



RECIENA

Revista Científica Agropecuaria

USO DEL SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN (SAD) EN EL MANEJO INTEGRADO DE *Phytophthora infestans* (Mont.) DE BARY, EN EL CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum*

Artículo Original

USE OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS) ON THE INTEGRATED MANAGEMENT OF PHYTOPHTHORA INFESTANS DE BARY, IN THE CROP OF POTATO SOLANUM TUBEROSUM.

Herrera-Ramírez, Carlos David ¹

Recibido: 18/03/2021 · Aceptado: 05/04/2021

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cultivo más importante en la provincia del Carchi, la superficie cultivada con este tubérculo supera a la de otros cultivos sembrados en la zona; sin embargo, el tizón tardío, causado por el oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, afecta este cultivo, llegando a producir pérdidas directas hasta del 100%. Para disminuir las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad el Centro Internacional de la Papa (CIP) generó una herramienta denominada Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SAD) la cual usa información de las condiciones climáticas, susceptibilidad del cultivo, características y frecuencia de aplicación de fungicidas, para orientar a los agricultores a tomar una adecuada decisión en el manejo de la enfermedad. La presente investigación evaluó el SAD en campos de agricultores que fueron agrupados en dos; el primer grupo fue capacitado en el uso del SAD y el segundo manejó el cultivo de acuerdo a su criterio y experiencia. Los resultados obtenidos indican que los agricultores que usaron el SAD manejaron la enfermedad con igual eficiencia que la estrategia empleada por los agricultores que no fueron capacitados ni usaron el SAD. En ambos grupos se registraron valores similares de rendimiento, mientras que el consumo de plaguicidas de los agricultores que usaron el SAD fue menor por lo que la tasa de impacto ambiental fue menor.

Palabras clave: tasa de impacto ambiental, estrategia de control, tizón tardío

ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum*) is the most important crop in the Carchi province, the area cultivated with this tuber exceeds that of other crops grown in the area, however, late blight, caused by the oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, affects this crop, producing direct losses of up to 100%. To reduce the losses caused by this disease, the International Potato Center (CIP) generated a tool called Decision Support System (SAD) which uses information on climatic conditions, crop susceptibility, characteristics and frequency of application of fungicides, to guide farmers to make an adequate decision in the management of the disease. The present investigation evaluated SAD in farmers' fields that were grouped in two: the first group was trained in the use of SAD and the second managed the crop according to their criteria and experience. The results obtained indicate that the farmers who used the SAD managed the disease with the same efficiency as the strategy used by the farmers who were not trained or used the SAD. Similar yield values were recorded in both groups, while the pesticide consumption of farmers who used SAD was lower, so the rate of environmental impact was lower.

Keywords: environmental impact rate, control strategy, late blight

¹ Carrera de Agropecuaria, Universidad Politécnica Estatal de Carchi
carlos.herrera@upec.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la papa se cultiva en cualquier zona de la sierra ecuatoriana y las provincias con mayor producción son: Carchi, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi y posee una alta demanda en la población debido al valor nutricional que posee (Zuñiga *et al.*, 2017).

En el año 2015 la provincia del Carchi registró una productividad promedio de 22,43 t/ha, superando al resto de provincias productoras de papa en el país, siendo la variedad super chola la de mayor frecuencia de siembra. (Zuñiga *et al.*, 2017)

La papa es afectada por diversas plagas que con el tiempo han generado resistencia, y las estrategias utilizadas para controlarlas han perdido eficiencia, lo que ha generado mayores daños en el cultivo, y a consecuencia de esto se han registrado pérdidas considerables de producción y económicas (CIP, 2017).

La enfermedad más importante que afecta a la papa es la lancha o tizón tardío causada por el oomyceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Este microorganismo pertenece al dominio o super reino Eucaryota, clado Stramenopiles y clase Oomycetes, (Ospina, 2017). Afecta al cultivo de papa en cualquier etapa de desarrollo, y se encuentra presente en todos los campos de cultivo de la sierra ecuatoriana. El patógeno se desarrolla mejor en épocas de lluvia con cielos nublados, temperaturas bajas y humedades relativas altas, condiciones climáticas presentes en la provincia del Carchi en varios meses del año. Cuando no hay los controles oportunos, se puede llegar a generar pérdidas superiores al 80 % de la producción (Ortiz, 2002).

La principal estrategia usada por los agricultores de la provincia del Carchi para controlar la enfermedad es el uso de fungicidas de síntesis química, los cuales han sido usados desde hace 50 años aproximadamente en esta provincia.

A lo largo de los años se ha observado un manejo inadecuado de plaguicidas en el control de plagas en el cultivo de papa, ocasionado por la sobre o sub dosificación de productos, la escasez de diferentes ingredientes activos para adecuados planes de rotación de plaguicidas, excesivo número de aplicaciones por ciclo de cultivo, además de aplicaciones inoportunas. (Rivillas, Serna, Cristacho, y Gaitan, 2011). Estas prácticas inadecuadas hacen cada vez más difícil controlar la enfermedad, ya que *Phytophthora infestans* ha generado resistencia a los fungicidas sistémicos, apareciendo cepas más agresivas en los campos de agricultores, sumado al clima propicio para la enfermedad en las diferentes zonas paperas de la provincia, ocasionando graves pérdidas económicas en los cultivos (Morales 2002).

Con el propósito de disminuir las pérdidas ocasionadas por el tizón tardío en el cultivo de papa el Centro Internacional de la Papa (CIP) generó una herramienta denominada Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SAD) que integra la susceptibilidad de la variedad sembrada, el clima y la aplicación de fungicidas, lo cual permite a los agricultores desarrollar un manejo integrado de la enfermedad (Pérez *et al.*, 2020).

El progreso de esta herramienta radica en las incógnitas que surgen cuando los agricultores van a usar fungicidas: ¿Cuándo iniciar las aplicaciones de fungicidas? ¿Qué fungicida utilizar y con qué frecuencia aplicarlo? (Cáceres *et al.*, 2007).

El Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) en el manejo integrado de lancha en papa es una herramienta que usa información de varios tipos, por ejemplo: condiciones climáticas que favorecen la epidemia del tizón tardío, vulnerabilidad del cultivo de papa y de sus variedades, características técnicas de los fungicidas y la frecuencia de su aplicación, información que procesa el SAD y orienta a los agricultores para la toma de decisiones y mejoren la eficiencia en el control de lancha en papa (Pastaz, 2015).

Tomando en cuenta que los agricultores poseen conocimientos básicos de la enfermedad, la resistencia de las diferentes variedades de papa ante *P. infestans*, y el tipo de acción de los fungicidas, se determina que el Sistema de Apoyo a la Decisión ayuda al agricultor a decidir cuándo iniciar el uso de fungicidas, qué fungicidas usar y cada cuánto aplicarlos (Kromann, 2017).

El SAD creado consta de una herramienta circular que identifica los 3 componentes analizados con anterioridad: susceptibilidad a la enfermedad de la variedad sembrada, condición climática (precipitación) y tiempo transcurrido de la última fumigación (Figura 1) (Pérez, 2014).

