los cultivares susceptibles, medianamente resistentes y resistentes a *P. infestans*, se realizó un ensayo de evaluación de la susceptibilidad al tizón tardío. Los datos de temperatura, humedad ambiental, precipitación pluvial, se registraron con la estación meteorológica existente en el campo experimental del IDIAP Cerro Punta.

Ensayo de susceptibilidad de cultivares de papa al tizón tardío

El ensayo de caracterización de cultivares de papa se realizó durante el periodo comprendido de junio a septiembre de 2019, en los terrenos de la Estación Experimental del IDIAP Cerro Punta. Se evaluaron los clones 398017.53, 309088.12, 309129.11, 304079.1, y las variedades Defender, Granola, Ultra, IDIAP Roja 17 y Patagonia. Fueron distribuidos en campo en el diseño Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones. El área de las unidades experimentales fue de 20 m² (4m x 5m), constaron de cuatro surcos de 5 m de largo, separados a 0.80 m y 0.30 m entre tubérculos semilla. La parcela efectiva se conformó de los dos surcos centrales.

En la etapa fenológica de susceptibilidad juvenil, durante el periodo de crecimiento de las plantas de papa, para el control del tizón tardío y para uniformizar el estado fitosanitario de las plantas de papa, se aplicó el fungicida protectante Chlorothalonil 72 SC a los 14 y 21 días después de la siembra (Schepers et al., 2007). Con la primera expresión del tizón tardío en condiciones naturales, se iniciaron las lecturas de la severidad de la infección foliar (%), con una frecuencia de siete días. Los datos registrados fueron utilizados para trazar las curvas de progreso de la enfermedad (CPE), que consistió en graficar la severidad del tizón tardío en función de los días después de la siembra. También se utilizaron para calcular el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC, acrónimo del inglés Area Under the Disease Progress Curve), el Área Bajo las Escaleras de Progreso de la Enfermedad (AUDPS, acrónimo del inglés Area Under the Disease Progress Stairs), cuyos valores se expresan en %-días (Simko and Piepho, 2012). Para estandarizar los valores de estos dos parámetros epidemiológicos, se calculó el respectivo valor relativo que se obtuvieron al dividir el valor estimado de cada uno entre su máximo valor potencial. Todos los valores estimados se constituyeron en los parámetros epidemiológicos cuantitativos de estimación del nivel de resistencia de los cultivares evaluados. A los valores resultantes del AUDPC y AUDPS se les aplicó la prueba de Shapiro-Wilk de distribución normal, para luego proceder a realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la diferenciación de medias por la prueba post hoc Tukey.

Se aplicó la escala de susceptibilidad para clasificar los cultivares de papa (Forbes et al., 2014). Se asignó arbitrariamente un valor alto de la escala de susceptibilidad (>5), al cultivar con expresión de susceptibilidad, resistencia media (de 3 a 5) y alta resistencia de 0 a 2. Se obtuvo una constante

(C) resultante de la siguiente ecuación: C= valor de la escala asignado a la variedad susceptible disponible (Granola)/rAUDPC de Granola. El valor de la escala (V) para cada cultivar evaluado se obtuvo con la fórmula $V = rAUDPC \text{ del cultivar evaluado} * C$. En este ensayo se seleccionaron los cultivares que se utilizaron en las validaciones del HH-DSS para el manejo del tizón tardío de la papa.

Ensayos de validación del sistema de alerta temprana del tizón tardío

Se realizaron cuatro ensayos de validación del sistema de la alerta temprana en la época lluviosa, en los terrenos de la Estación Experimental del IDIAP Cerro Punta (3) y una en la localidad de Las Nubes, Tierras Altas. La altitud promedio fueron 1950 msnm y 1893 msnm; respectivamente. La primera validación se desarrolló durante el periodo de noviembre de 2019 a febrero de 2020. Los ensayos de validación consistieron en dos métodos comparativos de control del tizón tardío: 1) sistema de la alerta temprana, HH-DSS, utilizando los discos de colores e integrando los componentes de resistencia genética, precipitación (mm), periodo de lluvias (días) y aplicación de fungicidas de diversos modos de acción (días de la última aplicación). Cada ensayo constó de parcelas experimentales utilizando el disco de color rojo para el clon resistente (398017.53), el disco amarillo para las dos variedades medianamente resistentes (Ultra e IDIAP Roja 17) y el disco verde para la variedad susceptible (Granola); y 2) la práctica convencional de control de los productores por cultivar seleccionado -independiente del nivel de resistencia- basado en el uso exclusivo de fungicidas de diversos modos de acción (incluso compuestos), con frecuencia de aplicaciones de 3 a 5 días durante todo el ciclo del cultivo de papa (Morales, 2001) (Tabla 1). El área de las parcelas experimentales fue de 80 m² (8m x 10m), conformadas por 10 surcos de 10 m de largo, separados a 0.80 m y 0.30 m entre tubérculos semilla. La unidad experimental efectiva se conformó por cada uno de los ocho surcos centrales. En este ensayo no se consideró los rendimientos comerciales, ya que solo se evaluó el potencial supresor de infecciones foliares de tizón tardío por la aplicación de la nueva herramienta sistema de alerta temprana, HH-DSS, comparado a la práctica convencional de control de los productores de papa de las Tierras Altas de Panamá.

Tabla 1. Componentes por disco de color utilizados en la alerta temprana del tizón tardío de la papa, HH-DSS y la práctica de control de los productores. Cerro Punta, 2019.

Cultivar	Discos (HH-DSS)	Precipitación (mm·día)	Periodo de lluvias (días)	Aplicación de fungicidas
Susceptible (Granola)	Rojo	0 a 10	3 a 5	>3 días= fungicida de contacto >5 días= fungicida sistémico
Resistencia media (IDIAP Roja 17 y Ultra)	Amarillo	11 a 40	8	≤ 7= fungicida de contacto >7 días= fungicida sistémico
Resistente (398017.53)	Verde	11 a ≥50	11	≤ 10= fungicida de contacto >10 días= fungicida sistémico
Control convencional de los productores: por cultivar, aplicaciones de fungicidas de 3 a 5 días				



El segundo ensayo de validación se realizó de julio a octubre de 2020, en el campo experimental del IDIAP Cerro Punta. Por los resultados obtenidos en la primera validación, se realizaron los ajustes en los parámetros de la cantidad de lluvias y su periodo (días), la última aplicación de fungicidas (días) y utilizándose los mismos cultivares seleccionados por disco de color (Tabla 2). A cada parámetro se le otorgó un puntaje cuya sumatoria fue la base para la toma de decisión de la aplicación del fungicida y el modo de acción, a saber; 1 a 3= no aplicar; 4 a 6= aplicar fungicida de contacto y de 7 a 10= aplicar fungicida sistémico.

Tabla 2. Ajustes a los componentes por disco de color del sistema de alerta temprana del tizón tardío de la papa, HH-DSS. Cerro Punta, 2020.

Disco (HH-DSS)	Precipitación (mm·día)	Valor	Periodo de lluvias (días)	Última aplicación fungicida (días)	Valor
Rojo (Granola)	0	0	6	<4	1
	1 a 5	2		5 a 7	3
	6 a 10	5		>7	5
Amarillo (IDIAP Roja 17 y Ultra)	0	0	8	<8	1
	11 a 25	1		8 a 10	3
	26 a 40	3		> 10	5
Verde (398017.53)	0	0	12	<11	1
	41 a 50	1		11 a 13	3
	51 a 60	2		> 13	5
Control convencional de los productores: por cultivar, aplicaciones de fungicidas de 3 a 5 días					

En el periodo comprendido de julio a septiembre de 2022, se realizaron simultáneamente el tercer y cuarto ensayo de validación, en el campo de la estación experimental del IDIAP Cerro Punta y en la localidad de Las Nubes. Una vez más se realizaron ajustes a los parámetros que conforman los discos de colores, modificándose el periodo de lluvias según la cantidad asignada (mm·día). Para el disco de color amarillo solo se utilizó la variedad IDIAP Roja 17 (Tabla 3). En cada ensayo con la primera expresión del tizón tardío en condiciones naturales, se inició el registro de la severidad de la infección foliar (%), con una frecuencia de siete días (Pérez and Andrade-Piedra, 2019). Los datos de las lecturas fueron utilizados para trazar las CPE, para estimar el AUDPC, AUDPS y sus valores relativos. En los últimos tres ensayos de la validación de la alerta temprana comparada a la práctica de control de los productores, se registraron los rendimientos comerciales por unidad experimental efectiva. A los valores resultantes del AUDPC, AUDPS, rAUDPC, rAUDPS y rendimientos comerciales, se les realizó el ANOVA y la diferenciación de medias de los dos tratamientos por medio de la prueba t student. Previo a estos análisis estadísticos se realizó la prueba de distribución normal (prueba de Shapiro-Wilk). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con la aplicación Agricolae del programa R (de Mendiburu and Simmons, 2015).

