



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación de la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas

Silva Vaca, Karen Michelle

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Biotecnología

M. Sc. Gavilanes Quizhpi, Álvaro Petronio

26 de febrero de 2023



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Silva_Karen_Trabajo_Titulación_antiplagio

1% Similitudes
0% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas
3% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Silva_Karen_Trabajo_Titulación_antiplagio.docx
ID del documento: fb0c5f72a2ee3226947bbd4ec15d9463e45c8b02
Tamaño del documento original: 175.08 ko

Depositante: MARBEL TORRES ARIAS
Fecha de depósito: 9/2/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 9/2/2023

Número de palabras: 12.345
Número de caracteres: 79.257

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.utc.edu.ec Evaluación de la eficacia de siete fungicidas para el Control ... 11 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (29 palabras)
2	Documento de otro usuario #a073b9 El documento proviene de otro grupo 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (28 palabras)
3	www.dspace.uce.edu.ec http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25380/1/FAG-CIA-PILICITA_EVELYN.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (32 palabras)
4	www.trichodex.bio Mancozeb, último fungicida retirado en la UE – Microbioma B... https://www.trichodex.bio/mancozeb-ultimo-fungicida-retirado-en-la-ue/	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (21 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.scielo.org.co http://www.scielo.org.co/pdf/nova/M19n36/1794-2470-nova-19-36-31.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (13 palabras)
2	repositorio.utm.edu.ec Utilización de dos hongos antagonistas como alternativa de ... http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/10951/6/03_AGP_282_TRABAJO_GRADO.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (13 palabras)
3	repositorio.utm.edu.ec Efecto de la aplicación de dos tipos de bioles en la incidenci... http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/9871/6/03_AGP_253_TRABAJO_GRADO.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (13 palabras)
4	www.tuberculosis.org Patata (Papa) - Propiedades, Beneficios, Origen, Tipos, Caracte... https://www.tuberculosis.org/papa-patata/	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (13 palabras)
5	www.fontagro.org Fontagro - Cristina Tello Torres https://www.fontagro.org/new/investigadores/ver/241/cristina-tello-torres/es	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)



Firma electrónica por:
ALVARO PETRONIO
GAVILANES QUIZHPÍ



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Evaluación de la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas" fue realizado por la señorita **Silva Vaca, Karen Michelle**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 06 de febrero de 2023

ALVARO
PETRONIO
GAVILANES
QUIZHPI

Firmado digitalmente
por ALVARO
PETRONIO
GAVILANES QUIZHPI
Fecha: 2023.02.09
15:48:29 -0500'

Dr. Petronio Gavilanes Quizhpi, MSc.

C.C: 0102778586



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Responsabilidad de autoría

Yo, **Silva Vaca, Karen Michelle**, con cédula de ciudadanía n° **1725402505**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Evaluación de la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolqui, 09 de marzo de 2023

Silva Vaca Karen Michelle

C.C: 1725402505



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Autorización de publicación

Yo, **Silva Vaca, Karen Michelle**, con cédula de ciudadanía n° **1725402505**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Evaluación de la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangoquí, 09 de marzo del 2023

Silva Vaca Karen Michelle

C.C.: 1725402505

Dedicatoria

'En la vida, no hay nada que temer, solo hay que comprender'

Marie Curie

A mi madre, Paulina, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su fuerza, dedicación y entrega para que yo consiga el éxito.

A mis abuelitos, José e Hilda, por acompañarme desde siempre, quererme y apoyarme.

Karen Michelle Silva Vaca

Agradecimientos

A Dios, porque estoy segura de que sin Él mis fuerzas no serían suficientes en fin de alcanzar mis objetivos, me ha sostenido y restaurado cuando el camino se volvía complejo.

A mi madre, Paulina, de no ser por ella mi crecimiento académico y personal sería más difícil. Gracias por ser la mejor mamá que pude desear, mejorando y construyéndonos juntas cada vez.

A Daniel, por el apoyo constante a mi madre y a mí, por no dejarnos solas y extender tu mano en el momento indicado.

A mis abuelitos, Hilda y José, por asumir roles más allá de los establecidos, por cuidarme y amarme como a una hija más. Les agradezco por siempre desear mi crecimiento profesional y mantenerse pacientes a la espera de mis logros.

A Vanessa, por su apoyo incondicional a lo largo de estos años. Por enseñarme a ser fuerte, responsable y decidida.

A Jonathan, por tu amor y paciencia. Gracias por cuidarme y nunca limitarme, por impulsarme a ser mejor y ser la fuerza cuando parecía que nada iba bien. Agradezco la acogida de tu familia, por hacerme sentir incluida y apreciada, con ustedes el camino resultó llevadero.