En el círculo externo existen 3 colores, cada color representa la susceptibilidad de la variedad a la enfermedad: verde: resistente; amarillo: medianamente resistente; rojo: susceptible (Figura 2). De acuerdo a la susceptibilidad de la variedad sembrada se identifica el intervalo o frecuencia en días que se debe realizar el monitoreo del campo y realizar la evaluación de severidad de la enfermedad (Figura 3).

El círculo de color azul representa el factor clima, el cual permite colocar la valoración de la precipitación medida en el recipiente adscrito al SAD, el cual debe ser colocado en el cultivo (Figura 4).

El círculo interno de color naranja determina el tiempo (número de días) transcurridos desde la última aplicación de plaguicidas en el cultivo (Figura 5).

El círculo color violeta determina y describe la decisión que puede usar el agricultor para un manejo adecuado de la enfermedad, en base a la sumatoria de los factores escogidos en los círculos anteriores (Figura 6).

La presente investigación tuvo como objetivo determinar cuál es el efecto del Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) en el Manejo Integrado de Tizón tardío *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa, bajo condiciones de manejo de los propios agricultores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue ejecutada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). El enfoque del trabajo fue cualitativo y cuantitativo. La variable independiente estudiada es el uso del SAD y variable dependiente el grado de control de *P. infestans* en el cultivo de papa *S. tuberosum*.

La investigación se desarrolló en campo de 265 agricultores de la provincia del Carchi y cada uno de ellos implementó una parcela de investigación con la variedad súper chola con una superficie promedio de 300 m². A todos los agricultores se les entregó la semilla de papa y el abono.

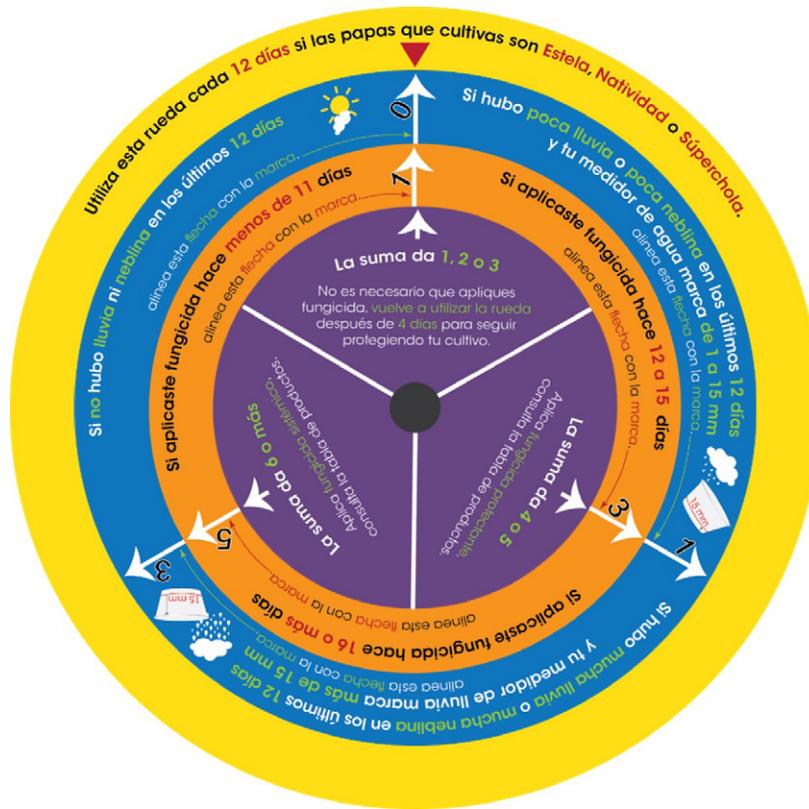


Figura 1. Sistema de apoyo a la toma de decisión para manejo de tizón tardío.

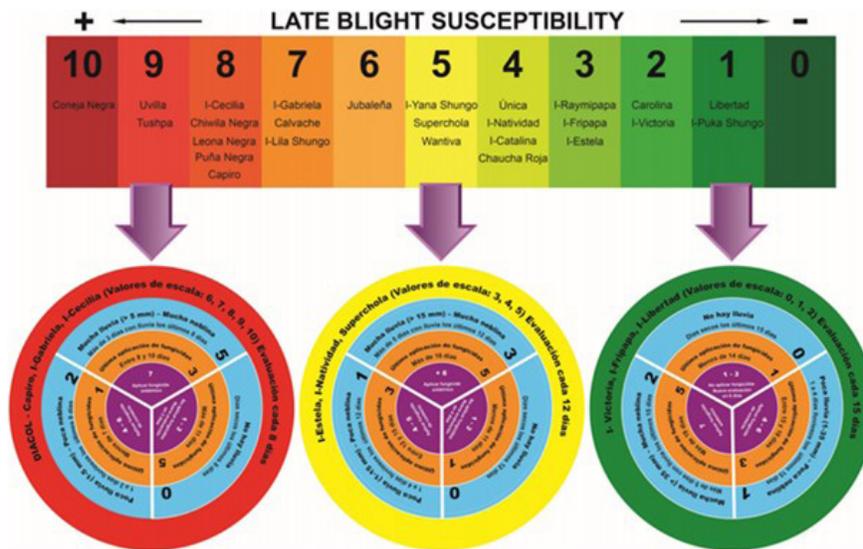


Figura 2. Herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el control de tizón tardío; ROJO para uso en cultivares susceptibles, AMARILLO para uso en cultivares moderadamente resistentes y VERDE para uso en cultivares resistentes.

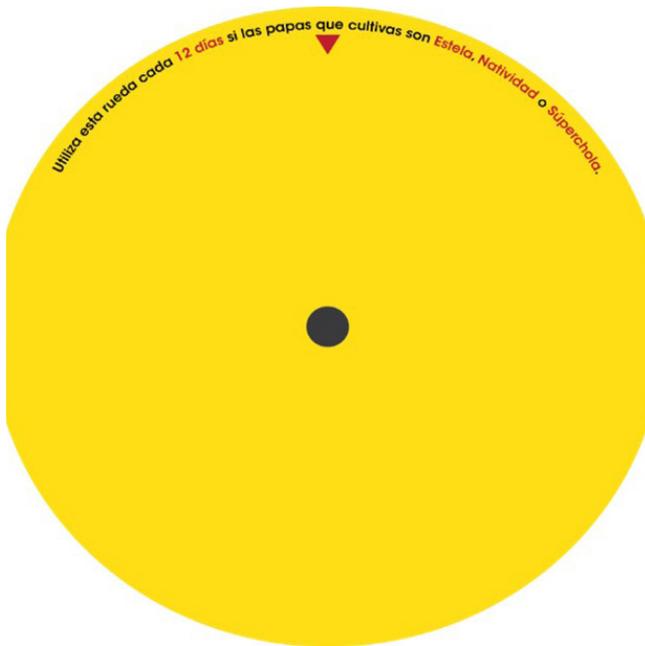


Figura 3. Círculo externo del SAD para uso en variedades moderadamente resistentes a Tizón tardío indicando la frecuencia de monitoreo del campo.