En el segundo ensayo de validación de la alerta temprana no se realizó el análisis económico, ya que coincidió con el periodo crítico de la pandemia de la Covid-19 y en Panamá en marzo de 2020 se decretó el Estado de Emergencia Nacional en forma indefinida. Esto causó graves alteraciones

económicas, con precios de insumos en general sujetos a variaciones constantes por lo solo se consideró señalar los altos precios atípicos de los fungicidas. Ya en 2022, con los ajustes pertinentes y consensuados a los componentes por disco de color, a los resultados de los dos últimos ensayos se realizaron los análisis económicos de presupuestos parciales, consignados al cálculo de los costos de las aplicaciones de fungicidas (Perrin et al., 1976). Además, se estimó el impacto ambiental por las aplicaciones de fungicidas por la implementación de la alerta temprana comparada a la práctica convencional de control de los productores de papa. Para ello se calculó el coeficiente de impacto ambiental (EIQ, acrónimo del inglés *Environmental Impact Quotient*) (Kovach et al., 1992). Para el manejo agronómico y del control de artrópodos plagas de todos los ensayos realizados, se aplicaron las recomendaciones generadas y recomendadas por el IDIAP para el cultivo de papa en Panamá (Gutiérrez, 2009, 2012).

Tabla 3. Componentes ajustados en los discos de colores de la validación de la alerta temprana del tizón tardío de la papa, HH-DSS. Cerro Punta y Las Nubes, 2022.

Disco (HH-DSS)	Precipitación (mm-día)	Valor	Periodo de lluvias (días)	Última aplicación fungicida (días)	Valor
Rojo (Granola)	0	0	8	<4	1
	1 a 5	2		5 a 7	3
	6 a 10	5		>7	5
Amarillo (IDIAP Roja 17)	0	0	10	<8	1
	11 a 25	1		8 a 10	3
	26 a 40	3		> 10	5
Verde (398017.53)	0	0	12	<11	1
	41 a 50	1		11 a 13	3
	51 a 60	2		> 13	5
Control convencional de los productores: por cultivar, aplicaciones de fungicidas de 3 a 5 días					

Resultados

Selección de cultivares para los ensayos de validación del HH-DSS

En el análisis del comportamiento de los parámetros epidemiológicos del tizón tardío, es importante indicar que los primeros síntomas de tizón tardío en las unidades experimentales se presentaron a los 35 días después de la siembra. Así, se iniciaron las lecturas semanales de severidad, realizándose un total de seis lecturas, en un periodo de 30 días (hasta los 70 días después de la siembra). La severidad promedio registrada en los cultivares, en la primera lectura (a los 35 días después de siembra), fue de 2%. A los 49 días después de siembra (tercera lectura), los clones 309088.12, 309129.11 y 304079.1, registraron la severidad promedio superior a 36%. Por su parte, el clon 398017.53 y las variedades Ultra, Patagonia e IDIAP Roja 17 no superaron el promedio de 25% de severidad (Gráfico 1). La variedad más sembrada en Panamá, Granola, registró el promedio de 29%. La infección del follaje por el tizón tardío fue incrementándose linealmente en el tiempo. A los 70 días después de la siembra, los cultivares 309088.12, 309129.11, 304079.1, Defender, Granola y Ultra; registraron la severidad promedio superior a 94%, incluso hasta 100% en Defender, y en Granola con promedio de 99%. La variedad Patagonia registró promedio de severidad 82%; 398017.53 e IDIAP Roja 17 con promedio respectivo de 50% y 60%.

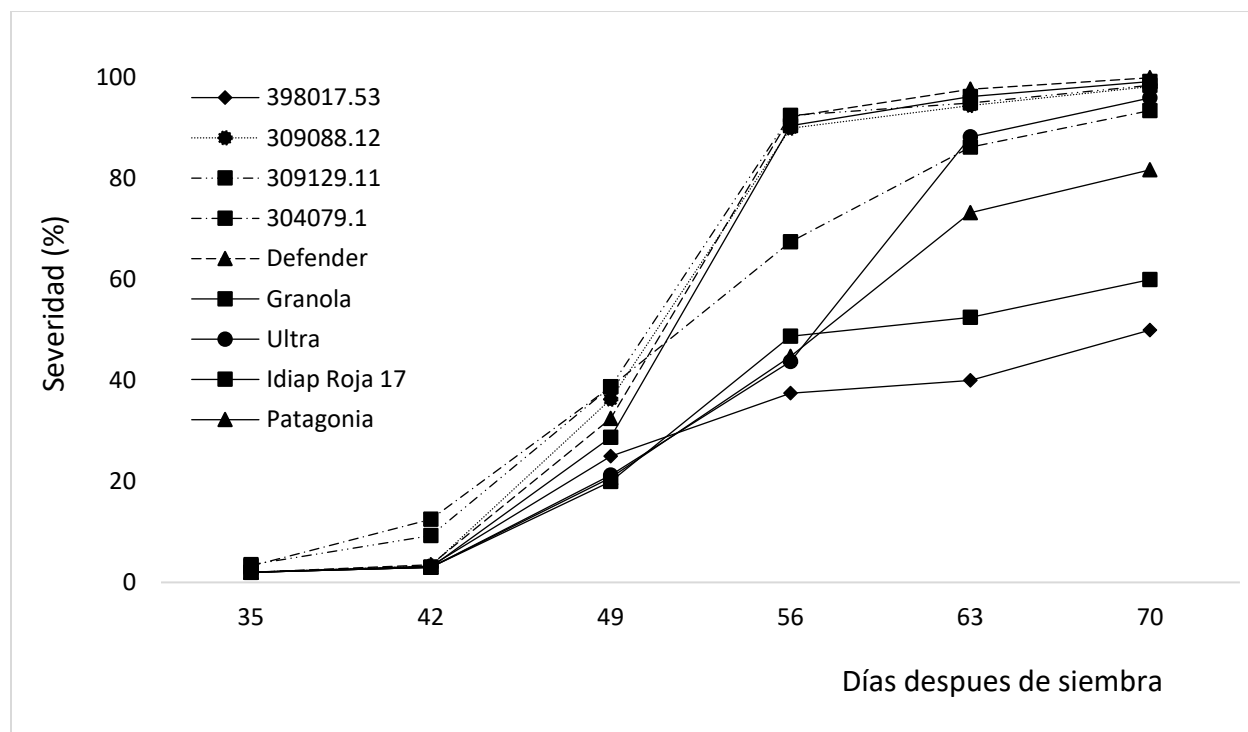


Gráfico 1. Comportamiento de las curvas de progreso del tizón tardío de la papa, en cultivares de papa con diversos niveles de susceptibilidad al tizón tardío. Tierras Altas, Chiriquí, Panamá. 2019.

En los análisis de varianza realizados a los valores resultantes del AUDPC y AUDPS, cuyos errores

presentaron una distribución normal, se detectó un comportamiento diferencial entre los cultivares evaluados, respaldado por bajos coeficientes de variación (Tabla 4). Los mayores valores similares del AUDPC, se obtuvieron en los cultivares 309129.11, Defender, 309088.12 y Granola, con promedio de 2006, 1939, 1919 y 1884; respectivamente. Se destacó un grupo de cultivares conformado por 398017.53 e IDIAP Roja 17 ($p < 0.01$), con los menores valores respectivos del AUDPC, pero similares entre sí con promedio de 922 y 1087.

Tabla 4. Cuadrados medios resultante en las variables AUDPC y AUDPS del tizón tardío en cultivares de papa. Cerro Punta, Tierras Altas, Panamá. 2019.^{1/}

Fuente de Variación	G.L.	AUDPC	AUDPS
Repetición	3	6970 ^{n.s.}	8502 ^{n.s.}
Tratamientos	8	665680 ^{**}	882874 ^{**}
Error	24	5796	6284
Total	35		
C.V. (%)		4.81	4.19

^{1/} **: Diferencias altamente significativas, n.s.: no significativo, G.L.: grados de libertad, AUDPC: Area Under the Disease Progress Curve, AUDPS: Area Under the Disease Progress Stair y C.V. (%): coeficiente de variación.

Con relación a los valores promedios estimados del AUDPS, con la prueba post hoc Tukey se detectó un grupo de cultivares similares a los obtenidos en los valores promedio del AUDPC (Tabla 5). Pero, se constató que los valores promedio del AUDPS son superiores a los estimados del AUDPC, detectándose mayor diferenciación estadística entre los cultivares. El menor promedio del AUDPS de 1104 se obtuvo en 398017.53, se diferenció del resto de los cultivares, seguido por los valores promedio diferentes de IDIAP Roja 17, Patagonia, Ultra y 304079.1 con 1304, 1578, 1780 y 2095; respectivamente ($p < 0.01$). Con relación al comportamiento de los valores relativos promedio de los cultivares fueron similares a los resultantes del AUDPC y AUDPS. El menor valor relativo de cada parámetro se estimó en 398017.53 y el mayor en 309129.11 (Tabla 5). Al aplicar la escala de susceptibilidad al tizón tardío de la papa, 309088.12, 309129.11, 304079.1, Defender y Granola fueron clasificados susceptibles ($V=7$ a 9), Ultra, Patagonia e IDIAP Roja 17 con resistencia media ($V=5$) y 398017.53 con alta resistencia ($V=2$).

Tabla 5. Respuestas epidemiológicas, valor de escala de susceptibilidad al tizón tardío y clasificación de los cultivares de papa. Cerro Punta, 2019^{1/}.

Cultivar	AUDPC	AUDPS	rAUDPC	rAUDPS	V	Clasificación
398017.53	922	1104	0.26	0.32	2	Resistente
309088.12	1919	2270	0.55	0.65	8	Susceptible
309129.11	2006	2363	0.57	0.68	9	Susceptible
304079.1	1774	2095	0.51	0.60	7	Susceptible
Defender	1939	2296	0.55	0.66	8	Susceptible
Granola	1884	2238	0.54	0.64	8	Susceptible
Ultra	1437	1780	0.41	0.51	5	Resistencia media
IDIAP Roja 17	1087	1304	0.31	0.37	5	Resistencia media
Patagonia	1285	1578	0.37	0.45	5	Resistencia media

^{1/} AUDPC: Area Under the Disease Progress Curve, AUDPS: Area Under the Disease Progress Stair, rAUDPC: relativeAUDPC, rAUDPS: relativeAUDPS y V: valor de la escala de susceptibilidad al tizón tardío.

Respuestas epidemiológicas por el uso de la alerta temprana del tizón tardío, HH-DSS

Ensayo de validación de la alerta temprana 1

Las lecturas de severidad en todas las parcelas experimentales se iniciaron a los 36 días después de la siembra, realizándose un total de siete lecturas, en un periodo de 49 días (hasta los 85 días después de la siembra). La primera aplicación del fungicida Chlorothalonil 72 EC, en las parcelas experimentales de la práctica de control de los productores y de la alerta temprana, HH-DSS, se realizó antes de evidenciarse las primeras lesiones de tizón tardío. En el gráfico 2, se presentan las CPE resultantes por cultivar y el método de control del tizón tardío. La tendencia de la severidad foliar, en el tiempo, es hacia el incremento, con fluctuaciones semanales irregulares. A los 85 días después de siembra (última evaluación), con la práctica de control de los productores, y en las parcelas experimentales de 398017.53 y Granola, se registró un rango de severidad promedio respectivo de 10% hasta 17%. Este comportamiento irregular de las infecciones por semana fue similar en los cultivares sometidos al uso de la alerta temprana. Pero, en la última evaluación el promedio de severidad fue mayor comparado a las parcelas experimentales con el control del tizón tardío de los productores, desde 17% en IDIAP Roja 17 hasta 25% en Granola.

Con la práctica de control de los productores, en todos los cultivares se realizaron 13 aplicaciones de fungicidas. Estos pertenecen a seis moléculas diferentes, a saber; Chlorothalonil 72 EC con modo de acción de contacto y cinco de combinación contacto + sistémico (Metalaxyl - M – Mancozeb, Cymoxanil + Mancozeb, Dimethomorph + Mancozeb, Ametoctradin + Dimethomorph 52.5 SC y Dimethomorph + Chlorothalonil. Con el uso de la alerta temprana en las parcelas experimentales de Granola se realizaron nueve aplicaciones de fungicidas, de IDIAP Roja 17 y Ultra seis aplicaciones y de 398017.53 cuatro aplicaciones. Los fungicidas que se aplicaron fueron Metalaxyl-M–Mancozeb, Cymoxanil + Mancozeb, Dimethomorph + Mancozeb y Chlorothalonil.

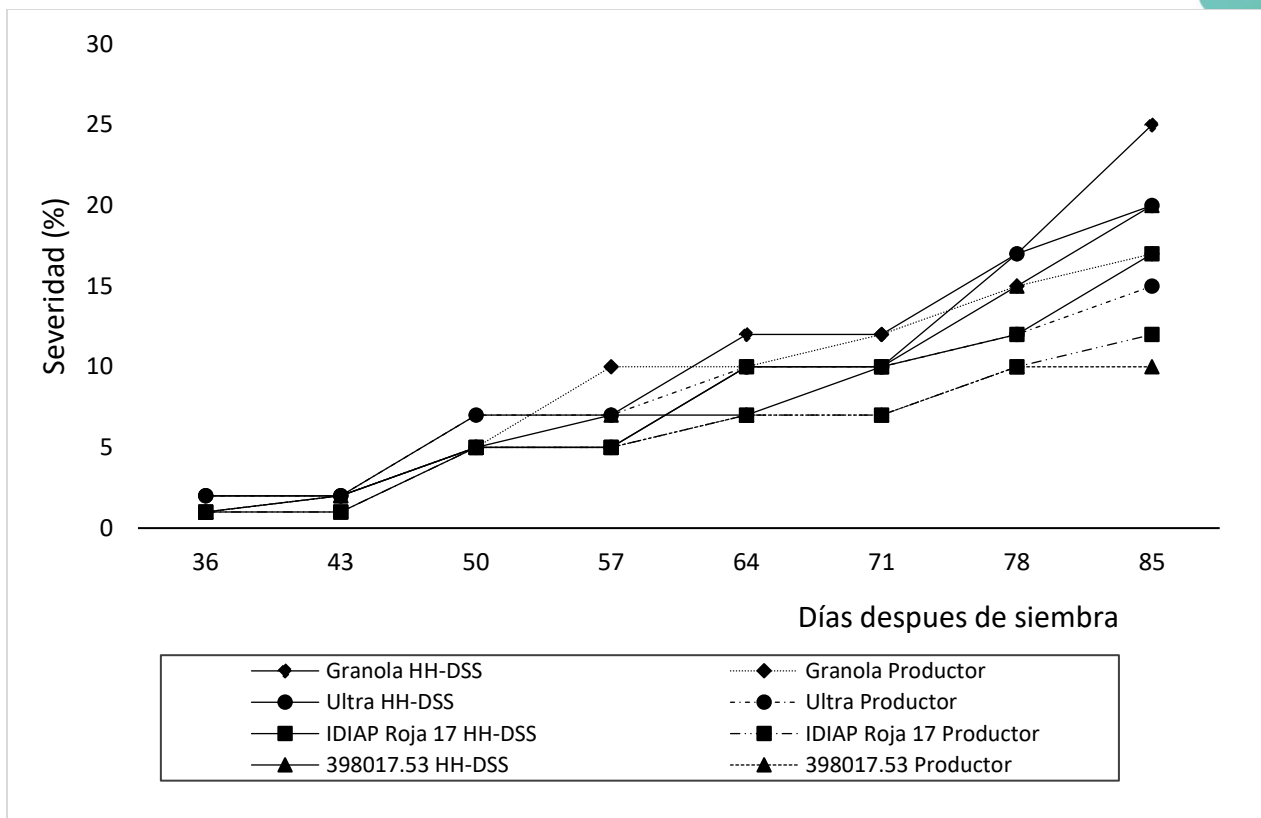


Gráfico 2. Curvas de progreso del tizón tardío por cultivar de papa, resultantes del uso de la alerta temprana, HH-DSS (líneas sólidas con diamante de Granola, Ultra con círculo, IDIAP Roja 17 con cuadro y de 398017.53 con triángulo), comparadas al control convencional de los productores en Granola (línea de puntos redondos con diamante), Ultra (línea de guion, punto con círculo), IDIAP Roja 17 (línea de guion, punto, punto con cuadro) y 398017.53 (línea de puntos cuadrados con triángulo). Cerro Punta, 2019.

Los valores promedio por cultivar del AUDPC, AUDPS y sus respectivos valores relativos, estimados en las parcelas experimentales con la práctica de control de los productores, fueron menores comparados al uso de la alerta temprana, HH-DSS ($p < 0.01$). Con la práctica de control los productores 398017.53 e IDIAP Roja 17, obtuvieron los menores valores promedio respectivos del AUDPS, similares entre sí, con 406 y 420. El mayor promedio del AUDPS se estimó en Granola con 623. Con la implementación del HH-DSS, en IDIAP Roja 17 y 398017.53 se calcularon los menores valores respectivos del AUDPS con promedio de 546 y 602 ($p < 0.01$).

Ensayo de validación de la alerta temprana 2

En este ensayo por la alta presión de inóculo de *P. infestans*, los síntomas se presentaron a los 20 días después de la siembra, aplicándose el fungicida Chlorothalonil 72 EC a todas las parcelas experimentales. Así, se iniciaron las lecturas semanales de severidad hasta los 76 días después de la siembra, realizándose nueve lecturas, en un periodo de 56 días (Gráfico 3). Todos los cultivares expresaron en forma similar la severidad de las infecciones foliares del tizón tardío hasta los 34 días después de la siembra (14 días de lecturas). La variedad Ultra con el uso de la alerta temprana, HH-DSS, a partir de los 48 días después de la siembra registró la mayor severidad



promedio, incrementándose en el tiempo, hasta la muerte total del follaje. A los 76 días después de la siembra (final del periodo de lecturas), con la práctica de control de los productores registró un promedio de severidad de 95%. La supresión de las infecciones del tizón tardío en 398017.53 con el uso de la alerta temprana fue apropiada hasta los 55 días después de la siembra; pero la severidad se incrementó hasta registrar un promedio de 98% al final de las lecturas. En Granola con la alerta temprana se registró una alta severidad foliar con promedio de 90%. La menor severidad promedio similar de 60% se observó en IDIAP Roja 17 y 398017.53 con la práctica de control de los productores.