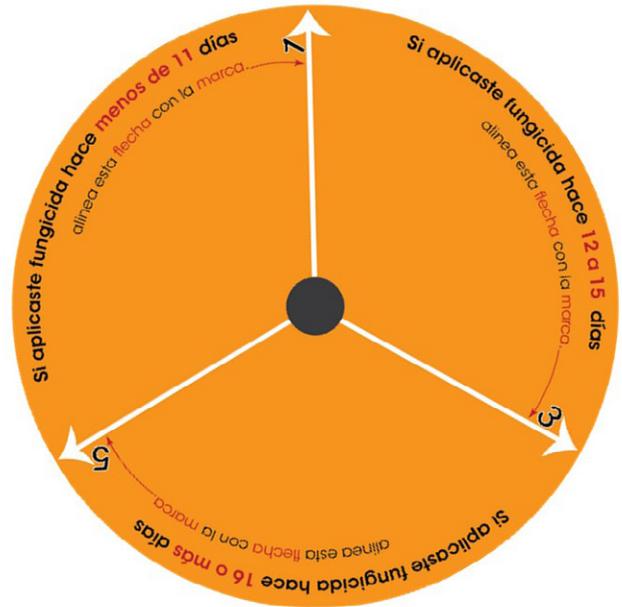


Figura 5. Círculo interno de color naranja del SAD que considera el tiempo de la última aplicación de fungicidas.

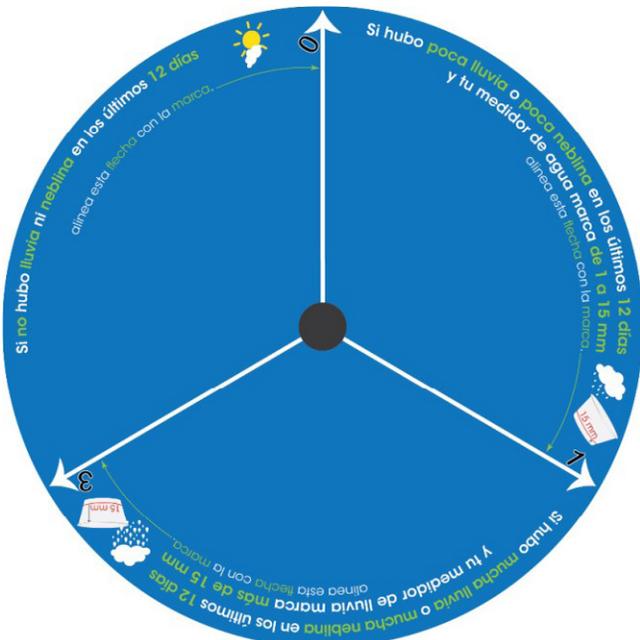


Figura 4. Círculo azul del SAD para evaluar la precipitación



Figura 6.- Círculo de color violeta del SAD que describe la decisión por efectuar

Los agricultores fueron divididos en dos grupos, el primer grupo fue capacitado en el uso del SAD para el manejo integrado de tizón tardío y el segundo grupo de agricultores no utilizaron el SAD, usaron su criterio y experiencia para el control de la enfermedad. Se instalaron parcelas de libre infestación o parcelas satélites o testigos en ocho zonas representativas de la provincia del Carchi, parcelas en las cuales no se efectuó el control a *P. infestans*. Por lo tanto, la presente investigación tuvo dos estrategias evaluadas:

Estrategia 1.- Agricultores con uso de SAD para el control de Tizón tardío en el cultivo de papa.

Estrategia 2.- Agricultores sin uso de SAD para el control de Tizón tardío en el cultivo de papa.

2.1. Variables evaluadas o de medición:

Severidad de lancha

La severidad de lancha en las parcelas de investigación fue estimada mediante la observación visual del porcentaje de follaje afectado por *P. infestans*, en una escala de 0 a 100 % cada 12 días, lo cual es considerado para variedades moderadamente resistentes como lo es súper chola. Las evaluaciones se realizaron a partir de la primera aplicación de fungicidas hasta la madurez fisiológica de la planta, para luego con estos datos se procedió a calcular el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) (Taípe, Forbes, & Andrade-Piedra, 2011).

Aplicaciones de fungicidas (número/ciclo de cultivo)

A través del seguimiento a los agricultores durante el desarrollo del cultivo de papa, se registró el número de aplicaciones efectuadas por cada agricultor para el control de tizón tardío durante todo el ciclo del cultivo, evaluación efectuada en todos los agricultores involucrados en el estudio.

Consumo de fungicidas

Con el registro del número de aplicaciones efectuadas para el control de lancha, también se registró el peso o volumen consumido de producto comercial (fungicida) empleado (kg/ parcela/ciclo) por cada agricultor (Cáceres, 2007).

Impacto Ambiental

La tasa de impacto ambiental (TIA) indica el impacto que causa un fungicida o una tecnología al ambiente y a la salud humana, ayudando a los técnicos en la evaluación de diferentes sistemas de producción (Llumiquinga, 2009).

La TIA se obtiene aplicando la siguiente fórmula (Barros, 2001):

$$TIA = CIA \times dosis / ha \times formulación \times N^{\circ} \text{ aplicaciones}$$

Dónde:

TIA = tasa de impacto ambiental

CIA = coeficiente de impacto ambiental

Se calculó la tasa de impacto ambiental para todos los campos de agricultores estudiados.

Rendimiento

En cada parcela de los agricultores se registró la producción del tubérculo cosechado por categorías: primera, segunda y tercera.

Costos del control del tizón tardío

Con los datos registrados de consumo de plaguicidas, aplicaciones, precios de los plaguicidas, tiempo destinado al control, se determinó los costos de las estrategias evaluadas para cada campo evaluado.

2.2. Análisis estadístico.

Para analizar el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, en el resto de variables de medición evaluadas como impacto ambiental, aplicaciones y consumo de fungicidas, rendimiento, costo del control se utilizó la prueba estadística de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos y Wilcoxon-Rank para determinar diferencias estadísticas entre los grupos evaluados. El programa estadístico informático utilizado para estos análisis fue Statistix.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Severidad de lancha en el cultivo de papa

La prueba de Kruskal-Wallis para el ABCPE de tizón tardío en el cultivo de papa bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi, demuestra que existen diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas. La estrategia control o de libre infestación alcanzó el valor más alto para el ABCPE. Mientras que las estrategias: grupo de agricultores con el uso de SAD y grupo de agricultores sin uso de SAD, registraron valores de ABCPE más bajos y una similitud estadística entre ellos (Tabla 1).

Tabla 1. Prueba de Kruskal-Wallis para el ABCPE de tizón tardío en el cultivo de papa en la provincia del Carchi

Estrategia	Promedio ABCPE (%-días)	Rangos	p-valor
Libre infestación	3950,68	A	0,000**
Con uso del SAD	233,27	B	
Sin uso del SAD	163,13	B	
Promedio total de la investigación	1449,03		

** Diferencia estadística significativa alta; SAD: Sistema de Apoyo a la Decisión para el control de tizón tardío; ABCPE: Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad.

En la Figura 1 se puede observar que las 2 curvas de severidad que corresponden a las 2 estrategias evaluadas, con uso del SAD y sin uso del SAD para el control de lancha en papa, son iguales estadísticamente. Demostrando que el uso del SAD ejerce control de lancha en el cultivo de papa.

La parcela de libre infestación, en la cual no se aplicó ni una estrategia para controlar lancha, registró niveles de severidad de tizón tardío que bordearon el 100 % al final del ciclo de cultivo, debido a que en el año 2018 (año de ejecución de la investigación) existieron épocas de precipitaciones fuertes sobre todo en el primero, segundo y cuarto trimestre del año. El boletín nacional de precipitación y temperatura 2018 emitido por el Ministerio de Agricultura indica que noviembre registró 181mm de precipitación y 14 °C de temperatura, condiciones óptimas para el buen desarrollo del patógeno (Cabrera, 2008); además, la zona del Carchi es una zona fría, nublada, y con los niveles de precipitación presentados se afecta la movilidad de varios nutrientes en la planta como el calcio, razón por la cual los tejidos de las plantas se tornan mas susceptibles al ataque de las enfermedades (Medina, 2008).

3.2. Aplicaciones (numero/ciclo de cultivo) efectuadas en cultivo de papa para el control de tizón tardío bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi.

La prueba de Wilcoxon-Rank para las aplicaciones (número/ciclo de cultivo) efectuadas en cultivo de papa para el control de tizón tardío bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi, evidencia diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas. La estrategia en la cual los agricultores no usaron el SAD para el control de la enfermedad registró 11 aplicaciones por ciclo de cultivo, superando al promedio alcanzado por los agricultores que utilizaron el SAD, con un excedente de 2 aplicaciones para el control de lancha por ciclo de cultivo de papa (Tabla 2).

El uso del SAD en el manejo del tizón tardío permite disminuir el número de aplicación por ciclo de cultivo, sin poner en riesgo el progreso de la epidemia, ya que con la herramienta

SAD hay un monitoreo permanente del clima y un control periódico de la frecuencia de las aplicación de fungicidas sobre *Phytophthora infestans*, y que ayudado esto de los controles oportunos se presentan bajos niveles de severidad de la enfermedad en el cultivo de papa.

Tabla 2. Prueba de Wilcoxon Rank para las Aplicaciones (número/ciclo de cultivo) efectuadas en el cultivo de papa para el control de tizón tardío en la provincia del Carchi.

Estrategia	Número promedio de aplicaciones o controles / ciclo de cultivo	p-valor
Con uso del SAD	9,17	0,000**
Sin uso del SAD	11,21	
Promedio total de la investigación	10,19	

** Diferencia estadística significativa alta; SAD: Sistema de Apoyo a la Decisión para el control de tizón tardío

3.3. Consumo de fungicidas en el control de tizón de tardío en el cultivo de papa bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi.

La prueba de Wilcoxon-Rank para consumo de plaguicidas en el control de tizón de tardío en el cultivo de papa bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi, evidenció diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas. La estrategia en la cual los agricultores no usaron el SAD mostró un consumo de 1,98 kg de plaguicidas / parcela / ciclo de cultivo, valor que duplica al registrado por los agricultores que utilizaron el SAD en el manejo de tizón tardío. Este comportamiento se da por la sobredosificación de los fungicidas usados por los agricultores que no utilizaron el SAD y por el aumento en el número de aplicaciones / ciclo (Tabla 3).

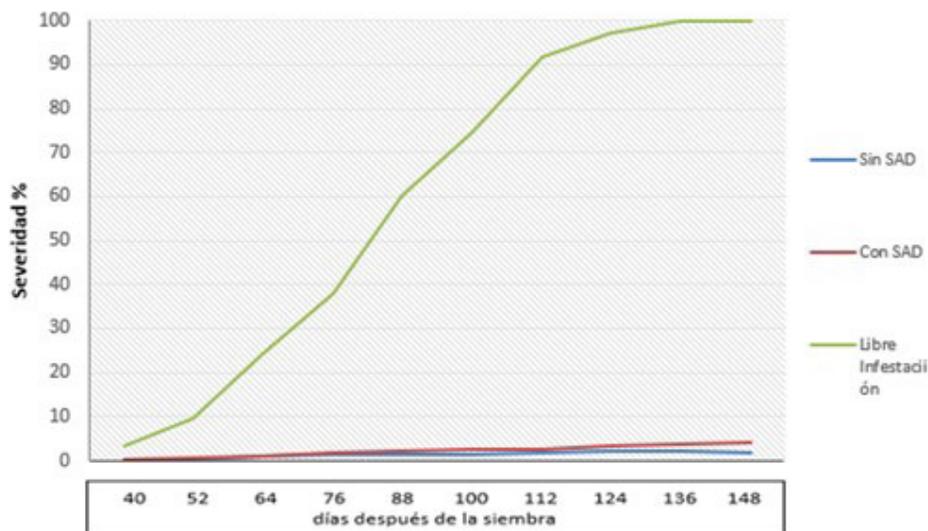


Figura 1.- Severidad de *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi.

Tabla 3. Prueba de Wilcoxon Rank para consumo de plaguicidas para el control de Tizón de Tardío en el cultivo de papa en la provincia del Carchi

Estrategia	Consumo de plaguicidas en el control de tizón tardío (kg/parcela/ciclo de cultivo)	p-valor
Con uso del SAD	0,91	0,000**
Sin uso del SAD	1,98	
Promedio total de la investigación	1,44	

** Diferencia estadística significativa alta; SAD: sistema de apoyo a la decisión para el control de tizón tardío

El grupo de agricultores que usaron el SAD en la investigación utilizaron máximo 41 productos químicos formulados diferentes para el control de lancha, mientras que el grupo de agricultores que no usaron el SAD en las parcelas de papa, utilizaron máximo 36 productos químicos formulados diferentes. El fungicida más usado por los agricultores que no utilizaron el SAD es el Cymoxanil + Mancozeb, que lo usaron el 91 % de agricultores, seguido por Mancozeb que lo usaron el 47% de agricultores, mientras que el fungicida más usado por los agricultores que utilizaron el SAD es el Cymoxanil + Propineb que lo usaron el 85 % de agricultores, seguido por Propamocarb que lo usaron el 83 % de agricultores.

Los agricultores que emplearon el SAD usaron un mayor número de fungicidas, favoreciendo una rotación más amplia de plaguicidas en el control de la lancha, disminuyendo el riesgo de la generación de resistencia de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.

3.4. Impacto ambiental generado por la aplicación del SAD en el control de tizón tardío en el cultivo de papa *Solanum tuberosum* en la provincia del Carchi.

La prueba de Wilcoxon-Rank para la tasa de impacto ambiental generado por la aplicación del SAD en el control de tizón tardío en el cultivo de papa, evidenció diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas. La estrategia en la cual los agricultores no usaron el SAD registró una tasa de impacto ambiental de 705,81 casi triplicando al índice registrado por los agricultores que utilizaron el SAD en el manejo de tizón tardío quienes registraron un valor de 270,59.

El mayor consumo de plaguicidas para el control de lancha, el exceso en el número de aplicaciones o controles por ciclo, ha determinado que los agricultores que no usaron el SAD evidencien una tasa de impacto ambiental mayor a la generada por los agricultores que usaron el SAD. Estos índices permitirán ir analizando la implementación de prácticas sostenibles en los cultivos de papa en el futuro (Tabla 4).

3.5. Rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum* bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi.

La prueba de Wilcoxon-Rank para el rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum* bajo el efecto del SAD en la provincia del Carchi, evidenció que no hay diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas (Tabla 5), el promedio de rendimiento para la investigación fue 1182 (qq/ha/ciclo).