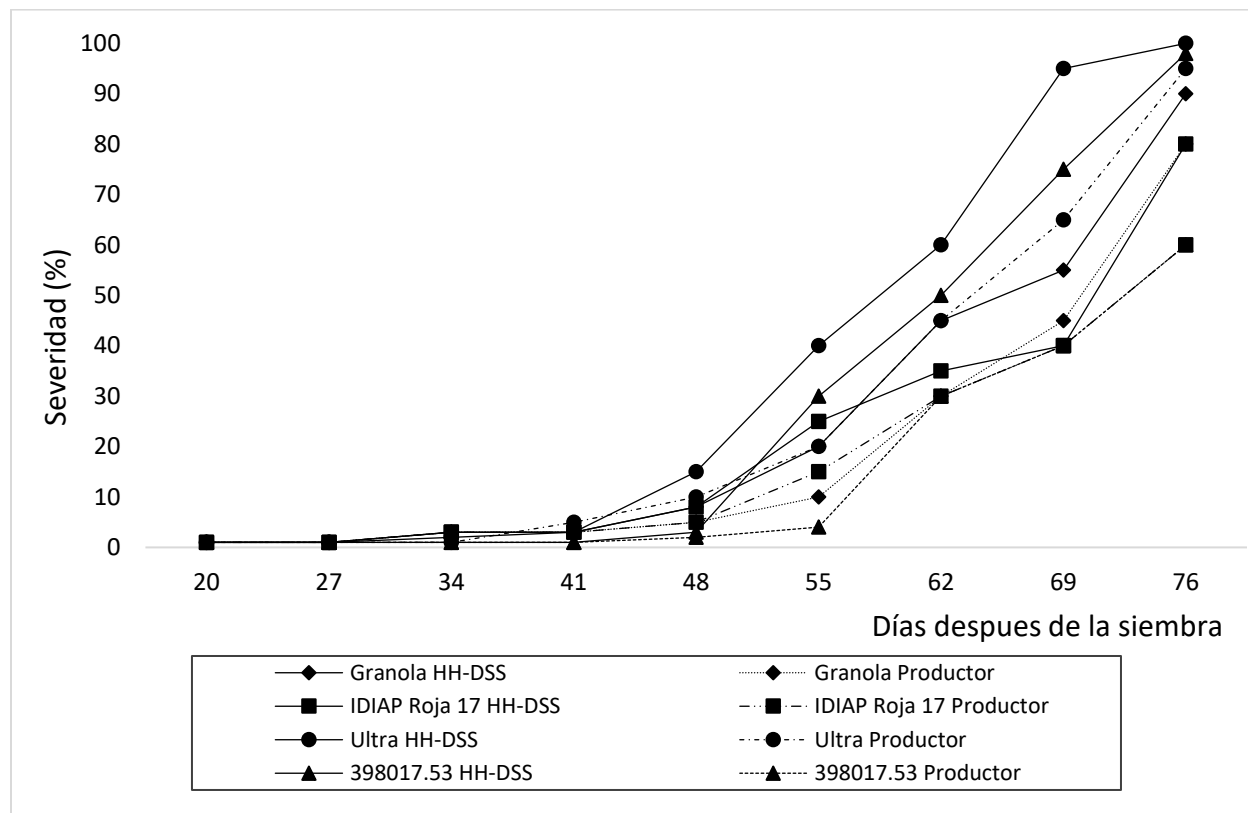


Gráfico 3. Curvas de progreso del tizón tardío por cultivar de papa, por los ajustes de los parámetros por disco de color de la alerta temprana, HH-DSS (líneas sólidas con diamante de Granola, Ultra con círculo, IDIAP Roja 17 con cuadro y de 398017.53 con triángulo), comparadas al control convencional de los productores de Granola (línea de puntos redondos con diamante), Ultra (línea de guion, punto con círculo), IDIAP Roja 17 (línea de guion, punto, punto con cuadro) y 398017.53 (línea de puntos cuadrados con triángulo). Cerro Punta, Panamá. 2020.

Los valores calculados del AUDPC -y por consiguiente del AUDPS- reflejaron un comportamiento diferencial entre las parcelas experimentales, según la prueba de τ ($p < 0.01$). Las plantas de 398017.53 e IDIAP Roja 17, con la práctica de control del tizón tardío de los productores, obtuvieron los menores valores promedio respectivos del AUDPC con 767 y 893. En las parcelas experimentales de IDIAP Roja 17 fue similar al promedio del AUDPC de 1089 al implementarse la alerta temprana. De igual manera los promedios del AUDPC estimados en Granola fueron similares entre los dos métodos de control del tizón tardío. El mayor valor promedio del AUDPC de 1866, se obtuvo en Ultra con la alerta temprana, HH-DSS, superando a su respectivo



comparador práctica convencional de control de productores con promedio de 1365 (Tabla 6). Con relación a los rendimientos comerciales de Granola y Ultra, fueron similares entre sí por los dos métodos de control del tizón tardío. En Granola fueron 27.62 t·ha⁻¹ (práctica de control de los productores) y 19.29 t·ha⁻¹ (con el uso de la alerta temprana, HH-DSS) (Tabla 6). Los rendimientos comerciales promedio de IDIAP Roja 17 (41.29 t·ha⁻¹) y del clon 398017.53 (20 t·ha⁻¹), fueron superiores con la práctica convencional de control de los productores, comparado al obtenido por el uso del HH-DSS con promedio respectivo de 24.21 y 12 t·ha⁻¹ (p<0.01).

Tabla 6. Comportamiento del AUDPC y rendimientos comerciales de cultivares de papa con el uso de la alerta temprana del tizón tardío, HH-DSS y con la práctica de control de los productores de papa. Cerro Punta, 2020.^{1/}

Cultivar	AUDPC		Peso Comercial (t·ha ⁻¹)	
	HH-DSS	Productor	HH-DSS	Productor
Granola	1264	963 ^{n.s.}	19.29	27.62 ^{n.s.}
IDIAP Roja 17	1089	893 ^{n.s.}	24.21	41.29 ^{**}
Ultra	1866	1365 ^{**}	20.44	22.79 ^{n.s.}
398017.53	1474	767 ^{**}	12.00	20.00 ^{**}

^{1/} AUDPC: Area Under the Disease Progress Curve, HH-DSS: sistema de alerta temprana, Productor: control convencional de tizón tardío valor; ^{n.s.}, ^{**}: valores no significativos y altamente significativos; respectivamente, dentro de la misma fila según la prueba de significancia τ student (p=0.01).

Independiente del cultivar con la práctica de control de los productores, se realizaron 19 aplicaciones durante el ciclo del cultivo. En la variedad susceptible Granola, se realizaron 13 aplicaciones con la implementación de la alerta temprana, HH-DSS, con una reducción de seis aplicaciones (31%). En Ultra e IDIAP Roja 17, la reducción fue de 11 aplicaciones (58%) y en el clon resistente 398017.53, se redujeron 14 aplicaciones (74%). El costo unitario (litro o kilogramo), de los fungicidas utilizados comprendieron el rango de USD12.50 (Cymoxanil + Mancozeb) hasta USD40.30 de Piraclostrobin + Dimetomorf (precios sujetos a variaciones constantes). El costo de mano de obra para las aplicaciones de fungicidas con bomba de motor fue de USD60.00·ha⁻¹. En este ensayo no se realizó el análisis económico del uso de la alerta temprana comparada a la práctica de control de los productores de papa.

Parcelas de validación 3 y 4

En Las Nubes, los primeros síntomas de tizón tardío se observaron a los 22 días después de la siembra de los ensayos de validación y en Cerro Punta a los 19 días. Las lecturas de severidad se registraron hasta los 85 y 82 días después de la siembra; respectivamente (10 lecturas semanales), el periodo de evaluación fue de 63 días. En Las Nubes, las plantas de papa pertenecientes a los diferentes tratamientos mostraron infecciones diferenciales, de las cuales IDIAP Roja 17 y Granola manejadas con el HH-DSS expresaron mayor severidad en el tiempo hasta registrar un promedio similar de 50% a los 85 días después de la siembra. El resto de las parcelas

experimentales con la práctica de control del tizón tardío de los productores, el registro semanal fue variable y culminando con bajo promedio de severidad, a excepción de 398017.53 con el uso de la alerta temprana, HH-DSS (Gráfico 4A). Este comportamiento fue similar en las parcelas experimentales del ensayo de validación realizado en Cerro Punta, pero la mayor severidad a los 82 después de la siembra se registró en las parcelas experimentales de IDIAP Roja 17 y Granola con el uso de la alerta temprana, con promedios respectivos de 40% y 20%. El clon 398017.53 con la implementación de la alerta temprana, también se destacó en la supresión de las infecciones foliares por tizón tardío (Gráfico 4B).