Las dos estrategias analizadas, alcanzaron un comportamiento similar en el desarrollo y progreso de la enfermedad al presentar valores de severidad similares, esto ha determinado

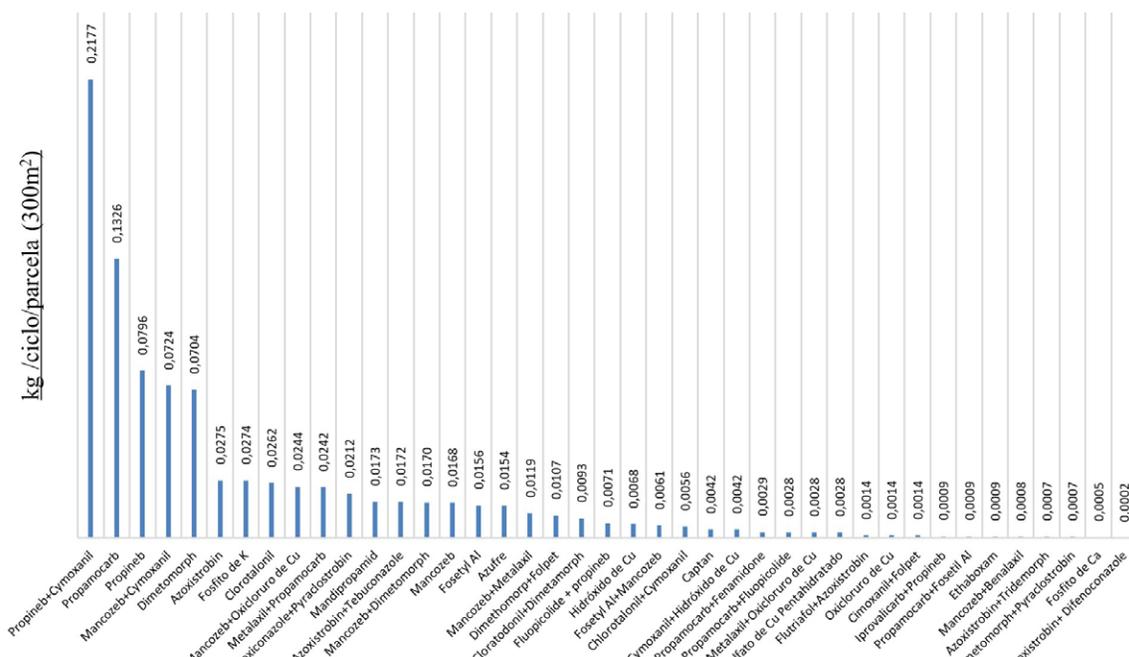


Figura 8.- Consumo de plaguicidas (kg/ciclo/parcela) en el control de tizón tardío en el cultivo de papa por parte de los agricultores que usaron el SAD en el manejo integrado de tizón tardío en el cultivo de papa

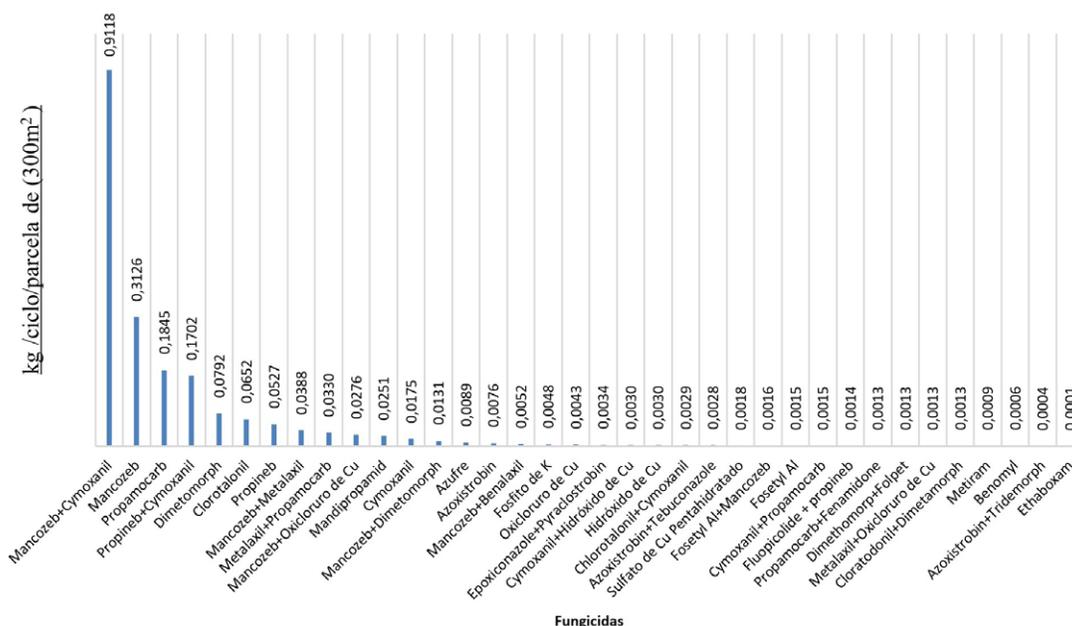


Figura 9. Consumo de plaguicidas (kg /ciclo/parcela) en el control de tizón tardío en el cultivo de papa por parte de los agricultores que no usaron el SAD en el cultivo de papa

que también los rendimientos generados para cada una de las dos estrategias investigadas no evidencien diferencias estadísticas significativas.

Tabla 4. Prueba de Wilcoxon-Rank para la tasa de impacto ambiental generado por la aplicación del SAD en el control de tizón tardío en el cultivo de papa en la provincia del Carchi.

Estrategia	Índice de Impacto Ambiental	p-valor
Con uso del SAD	270,59	0,000**
Sin uso del SAD	705,81	
Promedio total de la investigación	488,20	

** Diferencia estadística significativa alta; SAD: Sistema de Apoyo a la Decisión para el control de tizón tardío

Tabla 5. Prueba de Wilcoxon-Rank para rendimiento del cultivo de papa en la provincia del Carchi.

Estrategia	Rendimiento (qq/ha/ciclo)	p-valor
Con uso del SAD	1156	0,09ns**
Sin uso del SAD	1215	
Promedio total de la investigación	1182	

ns No hay diferencia estadística significativa SAD: Sistema de Apoyo a la Decisión para el control de tizón tardío

3.6. Costo del control de tizón tardío bajo el efecto del SAD en el cultivo de papa *Solanum tuberosum* en la provincia del Carchi.

La prueba de Wilcoxon-Rank para el costo del control de tizón tardío bajo el efecto del SAD en el cultivo de papa en la provincia del Carchi mostró diferencias estadísticas entre las estrategias analizadas. La estrategia en la cual los agricultores no usaron el SAD registró un costo de control de \$ 37,52 /ciclo/parcela, superando al costo registrado por los agricultores que utilizaron el SAD \$ 27,88/ciclo/parcela en el manejo de tizón tardío, con un valor casi de \$ 10/ciclo/parcela.

Los agricultores que usaron el SAD registraron un menor número de aplicaciones por ciclo (9,17) y un menor consumo de plaguicidas (0,91 kg/parcela/ciclo), en relación con los valores alcanzados por los agricultores que no usaron el SAD 11,21 aplicaciones por ciclo y 1,98 kg/parcela/ciclo de fungicidas; siendo esta la causa por la cual los agricultores con uso de SAD generaron un menor costo para el control de *Phytophthora infestans* presentando un beneficio para los agricultores.

Tabla 6.- Costo del control de tizón tardío bajo el efecto del SAD en el cultivo de papa en la provincia del Carchi.

Estrategia	Costo de Control	p-valor
Con uso del SAD	27,88	0,0001**
Sin uso del SAD	37,52	
Promedio total de la investigación	32,70	

** Diferencia estadística significativa alta; SAD: Sistema de Apoyo a la Decisión para el control de tizón tardío

4. CONCLUSIONES

No existen diferencias estadísticas para la variable severidad ni en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad entre las estrategias evaluadas para el control de lancha en papa.

Existen diferencias estadísticas en el consumo de fungicidas entre las estrategias evaluadas, el mayor consumo lo registró la estrategia en la cual no se usó el sistema de apoyo a la decisión para el control de la enfermedad con un valor 1,91 kg/parcela/ciclo.

En la variable rendimiento no hay diferencias estadísticas para las variables estudiadas, el rendimiento promedio de la investigación fue 35,45 qq/parcela/ciclo.

La estrategia que uso el SAD en el control del tizón tardío registro un menor costo de control entre las estrategias estudiadas generando un beneficio económico con el uso de agricultores.

Con relación a la tasa de impacto ambiental se determina una disminución considerable al utilizar el SAD con respecto a la estrategia del agricultor, debido a la rotación de fungicidas, menor número de aplicaciones, menor consumo fungicidas y uso de plaguicidas que poseen un bajo coeficiente de impacto ambiental.

5. AGRADECIMIENTOS

Se extiende un agradecimiento por el apoyo profesional y técnico brindado en el presente proyecto a: Ph.D. Claudio Velasco, Ing. Arturo Taipe, Ing. Jonathan Gómez, Ph.D. Wilmer Pérez, Ing. José Luis Almeida, Ing. Mercedes Figueroa, Ing. Katherine Mina, Ing. Diana Rivadeneira, Ing. Andrés Cangás, Ing. Daniela Quiroz, Ing. Karla Nazate y estudiante Gabriela Malquín.

6. ANEXOS

Anexo 1. Uso de fungicidas en el cultivo de papa para el control de tizón tardío en la provincia del Carchi

Agricultores con uso del SAD para manejo de lancha		Agricultores sin uso del SAD para manejo de lancha	
Fungicida	kg/ciclo/parcela (300 m ²)	Fungicida	kg/ciclo/parcela (300 m ²)
Propineb + Cymoxanil	0,2177	Mancozeb + Cymoxanil	0,9118
Propamocarb	0,1326	Mancozeb	0,3126
Propineb	0,0796	Propamocarb	0,1845
Mancozeb + Cymoxanil	0,0724	Propineb + Cymoxanil	0,1702
Dimetomorph	0,0704	Dimetomorph	0,0792
Azoxistrobin	0,0275	Clorotalonil	0,0652
Fosfito de K	0,0274	Propineb	0,0527
Clorotalonil	0,0262	Mancozeb + Metalaxil	0,0388

Agricultores con uso del SAD para manejo de lancha		Agricultores sin uso del SAD para manejo de lancha	
Fungicida	kg/ciclo/parcela (300 m ²)	Fungicida	kg/ciclo/parcela (300 m ²)
Mancozeb + Oxicloruro de Cu	0,0244	Metalaxil + Propamocarb	0,0330
Metalaxil + Propamocarb	0,0242	Mancozeb + Oxicloruro de Cu	0,0276
Epoxiconazole + Pyraclostrobin	0,0212	Mandipropamid	0,0251
Mandipropamid	0,0173	Cymoxanil	0,0175
Azoxistrobin + Tebuconazole	0,0172	Mancozeb + Dimetomorph	0,0131
Mancozeb + Dimetomorph	0,0170	Azufre	0,0089
Mancozeb	0,0168	Azoxistrobin	0,0076
Fosetyl AI	0,0156	Mancozeb + Benalaxil	0,0052
Azufre	0,0154	Fosfito de K	0,0048
Mancozeb + Metalaxil	0,0119	Oxicloruro de Cu	0,0043
Dimetomorph + Folpet	0,0107	Epoxiconazole + Pyraclostrobin	0,0034
Cloratodoni + Dimetomorph	0,0093	Cymoxanil + Hidróxido de Cu	0,0030
Fluopicolide + propineb	0,0071	Hidróxido de Cu	0,0030
Hidróxido de Cu	0,0068	Chlorotalonil + Cymoxanil	0,0029
Fosetyl AI + Mancozeb	0,0061	Azoxistrobin + Tebuconazole	0,0028
Chlorotalonil + Cymoxanil	0,0056	Sulfato de Cu Pentahidratado	0,0018
Captan	0,0042	Fosetyl AI + Mancozeb	0,0016
Cymoxanil + Hidróxido de Cu	0,0042	Fosetyl AI	0,0015
Propamocarb + Fenamidone	0,0029	Cymoxanil + Propamocarb	0,0015
Propamocarb + Fluopicolide	0,0028	Fluopicolide + propineb	0,0014
Metalaxil + Oxicloruro de Cu	0,0028	Propamocarb + Fenamidone	0,0013
Sulfato de Cu Pentahidratado	0,0028	Dimetomorph + Folpet	0,0013
Flutriafol + Azoxistrobin	0,0014	Metalaxil + Oxicloruro de Cu	0,0013
Oxicloruro de Cu	0,0014	Cloratodoni + Dimetomorph	0,0013
Cimoxanil + Folpet	0,0014	Metiram	0,0009
Iprovalicarb + Propineb	0,0009	Benomyl	0,0006

Agricultores con uso del SAD para manejo de lancha		Agricultores sin uso del SAD para manejo de lancha	
Fungicida	kg/ciclo/ parcela (300 m ²)	Fungicida	kg/ciclo/ parcela (300 m ²)
Propamocarb + Fosetil Al	0,0009	Azoxistrobin + Tridemorph	0,0004
Ethaboxam	0,0009	Ethaboxam	0,0001
Mancozeb + Benalaxil	0,0008		
Azoxistrobin + Tridemorph	0,0007		
Dimetomorph + Pyraclostrobin	0,0007		
Fosfito de Ca	0,0005		
Azoxistrobin + Difenconazole	0,0002		