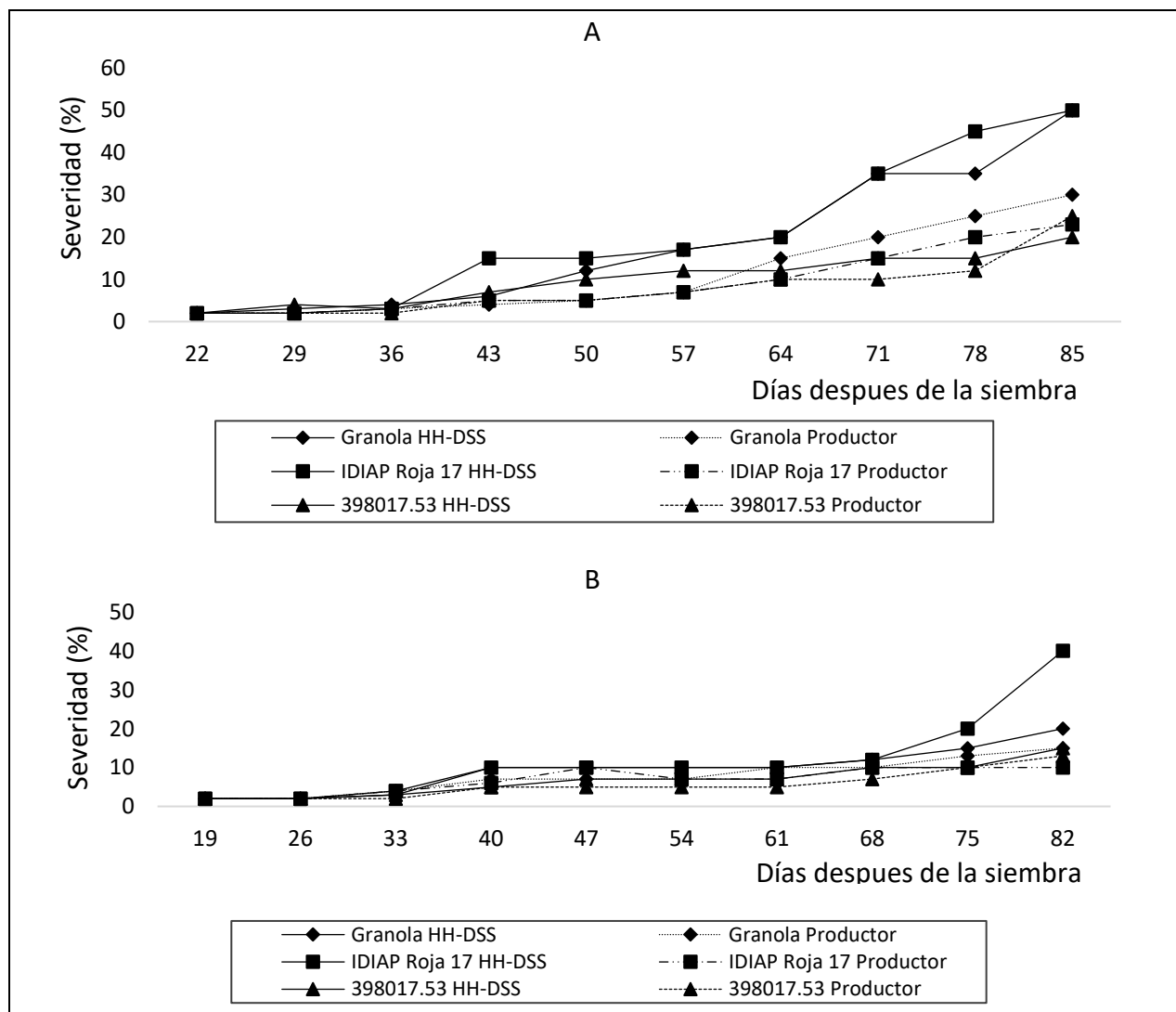


Gráfico 4. Curvas de progreso del tizón tardío por cultivar de papa, por los ajustes finales de los parámetros por disco de color de la alerta temprana, HH-DSS (líneas sólidas con diamante de Granola, IDIAP Roja 17 con cuadro y de 398017.53 con triángulo), comparadas al control convencional de los productores de Granola (línea de puntos redondos con diamante), IDIAP Roja 17 (línea de guion, punto, punto con cuadro) y 398017.53 (línea de puntos cuadrados con triángulo). Las Nubes (A) y Cerro Punta (B). 2022.



Se detectó el comportamiento diferencial de los valores del AUDPC estimados por parcela experimental contrastante (HH-DSS comparado a la práctica de control de los productores), de acuerdo con la prueba de τ ($p < 0.01$). En Las Nubes, en las parcelas experimentales de 398017.53 con el uso de la alerta temprana y con la práctica de control de los productores, se obtuvieron las AUDPC promedio similares entre sí, con 623 y 466; respectivamente. En las parcelas experimentales de IDIAP Roja 17 y Granola, los valores promedio del AUDPC entre ambos métodos de control fueron diferentes entre sí ($p < 0.01$). A su vez obtuvieron los mayores promedios respectivos del AUDPC de 1246 y 1106. Con relación a las parcelas experimentales establecidas en Cerro Punta, con IDIAP Roja 17 se determinó el mismo comportamiento diferencial ($p < 0.01$), pero con menores valores promedio del AUDPC. Esto es 693 con el uso de la alerta temprana (mayor valor de este ensayo) y 434 con la práctica de control de los productores. En las parcelas experimentales de Granola y 398017.53, los promedios del AUDPC resultantes de la aplicación de los dos métodos de control fueron similares entre sí.

En los dos ensayos de validación (Las Nubes y Cerro Punta), los mayores rendimientos comerciales se estimaron en las parcelas de IDIAP Roja 17 y Granola con la práctica de control de los productores, comparado al uso de la alerta temprana, HH-DSS ($p < 0.01$). No así en 398017.53 que obtuvo rendimientos comerciales similares con los dos tratamientos de control contrastados (Tabla 7). En Las Nubes y Cerro Punta los mayores rendimientos comerciales promedios se obtuvieron con IDIAP Roja 17 con $45.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (con la práctica de control de los productores) y $39.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (con el uso del HH-DSS); respectivamente.

Tabla 7. Rendimientos comerciales de los ensayos de validación de la alerta temprana del tizón tardío, HH-DSS, comparado a la práctica de control de los productores y costos variables. Las Nubes y Cerro Punta, 2022.^{1/}

Cultivar	Peso Comercial ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)		P (τ)	Costos variables (USD)	
	HH-DSS	Productor		HH-DSS	Productor
Las Nubes					
Granola	18.4	25.3	**	825.78	941.67
IDIAP Roja 17	29.2	39.2	**	520.66	941.67
398017.53	25.4	26.5	n.s.	508.56	941.67
Cerro Punta					
Granola	20.4	27.8	**	569.38	902.57
IDIAP Roja 17	32.4	45.1	**	394.85	902.57
398017.53	26.9	27.8	n.s.	373.40	902.57

^{1/} Producto: práctica de control del tizón tardío por los productores de papa, HH-DSS: sistema de alerta temprana del tizón tardío, n.s. y **: valores no significativos y altamente significativos; respectivamente, dentro de la misma fila según la prueba de significancia τ student ($p = 0.01$).

En las parcelas experimentales de los tres cultivares de papa sometidas a la práctica de control de los productores se realizaron 17 aplicaciones durante el ciclo del cultivo en Las Nubes y en



Cerro Punta 16 aplicaciones. En Las Nubes con el uso del HH-DSS en Granola se realizaron 15 aplicaciones, en las plantas de IDIAP Roja 17 se realizaron nueve aplicaciones reduciéndose ocho aplicaciones y en 398017.53 se redujo a ocho aplicaciones. En las parcelas experimentales de Cerro Punta en Granola se realizaron 10 aplicaciones, con reducción de seis, en IDIAP Roja 17 se aplicaron ocho veces fungicidas y en 398017.53 se redujeron nueve aplicaciones.

En el análisis de presupuestos parciales, los costos totales variables en los cultivos de papa por las aplicaciones de fungicidas según la práctica de control de los productores de papa fueron de USD941.67 en Las Nubes y en Cerro Punta de USD902.57. Todos estos costos fueron superiores a los estimados por cultivar según su nivel de resistencia al tizón tardío y la designación respectiva de los discos de colores. Los menores costos variables se estimaron en las unidades experimentales de 398017.53, tanto en Las Nubes como en Cerro Punta (Tabla 7). Con relación al impacto ambiental en los cultivos de papa cuyo control del tizón tardío se basó en la práctica de los productores se obtuvieron los mayores valores de EIQ, tanto en Las Nubes como en Cerro Punta con promedio de 978 y 916.8·ha⁻¹; respectivamente. En Las Nubes le siguieron los valores promedio respectivos estimados en las parcelas experimentales de Granola, IDIAP Roja 17 y 398017.53 de 877.7, 557.7 y 452.1·ha⁻¹. En el ensayo de validación de Cerro Punta el comportamiento en el componente ambiental fue similar en el orden descendente, pero con menores valores promedios. Esto es EIQ de 599.9, 496.5 y 390.9·ha⁻¹, en las parcelas experimentales de Granola, IDIAP Roja 17 y 398017.53; respectivamente.




Discusión

Caracterización de la susceptibilidad de cultivares de papa al tizón tardío

En Cerro Punta, la temperatura promedio diaria registrada de 17°C y la humedad ambiental mayor de 85%, favorecen el desarrollo de epifitias por *P. infestans*. El sistema de producción se caracteriza por la siembra de papa durante todo el año, evidenciándose infecciones foliares permanentes. Al trazar las CPE del tizón tardío por cultivar, se reflejó la uniformidad del estado fitosanitario promedio al inicio de las evaluaciones en todas las unidades experimentales (por la aplicación de un fungicida protector). Esto permitió analizar el desarrollo en el tiempo del tizón tardío por las condiciones ambientales naturales de la zona de producción de papa intervenida (Pérez et al., 2020). Durante el periodo de crecimiento de los cultivares evaluados, se verificó la etapa de susceptibilidad juvenil, continuó con la resistencia de la planta adulta temprana y el incremento de la susceptibilidad con el transcurso del tiempo fisiológico de los cultivares (Abuley and Hansen, 2021; Ros and Thümmeler, 2004). Los primeros síntomas en las hojas de las plantas de papa fueron las características manchas húmedas, de color entre verde claro y oscuro irregulares. Con el tiempo se conformaron zonas necróticas grandes de color café a negro con bordes irregulares, observándose la muerte total del follaje de plantas de cultivares (Garrett and Mundt, 2000; López et al., 200; Möller et al., 2009). Entre estos últimos está Granola, clasificada como medianamente resistente al tizón tardío (Gutiérrez, 2012). En Cerro Punta, pese a la condición epidemiológica de zona endémica, sobresalieron el clon 398017.53 [perteneciente a la población B₃C₁ de clones con resistencia al tizón tardío del Centro Internacional de la Papa (CIP)], y Ultra, Patagonia e IDIAP Roja 17 (código del CIP 392797.22), por su resistencia moderada al tizón tardío (Gastelo et al., 2015; Gutiérrez-Rosales et al., 2007).