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, I. (2008). *Inia.cl*. Obtenido de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR35165.pdf>
- Acuña, I., & Tejada, P. (29 de Diciembre de 2015). *INIA-CHILE*. Obtenido de <http://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=214>
- Agrios, G. N. (2005). *Fitopatología*. Editorial Limusa S.A. De C.V., .
- Andrade, H. (1998). *Variedades cultivadas en el Ecuador*. Quito: INIAP/PNRT.
- Andrade, H., Cuesta, X., & Oyarzún, P. (1999). *Mejoramiento en Ecuador: desafiando el incremento en la patogenicidad de Phytophthora infestans*. Revista informativa del INIAP, 13-14.
- Ávila, I. E. (2015). *Manual PAPA*. Obtenido de Camara de Comercio de Bogotá: <https://www.ccb.org.co/content/download/13727/175111/file/Papa.pdf>
- Barona, D. (2009). *Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para producción de papa*. Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Bustamante, N., Pérez, W., & Aragón, L. (2008). *Control químico del tizón tardío ('Phytophthora infestans') de la papa' canchán' en Huasahuasi, Junín*. Fitopatología 43.
- Cabrea, H. (2008). *La ranca de la papa en Cajamarca (Phytophthora infestans)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria, Lima-Perú
- Cáceres, P.A., Pumisacho, M., Forbes, G.A., Andrade-Piedra, J.L. 2007. *Guía para facilitar el aprendizaje sobre control de tizón tardío de la papa*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENACYT). Quito, Ecuador. 142 páginas.
- Cambell, C., & Madden, L. (1990). *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Connecticut: U.S.A: John Wiley & Sons.
- Cepeda, R. E. (2005). *Servicios y Almacigos S.A*. Obtenido de <http://allmacigos.cl/bt/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20PAPA.pdf>
- Chacon, M. (2012). *Aprendamos de FITOPATOLOGIA: Hongo de genero Phytophthora*. Obtenido de <http://fitopatologiamanuelchacon.bligoo.es/hongo-de-genero-phytophthora#.VInEcfmGuh>
- CIMMYT. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. Un manual metodológico de evaluación económica . México D.F., México.
- CIMMYT. (1988). *Manual metodológico de evaluación económica*. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México.
- CIP, I. P. (2017). *CIP International Potato Center*. Obtenido de <https://cipotato.org/es/lapapa/plagas-y-enfermedades-de-la-papa/>
- Conabio. (20 de 9 de 2014). *CONABIO.GOB*. Obtenido de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914_sg7.pdf
- Cremllyn, R. (1990). *Plaguicidas modernos y su acción bioquímica*. México: Editorial Limusa.
- Cuesta, X., Monteros, C., & Torres, J. R. (2011). *International Potato Center*. Obtenido de <https://cipotato.org/es/cip-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/variedades/>
- E, W., Niklaus, F. J., & Grünwald. (2010). *Introducción a los Oomicetes*. Obtenido de <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/PathogenGroups/Pages/IntroOomycetesEspagnol.aspx>
- Erwin, D., & Ribeiro, O. (1996). *Phytophthora Diseases Worldwide*. Minnesota, USA: The American Phytopathological Society.
- Fernández. (2016). *INA.gob.ar*. Obtenido de <https://www.ina.gob.ar/legacy/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-6-Fernandez.pdf>
- Forbes, G. A. (2012.). *Using Host resistance to manage Potato Late Blight with Particular Reference to Developing Countries*. Lima: Potato Research.
- Forbes, G. A., & Landeo, J. (2006). *Late Blight. Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management.*, Editado por J. Gopal andy Khurana S. M. P., eds., 279-314. . Binghamton, .
- Forrer, H. R., Gujer, H., & Fried, P. (1993). *Phytopre: A Comprehensive Information and Decision Support System for Late Blight in Potatoes*. En in Workshop on Computer Based DSS on Crop Protection.
- Fry, W., Forbes, G., & Shtienberg, D. (2009). *Late blight simulation and forecasting: Bells and whistles or real tools for researchers and farmers*. Acta Horticulturae (ISHS), Proceedings of the tThird International Late Blight Conference.
- Fry, W. E., Apple, A., & Bruhn, J. (1983). *Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering*. Phytopathology 73.
- Gavillan, G., Surgeoner, G., & Kovach, J. (2001). *Pesticide risk reduction on crops in the province of Ontario*. Ontario, Canada: Environmental Quality.
- Gavillan, G., Surgeoner, G., & Kovach, J. (2001). *Pesticide risk reduction on crops in the province of Ontario*. Environmental Quality.

- Gleason, M. L., MacNab, A., Pitblado, R., Ricker, M., East, D., & Latin, R. (1995). *Disease-warning systems for processing tomatoes in eastern North America: Are we there yet*. *Plant Disease* 79.
- Grünwald, N. J., Romero Montes, G., Saldaña, L., Rubio Covarrubias, A., & Fry, W. (2002). *Potato late blight management in the Toluca Valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance*. *Plant Disease* 86: 1163–68.
- Haverkort, A., Struik, P. C., Visser, R. G., & Jacobsen, E. (2009). *Applied biotechnology to combat Late late blight in potato caused by Phytophthora infestans*. *Potato Research*.
- Henfling, J. (1987). *El tizón tardío de la papa*. Lima: Centro Internacional de la Papa.
- Hijmans, R., Forbes, G., & Walker, T. (1999). *A global assessment of late blight severity*. Obtenido de http://research.cip.cgiar.org/typo3/web/fileadmin/Pdfs_Archive/38hijman.pdf.
- Jiménez, A. (2013). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4792227.pdf>
- Kleinhenz, B., & Gutsche, V. (1996). *Validation and utilization of the forecasting models SIMCERC and SIMPHYT in plant protection advice*. SP Rapport Statens Planteavlsvorsog.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J., & Tette, J. (1992). *A method to measure the environmental impact of pesticides*. New York: Food and Life Sciences.
- Krause, R. A. (1975). *Blitecast: a computerized forecast of potato late blight*. *Plant Disease Reporter* 59.
- Kromann P, Taípe A., Velasco C, Andrade J. (2017). *Libro de memorias . Decisiones informadas para el manejo de Tizón Tardío, VII Congreso Ecuatoriano de la papa*. Tulcán Ecuador
- Kromann, P., Bernal, G., Ochoa, J., Galarza, V., Forves, G., & F, J. (8 de Julio de 2015). *Libro de memorias . VI Congreso Ecuatoriano de la papa*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Ficaya, UTN.
- Kromann, P., Miethbauer, T., Ortiz, O., Gregory, A., & Forbes, A. (2014). *Review of Potato Biotic Constraints and Experiences with Integrated Pest Management Interventions*. Obtenido de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7796-5_10.
- Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taípe, A., & Forbes, G. (2011). *Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production*. *Journal of Environmental Protection*.
- Kromann, P., Taípe, A., Perez, W., & Forbes, G. (2009). *Rainfall thresholds as support for timing fungicide applications in the control of potato late blight in Ecuador and Peru*. *Plant Disease* 93.
- Llumiquinga A, 2009, *Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para producción de papa con alternativas al uso de plaguicidas peligrosos en el cantón Pillaro – Provincia de Tungurahua, Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador*
- Mancero, L. (2008). *FAO.ORG*. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/LISFAME/Documents/Ecuador/cadena_papa.pdf
- Medina A, 2008, *Importancia del calcio en la nutrición de la papa*, YARA, Quito–Ecuador
- Morales, M. (2002). *Google books*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=GiczAQAAMAAJ&pg=PA1&lpg=PA1&dq=tesis+manejo+inadecuado+de+fungicidas&source=bl&ots=UWsg46wnHE&sig=wJq4aVxUCThtWHkxWcNtc9IP3Vc&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwioZ-GQ8qPZAhVthuAKHQUxD0cQ6AEIOjAB#v=onepage&q=tesis%20manejo%20in>
- Muhammetoglu, A., & Uslu, B. (2007). *Application of environmental impact quotient model to Kumluca region, Turkey to determine environmental impact of pesticides*. New York: Water Sciences & Technology.
- Ochoa, J. (2013). *Desarrollando principios de manejo del tizón de la papa en Ecuador*, *Memorias del V Congreso Ecuatoriano de la Papa y, IV congreso Iberoamericano Sobre Investigación y Desarrollo en Papa*. Riobamba, Ecuador.
- Ospina, A, 2017, *Estandarización de una pcr-ssp para la identificación del fitopatógeno Phytophthora infestans (oomycete) a partir de muestras de adn en frutos inoculados en la berenjena (Solanum melongena)*, Univeridad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá
- Orozco, F., & Cole, A. (2009). *Monitoring adherence to the International Code of Conduct: Highly hazardous pesticides in Central Andean agriculture and farmers' rights to health*. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 15.
- Ortiz, O., Garrett, K., Heath, J., Orrego, R., & Nelson, R. (2004). *Management of potato late blight in the Peruvian highlands: evaluating the benefits of farmer field schools and farmer participatory research*. *Plant Disease* 88.
- Ortiz, O., Thiele, G., & Forbes, G. (13-16 de February de 2003). *Farmers' knowledge and practices on relation to fungicide use for late blight control in the Andes*. in *En Proceedings of the International Workshop*. Cochabamba, Bolivia.
- Ortiz, O, 2002, *Conocimiento y prácticas del agricultor con relación al uso de fungicidas en el control de Tizón tardío en los Andes, Complementando la resistencia al tizón (Phytophthora infestans) en los Andes: Memorias, GILB, Taller Latinoamerica 1 CIP, Cochabamba, Bolivia*
- Oyarzún, P. J., Garzón, C., Leon, D., Andrade, I., & Forbes, G. (2005). *Incidence of potato tuber blight in Ecuador*. *American Journal of Potato Research*. Quito: International Potato Center.
- Parraguez, C. (Marzo de 2017). *PMG Business Improvement*. Obtenido de <https://www.pmgchile.com/nuevas-tecnologias-en-el-agro-11-tendencias-mundiales/>
- Pastaz, J. S. (2015). *DSPACE. UTB. EDU.EC*. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/752/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000153.pdf>
- Pérez, Willmer, Rolando Arias, Arturo Taípe, Oscar Ortiz, Gregory A. Forbes, Jorge Andrade-Piedra, and Peter Kromann. 2020. *“A Simple, Hand-Held Decision Support Designed Tool to Help Resource-Poor Farmers Improve Potato Late Blight Management.”* *Crop Protection* 134 (August): 105186. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105186>.