El comportamiento fluctuante de las infecciones foliares semanales, dificultaron explicar la respuesta genética en la expresión del tizón tardío durante el ciclo biológico de los cultivares evaluados. Las interacciones del patosistema papa-*P. infestans* son complejas y los análisis epidemiológicos no se pueden realizar con solo interpretar las CPE trazadas. Por lo tanto; se calculó el AUDPC, AUDPS y los respectivos valores relativos por cultivar (Ahmed et al., 2016). Los mayores valores promedio de estos parámetros, son reflejo de la alta presión de la enfermedad (ambiente adecuado, cultivares con variables niveles de resistencia al tizón tardío y al patógeno virulento). Es indicativo que cualquier reducción en la severidad foliar, comparado a los cultivares susceptibles, es evidencia del mayor nivel de resistencia de los cultivares (Gabriel et al., 2011). Se confirmó que la estimación del desarrollo de la enfermedad por medio del AUDPC, subestima los valores de infección en la primera y última lectura (Simko and Piepho, 2012).

Los valores promedio resultantes del AUDPC y AUDPS por cultivar, fueron consistentes con los valores promedio otorgados en la escala de susceptibilidad. Por la expresión genética se seleccionaron los cultivares Granola, Ultra, IDIAP Roja 17 y 398017.53, para conformar los ensayos de validación de la alerta temprana, HH-DSS, en la época lluviosa en las Tierras Altas. En esta evaluación Granola -que se clasificó como susceptible al tizón tardío- es ampliamente sembrada en Latinoamérica por su estabilidad en los rendimientos comerciales y la alta demanda por los



consumidores nacionales por sus bondades culinarias (Chaves y Piedra Naranjo, 2017; Corsini and Brown, 2001).

Ensayos de validación de la alerta temprana del tizón tardío de la papa, HH-DSS

Las CPE resultantes en los cuatro ensayos de validación, mostraron el patrón típico del comportamiento policíclico del tizón tardío (Achicanoy, 2000; Campbell and Madden, 1990). En la primera validación (2019), en las plantas de papa con la práctica de control de los productores se registró la menor severidad semanal, durante el periodo de evaluación, comparado con la implementación del HH-DSS (Gráfico 1). Así, a los 85 días después de la siembra, se registró la mayor diferencia respectiva en la severidad foliar con 8% hasta 10% en Granola y el clon 398017.53, con relación a la práctica de control de los productores. Este comportamiento en la expresión de las infecciones foliares fue similar en el segundo ensayo de validación (2020). Pero, con el uso de la alerta temprana, HH-DSS, se observaron las mayores diferencias de las infecciones foliares en las parcelas experimentales de IDIAP Roja 17 y en 398017.53, superando en promedio de severidad con registros de 20% y 38%; respectivamente, con relación a su comparador de la práctica de control de los productores de papa. Esto es reflejo de que independiente del cultivar sembrado, con la práctica de control de los productores se realizaron más aplicaciones de fungicidas durante todo el ciclo biológico en comparación a la implementación del HH-DSS. Se coincide con estudios previos del uso de herramientas de control del tizón tardío basado en los sistemas de soporte de decisiones, donde el clima y el nivel de resistencia de los cultivares disponibles, determinan la variación en la supresión de las infecciones foliares (Small et al., 2015).

Es reconocida la importancia de los sistemas de soporte de decisiones para programar las aplicaciones de fungicidas en la supresión de la severidad del tizón tardío (Batista et al., 2006). Pero, en estos dos ensayos de validación se registró mayor severidad del tizón tardío por etapas fenológicas en las parcelas experimentales con el uso de la alerta temprana, HH-DSS, y por consiguiente se estimaron los mayores valores promedio del AUDPC, AUDPS y sus respectivos valores relativos (Gráfico 5). Estos resultados son contrastes con otros estudios de evaluaciones del sistema de soporte de decisiones para el control del tizón tardío de la papa (Batista et al., 2006). La herramienta del sistema de la alerta temprana en los ensayos de validación, donde el clima fue favorable para la explosión del tizón tardío, sugirió menos aplicaciones de fungicidas que la práctica de control de los productores. Pero, se afectó la capacidad de supresión de infecciones foliares de la enfermedad, siendo más evidente en la etapa de susceptibilidad de la planta de papa adulta. En los dos primeros ensayos de validación, se estimaron las menores diferencias -y estables- con promedio de 1.25 veces mayor el AUDPS con el HH-DSS, en Granola, IDIAP Roja 17 y Ultra (clasificadas en la literatura como medianamente resistentes), comparados a los estimados en las parcelas experimentales con la práctica de control del tizón tardío de los productores. Se coincide que la mejor gestión de riesgos del control del tizón tardío es utilizando variedades moderadamente resistentes (Liu et al, 2017).

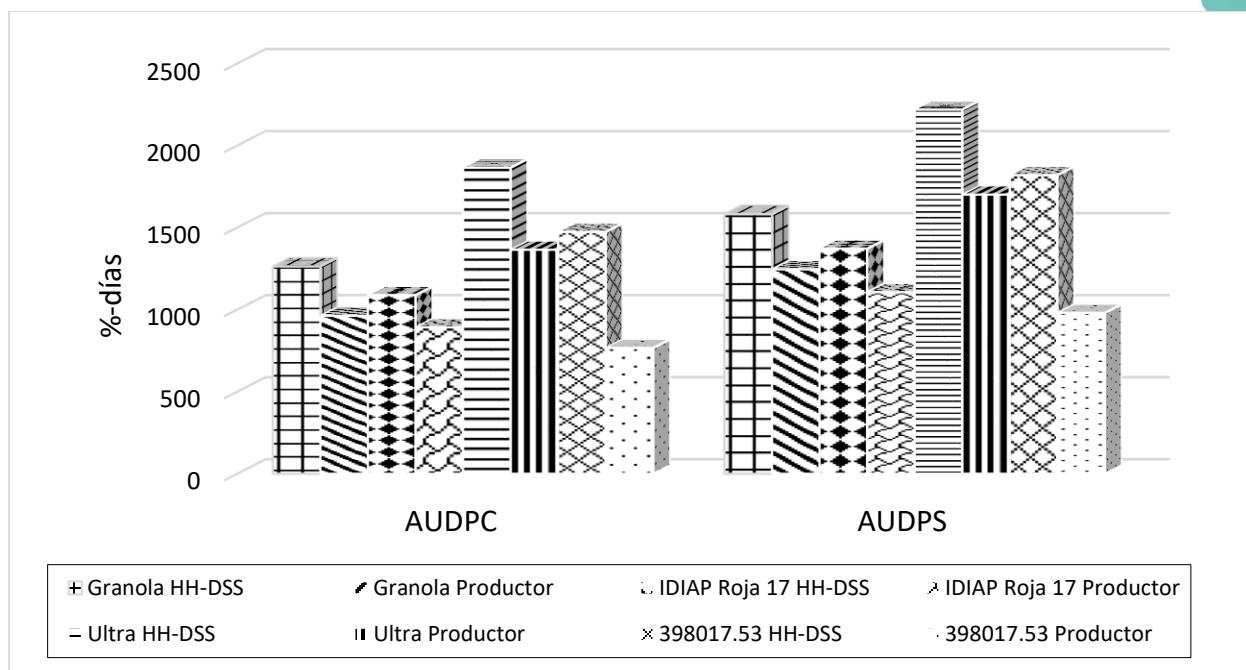


Gráfico 5. Valores promedio del AUDPC y AUDPS del tizón tardío en cultivares de papa, por alternativa de control validado. Cerro Punta, 2020.

Se confirma la alta dependencia de los fungicidas, cuyas aplicaciones calendarizadas son la base para el control del tizón tardío de la papa (Chaves and Piedra, 2017; Cooke et al., 2011; Forbes et al., 2008; Fry et al., 2013; Gastelo et al., 2015). El uso de la herramienta de la alerta temprana, HH-DSS, se ha identificado como el enfoque más efectivo para el manejo integral del tizón tardío (Acuña et al., 2017; Pérez et al., 2020). En el primer ensayo de validación por la implementación del HH-DSS en el clon resistente (398017.53), las variedades medianamente resistentes (Ultra e IDIAP Roja 17) y la susceptible (Granola), se redujeron las aplicaciones de fungicidas en 69.23%, 53.85% y 30.77%; respectivamente. En el segundo ensayo de validación, la reducción porcentual en el número de aplicaciones de fungicidas fue por la ampliación en el intervalo de las aplicaciones de fungicidas indicadas por la sumatoria por disco de color. En las parcelas experimentales de Granola la frecuencia de las aplicaciones desde los primeros síntomas de tizón tardío fue de hasta siete días en IDIAP Roja 17 y Ultra hasta de 10 días y en el clon 398017.53 hasta de 13 días. Los rendimientos comerciales obtenidos fueron similares con los dos métodos de control del tizón tardío en Granola y Ultra. El gran número de aplicaciones de fungicidas para el control del tizón tardío influyó en la expresión de los rendimientos, sobre todo en IDIAP Roja 17, sin embargo, se debe contemplar la sustentabilidad ambiental futura. El comportamiento errático de 398017.53 quizás se atribuyó al manejo de la semilla, lo que se sugiere implementar un apropiado manejo de tubérculos semilla, como táctica de manejo integral del cultivo de papa. A los resultados de este ensayo no se realizó el análisis económico de la implementación de la alerta temprana, HH-DSS, comparada a la práctica de control del tizón tardío por los productores de papa. En 2020, en plena crisis por la pandemia de la Covid-19 se reportó la contracción de la economía, siendo evidente la distorsión de la oferta y la demanda interna de insumos agrícolas, que a su vez son dependientes de los mercados internacionales y del financiamiento externo.



En los dos últimos ensayos de la validación de la alerta temprana, realizados en Las Nubes y Cerro Punta, la intensiva práctica en número de fungicidas y cantidad de aplicaciones para el control del tizón tardío redujo significativamente los valores promedio del AUDPC en todos los cultivares utilizados (Gráfico 6). Pero, también fue notable la reducción de las aplicaciones de fungicidas de diversos modos de acción con el uso de la alerta temprana, HH-DSS. En Las Nubes con el uso del HH-DSS en Granola la reducción fue de 11.76%, en IDIAP Roja 17 fue de 52.94% y en 398017.53 se redujo el 52.94% de las aplicaciones comparadas a la práctica de control por parte de los productores. En las parcelas experimentales de Cerro Punta, en Granola la reducción estimada fue de 37.5%, en IDIAP Roja 17 y 398017.53 las reducciones promedio respectivas fueron de 50% y 56.25%. Con práctica de control de los productores se incrementaron los costos variables (fungicidas y aplicaciones incluyendo la mano de obra). Estos resultados son consistentes con los reportes del Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA, 2020), que señaló que del costo total de los productos fitosanitarios (insecticidas, nematicidas y fungicidas), utilizados en el cultivo de papa en la época lluviosa, el 44.33% corresponde a los costos de los fungicidas para el control del tizón tardío. Así, en concordancia con lo señalado por Liu et al. (2017), se realizaron estos dos ensayos de validación simultáneos en la época lluviosa, determinándose la importancia del mejoramiento genético como táctica armoniosa en los programas de manejo integral del tizón tardío de la papa. En Las Nubes y Cerro Punta, zonas productoras de papa y con alta presión de explosión de epifitias de esta devastadora enfermedad, IDIAP Roja 17 y 398017.53 se destacaron por obtener los menores costos variables.

Con relación al cálculo del EIQ, cuyo mayor valor calculado es reflejo del mayor impacto negativo ecológico, se estimó que en Cerro Punta al utilizar la práctica de control de los productores en 398017.53 se obtuvo hasta 2.35 veces más del EIQ que al utilizar la herramienta de la alerta temprana, HH-DSS, y en Las Nubes hasta 2.16 veces. Con IDIAP Roja 17 en promedio de los dos ensayos se estimó hasta 1.8 veces más el EIQ con la práctica de control de los productores y en Granola hasta 1.32 veces en comparación con el HH-DSS. Estos valores del EIQ ecológico indican los potenciales impactos negativos en la salud de los consumidores, productores y al ambiente, determinando los posibles cambios en los efectos potenciales del uso de fungicidas (Ortiz and Pradel, 2010).



Conclusiones

La principal zona papera de Panamá en Las Tierras Altas de Chiriquí, es considerada endémica al tizón tardío, prevaleciendo durante todo el año los elementos que favorecen el desarrollo de epifitias. La información generada en los estudios de identificación de la susceptibilidad de cultivares de papa al tizón tardío y los ensayos de validaciones de la alerta temprana, HH-DSS, adquieren gran importancia para los productores. Las variedades IDIAP Roja 17, Patagonia y Ultra se comportaron como medianamente resistentes al tizón tardío de la papa, el clon 398017.53 con alta resistencia y la Granola como susceptible y es la de mayor siembra en Panamá (85% del área total). En los dos últimos ensayos de validación con los ajustes armónicos basados en los resultados de los dos primeros ensayos, en las parcelas experimentales de Granola y 398017.53 con el uso de la alerta temprana, HH-DSS, la severidad de las infecciones en el tiempo fue superiores y por consiguiente las AUDPC comparadas a las parcelas cuyo control es la práctica de los productores de papa. Pero con un comportamiento estadístico similar. En Granola la supresión del tizón tardío fue mayor con la práctica de control de los productores. Fue notable la reducción de las aplicaciones de fungicidas con el uso de la alerta temprana para el manejo del tizón tardío por cultivar de papa, comparado a la práctica de control de los productores. Así, en Granola se redujo el 38% de las aplicaciones, en IDIAP Roja 17 y Ultra el 58% y en 398017.53 el 65%. En los ensayos de validación de 2022 con los ajustes armónicos a los componentes que conformaron cada disco de color de la alerta temprana, se detectó que los rendimientos comerciales de papa fueron superiores en las parcelas experimentales de Granola e IDIAP Roja 17 con la práctica de control de los productores. En 398017.53 fueron similares entre ambos métodos de control del tizón tardío. El análisis económico reflejó la reducción de los costos variables al utilizar la alerta temprana, sobre todo al utilizar un cultivar con alta resistencia genética. Además, el uso de la alerta temprana, HH-DSS redujo los valores del EIQ, reflejo de los menores impactos negativos ecológicos. El manejo del tizón tardío con la aplicación de la alerta temprana, HH-DSS, utilizando los discos de colores por nivel de resistencia de los cultivares de papa, se constituye en una herramienta útil y de fácil aplicación para conocer las condiciones favorables para esta devastadora enfermedad.

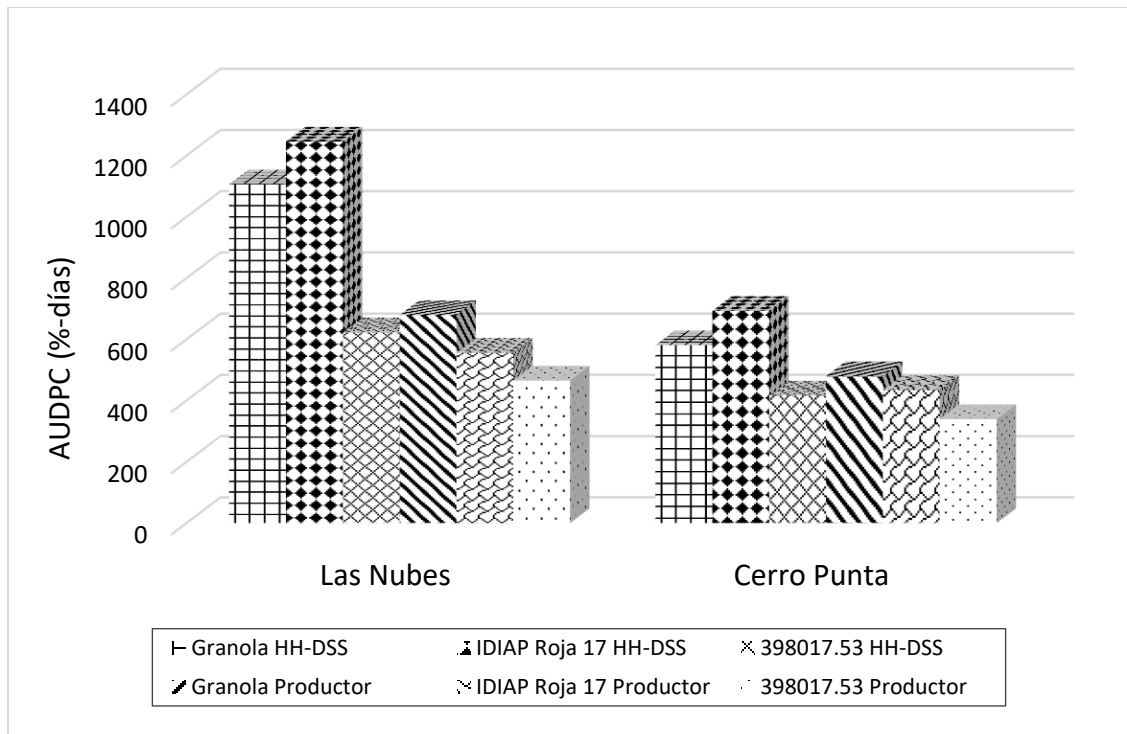



Gráfico 6. Valores promedio del AUDPC del tizón tardío en cultivares de papa, por alternativa de control validado. Las Nubes y Cerro Punta, 2022.

Referencias Bibliográficas

- Abuley, I. K., & Hansen, J. G. (2021). "An epidemiological analysis of the dilemma of plant age and late blight (*Phytophthora infestans*) susceptibility in potatoes". *European Journal of Plant Pathology*. 161(3), 645–663. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02350-4>
- Achicanoy, H. (2000). "Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 53(1), 941-968.
- Acuña, I., Restrepo, S., Lucca, F., & Andrade, J. (2017). "Recent developments: late blight in Latin America". In EuroBlight Workshop.
- Adolf, B., Andrade-Piedra, J., Bittara Molina, F., Przetakiewicz, J., Hausladen, H., Kromann, P., ... & Secor, G. A. (2020). "Fungal, oomycete, and plasmodiophorid diseases of potato". In *The Potato Crop* (pp. 307-350). Springer, Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>
- Ahmed, N., Khan, M. A., Khan, N. A., & Ali, M. A. (2016). "Development of predictive model based on epidemiological factors for the management of potato late blight disease". *International Journal of Agriculture and Biology*. 18(2). <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.4.797.810>
- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Forbes, G. A., Fry, W. E., & Nelson, R. J. (2005). "Simulation of Potato Late Blight in the Andes. I: Modification and Parameterization of the LATEBLIGHT Model". *Phytopathology*. 95(10), 1191-1199. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1191>
- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Juárez, H. S., Forbes, G. A., Shtienberg, D., & Fry, W. E. (2005). "Simulation of Potato Late Blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT Model". *Phytopathology*. 95 (10), 1200-1208.
- Batista, D. C., Lima, M. A., Haddad, F., Maffia, L. A., & Mizubuti, E. S. G. (2006). "Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions". *Crop Protection*. 25(7), 664-670. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.009>
- Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). "Introduction to plant disease epidemiology". John Wiley and Sons Inc. USA.
- Chaube, H. S., & Pundhir, V. S. (2005). "Crop diseases and their management". PHI Learning Pvt. Ltd.