- Perez, W.; Orrego, R.; Ortiz, O.; Forbes, G.; Andrade Piedra, J.L. 2014. *Herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el manejo del tizón tardío diseñada para el uso de agricultores de subsistencia*. In: *Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP). Memorias*. 26. Congreso de la ALAP. Bogotá (Colombia). 28 Sep–02 Oct 2014. Colombia (Bogotá). ALAP. ISBN 978-987-45615-0-3. p. 110.
- Perez, W., Forbes, G., Chujoy, E., & Bonierbale, M. (2006). *Resistance to late blight in potato varieties released by National Agricultural Research Systems (NARS)*, 2004. *Plant Disease Management Reports*, (pág. 61).
- Pérez, W. (5 de Marzo de 2017). *Como prevenir, controlar y eliminar el tizón tardío de la papa*. (J. L. G, Entrevistador)
- Pérez, W. (5 de Marzo de 2017). *Potato Pro*. Obtenido de <https://www.potatopro.com/news/2017/como-prevenir-controlar-y-eliminar-el-tiz%C3%B3n-tard%C3%ADo-de-la-papa>
- Pérez, W., & Forbes, G. (Marzo de 2008). *Cipotato.org*. Obtenido de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>
- Pérez, W., & Forbes, G. (2008). *Manual Técnico El tizón tardío de la papa*. Lima-Peru: Gáfica Sucre.
- Pozo, M. (2015). *Evaluación de la efectividad de estrategias convencionales y alternativas para el manejo del tizón tardío (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary) en papa (Solanum tuberosum L.)*, Montúfar–Carchi. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Pumisacho y Sherwood. (2002). *El cultivo de papa en Ecuador*. Quito-Ecuador: CIP e INIAP.
- Raatjes, P., Hadders, J., Martin, D., & Hinds, H. (2004). *Plant-Plus: turn-key solution for disease forecasting and irrigation management*. Decision support systems in potato production: bringing models to practice.
- Realpe, J. (2010). *Evaluación de la eficiencia de fungicidas protectantes y sistémicos para el control de tizón tardío (Phytophthora infestans) en el cultivo de papa en San Pedro del Carchi*. Ibarra.
- Ridder, J. K., Bus, C., & Schepers, H. (1995). *Experimenting with a Decision Support System against Late Blight in Potatoes (ProPhy) in The Netherlands*. En *Phytophthora infestans*.
- Riveros, F., Sotomayor, R., Rivera, V., Secor, G., & Espinoza, B. (Abril de 2003). *Resistencia de Phytophthora infestans (Montagne) de Bary a metalaxil, en cultivo de papas en el norte de Chile*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072003000200001&script=sci_arttext&tlng=en
- Rivillas, C., Serna, C., Cristacho, M., & Gaitan, A. (2011). *Cenicafe*. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/594/1/036.pdf>
- Romá, M. (Diciembre de 2002). *Centa.gob*. Obtenido de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>
- Schepers, H. (2001). *research.cip.cgiar.org*. Obtenido de https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/37192020/3.3_Avances_en_sistemas_de_apoyo_para_la_toma_de_decisiones_en_el_controlOK.pdf?version=1&modificationDate=1273615764000
- Suquilanda, M. B. (2009). *FAO.ORG*. Obtenido de www.fao.org/fileadmin/user.../1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf
- Taípe, A. (2017). *Pérdidas en la cadena productiva de la papa*. Quito: CIP.
- Ullrich, Johannes, V., & Schrodter, H. (1966). *Das problem der vorhersage des auftretens der kartoffelkrautfäule (Phytophthora infestans) und die möglichkeit seiner losung durch eine negativprognose*. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig) 18.
- Winstel, K. (1992). *Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel–eine neue Prognosemöglichkeit*. [Late blight of potatoes (Phytophthora infestans)–a new prognosis method]. *Gesunde Pflanzen* 44.
- Winters, P., Ortiz, O., & Fano, H. (1999). *La percepción de los agricultores sobre el problema de tizón tardío o racha (Phytophthora infestans) y su manejo : Estudio de casos en Cajamarca, Perú*. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 97–120.
- Yanggen, D., Crissman, C., & Espinosa, P. (2003). *Los plaguicidas: Impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: *International Potato Center; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*. Quito, Ecuador.
- Yepez, L. (2016). *Validación de estrategias de manejo del tizón tardío*. Quito.
- Zuñiga Chila, S., Morales Espinoza, C., y Estrada Martínez, M. (2017). *Cultivo de la papa y sus condiciones climáticas*. *Gestión Ingenio Y Sociedad*, 2(2), 140-152. Recuperado de <http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/60>