- Chaves, A., & Piedra Naranjo, R. (2017). "Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.)". Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Costa Rica.
- Cooke, L. R., Schepers, H. T. A. M., Hermansen, A., Bain, R. A., Bradshaw, N. J., Ritchie, F., ... & Nielsen, B. J. (2011). "Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe". *Potato research*. 54(2), 183-222. <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9187-0>
- Corsini, D. L., Brown, C. R. (2001). "Important Potato Cultivars". In *Virus and Virus-like Diseases of Potatoes and Production of Seed-Potatoes* (pp. 39-52). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0842-6_3
- de Mendiburu, F., & Simon, R. (2015). "Agricolae-Ten years of an open source statistical tool for experiments in breeding, agriculture and biology". *PeerJ PrePrints* 3:e1404v1. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1404v1>
- Fenu, G., & Mallocci, F. M. (2020). "Artificial intelligence technique in crop disease forecasting: A case study on potato late blight prediction". In *International Conference on Intelligent Decision Technologies* (pp. 79-89). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5925-9_7
- Forbes, G. A., Fry, W. E., Andrade-Piedra, J. L., & Shtienberg, D. (2008). "Simulation models for potato late blight management and ecology". In *Integrated Management of Diseases Caused by Fungi, Phytoplasma and Bacteria* (pp. 161-177). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8571-0_8
- Forbes, G. A.; Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. (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). Lima, Perú.
- Fry, W. E. (2008). "*Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer". *Molecular Plant Pathology*. 9, 385-402.
- Fry, W. E., McGrath, M. T., Seaman, A., Zitter, T. A., McLeod, A., Danies, G., ... & Smart, C. D. (2013). "The 2009 late blight pandemic in the eastern United States—causes and results". *Plant Disease*. 97(3), 296-306. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-12-0791-FE>
- Gabriel, J., Fernández, S., Plata, G., & Siles, M. (2011). "Niveles de resistencia al tizón tardío en clones de papa del Centro Internacional de la Papa (CIP) evaluados en Bolivia". *Revista Latinoamericana de la Papa*. 16(1), 127-141.
- Garrett, K. A., Nelson, R. J., Mundt, C. C., Chacon, G., Jaramillo, R. E., & Forbes, G. A. (2001). "The effects of host diversity and other management components on epidemics of potato late

- 
- blight in the humid highland tropics". *Phytopathology*. 91(10), 993-1000. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.10.993>
- Garrett, K. A., & Mundt, C. C. (2000). "Host diversity can reduce potato late blight severity for focal and general patterns of primary inoculum". *Phytopathology*. 90(12), 1307-1312. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.12.1307>
- Gastelo, M., Diaz, L., Landeo, J. A., & Bonierbale, M. (2015). "New elite potato clones with heat tolerance, late blight and virus resistance to address climate change". In *Potato and sweetpotato in Africa. Transforming the value chains for food and nutrition security* (pp. 143-152). Oxfordshire (UK). CABI International.
- Ghislain, M., Byarugaba, A. A., Magembe, E., Njoroge, A., Rivera, C., Román, M. L., ... & Kiggundu, A. (2019). "Stacking three late blight resistance genes from wild species directly into African highland potato varieties confers complete field resistance to local blight races". *Plant Biotechnology Journal*. 17(6), 1119-1129. <https://doi.org/10.1111/pbi.13042>
- Gutiérrez, A. (2009). "Manual técnico - el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Panamá". Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- Gutiérrez, A. (2012). "Producción artesanal de tubérculos semilla de papa en campo de productores". Folleto Técnico. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá.
- Gutiérrez, A. (2012). "Variedades de papa en Panamá". Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá.
- Gutiérrez-Rosales, R. O., Espinoza-Trelles, J. A., & Bonierbale, M. (2007). "UNICA: variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas". *Revista Latinoamericana de la Papa*. 14(1), 41-50.
- Hijmans, R. J. (2001). "Global distribution of the potato crop". *American Journal of Potato Research*. 78, 403-412.
- Kirk, W. W., Felcher, K. J., Douches, D. S., Coombs, J., Stein, J. M., Baker, K. M., & Hammerschmidt, R. (2001). "Effect of host plant resistance and reduced rates and frequencies of fungicide application to control potato late blight". *Plant Disease*. 85(10), 1113-1118.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). "A method to measure the environmental impact of pesticides". *New York's Food and Life Sciences. Bulletin No. 139*. <https://hdl.handle.net/1813/55750>
- Lal, M., Sharma, S., Yadav, S., & Kumar, S. (2018). "Management of late blight of potato". *Potato-From Incas to All Over the World*. 83-106.



- Landeo, J. A., & Turkensteen, L. (1989). "Assessment of partial resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) of major genes in potato". *American Potato Journal*. 66(8), 530.
- Liu, Y., Langemeier, M. R., Small, I. M., Joseph, L., & Fry, W. E. (2017). "Risk management strategies using precision agriculture technology to manage potato late blight". *Agronomy Journal*. 109(2), 562-575. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0418>.
- López, L. N. Z., Galán, J. D. M., Hinojosa, M. A. C., & Peña, A. R. (2000). Resistencia al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en cruzamientos de cultivares y clones de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 18(1), 1-9.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá). (2020). Infoestadísticas, costo de producción normativo para una hectárea de papa de invierno en Tierras Altas 2020-2021. Dirección de Agricultura-MIDA. Recuperado de https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/03/4_papa_2020.pdf?csrt=1340927500466620235
- Mizubuti, E., Fry, W. (2006). "Potato late blight". In *The Epidemiology of Plant Diseases*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4581-6_17
- Möller, K., Dilger, M., Habermeyer, J., Zinkernagel, V., Flier, W. G., & Hausladen, H. (2009). Population studies on *Phytophthora infestans* on potatoes and tomatoes in southern Germany. *European journal of plant pathology*. 124(4), 659-672. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9451-1>
- Morales, R. A. (2001). "Frecuencia de Aplicaciones del Fungicida Chlorothalonil 82.5 para el Manejo de *Phytophthora infestans* en Tres Variedades de Papa". *Revista Latinoamericana de la Papa*. 12, 49-56. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72472>
- Nelson, R., Mundt, C., Orrego, R., Ortiz, O., Fredrix, M., Tenorio, J., & Vien, N. V. (2001). "Working with resource-poor farmers to manage plant diseases". *Plant Disease*. 85, 684-695.
- Nowicki, M., Foolad, M. R., Nowakowska, M., & Kozik, E. U. (2012). "Potato and tomato late blight caused by *Phytophthora infestans*: an overview of pathology and resistance breeding". *Plant disease*. 96(1), 4-17. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0458>
- Ortiz, O.; Pradel, W. (2010). "Introductory guide for impact evaluation in integrated pest management (IPM) programs". International Potato Center (CIP). Lima, Perú.
- Páez, O., Valverde, R., Gomez, L., & Brenes, A. 2005. "Diversidad genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* en plantaciones de papa en Costa Rica con el uso de RAPDS". *Agronomía Costarricense*. 29(1), 41-55.
- Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. (2019). "Validación de un sistema de apoyo a la toma de decisión para manejar el tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en Panamá". Informe de Asesoría del Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.



- Pérez, W., Arias, R., Taípe, A., Ortiz, O., Forbes, G. A., Andrade-Piedra, J., & Kromann, P. (2020). "A simple, hand-held decision support designed tool to help resource-poor farmers improve potato late blight management". *Crop Protection*. 105186. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105186>
- Perrin, R. K., Winkelman, D. L., Moscardi, E. R., & Anderson, J. R. (1976). "Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica". Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México D.F., México.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). "A method to measure the environmental impact of pesticides". New York's Food and Life Sciences. Bulletin No. 139. <https://hdl.handle.net/1813/55750>
- Ros, B., Thümmeler, F., & Wenzel, G. (2004). Analysis of differentially expressed genes in a susceptible and moderately resistant potato cultivar upon *Phytophthora infestans* infection. *Molecular Plant Pathology*. 5(3), 191-201. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00221.x>
- Schepers, H., Nielsen, B., Bradshaw, N., & Bain, R. (2007). "Effectiveness of fungicides against foliage blight caused by *Phytophthora infestans*". EuroBlight Protocol - Version 1.0 - 30 October, 2007.
- Simko, I., & Piepho, H. P. (2012). "The area under the disease progress stairs: Calculation, advantage, and application". *Phytopathology*. 102, 381-389. <http://dx.doi.org/10.1094/PHTO-07-11-0216>
- Small, I. M., Joseph, L., & Fry, W. E. (2015). "Evaluation of the BlightPro decision support system for management of potato late blight using computer simulation and field validation". *Phytopathology*. 105(12), 1545-1554. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.010>
- Wiik, L. (2014). "Potato late blight and tuber yield: results from 30 years of field trials". *Potato Research*. 57(1), 77-98. <https://doi.org/10.1007/s11540-014-9256-2>

Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org