A mis amigos, Ale, Santi y Alphi, por acompañarme desde el día uno a cada rincón que tuve que ir y alegrarse por cada pequeño avance que conseguí.

A Fausto, por ser el mejor compañero que pude tener, porque cada reunión de estudio, risas y momentos compartidos me levantaron e hicieron querer continuar firme en búsqueda de este momento.

A Liz, Jeanneth, Pame, Massiel y Daya por su ayuda incondicional en el desarrollo de mi trabajo y su complicidad en las caídas y también en los festejos.

A la Mgs. Cristina Tello, por permitirme desarrollar mi trabajo de investigación bajo su asesoría, por compartir conmigo su conocimiento investigativo y también su calidez humana.

Por exigirme y ayudarme, por su confianza y cariño. Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, al Departamento Nacional de Protección Vegetal y al proyecto FONTAGRO ATN/RF 16678-RG, para la “Implementación de un sistema de alerta temprana para manejo preventivo sustentable del Tizón tardío de la papa (TT)”, por permitirme acceder a sus laboratorios y consolidar mis conocimientos y capacidades en el desarrollo de este trabajo. A los ingenieros Yolanda Leiton y Pablo Llumiquinga por guiarme en el desarrollo de la investigación, aconsejarme y apoyarme.

Al M. Sc. Petronio Gavilanez, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por sus correcciones y acompañamiento en este trabajo.

A mis mascotas, Lupita y Kratos, por mostrarme amor sincero e incondicional, por acompañarme en cada desvelo y por cuidarme.

A todas las personas que, con una palabra amable, un abrazo y con sus buenos deseos me brindaron paz y apoyo para lograr culminar esta etapa. A quienes me ayudaron a crecer personal y académicamente.

Karen Michelle Silva Vaca

Índice de Contenido

Resultado de análisis antiplagio.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Introducción.....	19
Planteamiento del problema	19
Justificación e importancia.....	20
Objetivos.....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos	22
Hipótesis.....	22
Capítulo II: Marco Teórico	23
Cultivos de papa.....	23
Taxonomía de la papa.....	23
Descripción botánica y características morfológicas	24
Cultivo de papa en Ecuador	24
Variedad Superchola.....	25

	10
Origen de la variedad	25
Características morfológicas y agronómicas	25
Reacción a enfermedades	25
Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>) (Mont.) de Bary	25
Características biológicas y morfológicas.....	26
Taxonomía del tizón tardío.....	27
Reproducción.....	27
Reproducción sexual	28
Reproducción asexual	28
Síntomas y signos de la enfermedad.....	29
Tallos y hojas de papa.....	29
Tubérculos de papa	30
Métodos de control	30
Aporque.....	30
Riego.....	30
Fertilización	31
Aplicación de fungicidas	31
Fungicidas	31
Fungicidas de contacto	32
Mandipropamid	33
Mancozeb.....	33

	11
Clorotalonil.....	33
Fungicidas sistémicos.....	34
Dimetomorf.....	35
Propamocarb.....	35
Cimoxanil.....	35
Metalaxil.....	36
Capítulo III: Materiales y Métodos.....	37
Colaboradores Científicos.....	37
Zona de estudio.....	37
Material de trabajo.....	37
Trabajo de campo y laboratorio.....	37
Recolección de incubación de material vegetal.....	37
Ensayo en placa de discos de hojas.....	39
Tratamiento con fungicidas de contacto.....	39
Tratamiento con fungicidas sistémicos.....	40
Métodos de evaluación.....	40
Porcentaje de incidencia de infección.....	40
Porcentaje de severidad de infección.....	40
Intensidad de esporulación.....	41
Concentración efectiva media (CE50).....	41
Determinación de sensibilidad de poblaciones de <i>P. infestans</i>	41

	12
Análisis estadístico.....	41
Factores de estudio.....	41
Provincias (P).....	41
Fungicidas (F).....	42
Dosis (D).....	42
Unidad experimental.....	43
Tratamientos.....	43
Diseño experimental.....	43
Capítulo IV: Resultados	45
Obtención de aislados de <i>P. infestans</i> de cultivos de papa infectados procedentes de las provincias de Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi	45
Determinación de la sensibilidad <i>in vivo</i> de poblaciones de <i>P. infestans</i> a los ingredientes activos Dimetomorf, Propamocarb, Metalaxil, Cimoxanil, Mandipropamid, Mancozeb y Clorotalonil.....	46
Análisis de varianza factorial de las variables incidencia de infección y severidad de infección.....	46
Variable: porcentaje de incidencia de infección.....	48
Pruebas post-hoc para la variable independiente.....	48
Interaction plot para cada variable independiente	53
Variable: porcentaje de severidad de infección	58
Pruebas post-hoc para cada variable independiente.....	58
Interaction plot para cada variable independiente	63

Variable: porcentaje de esporulación.....	70
Análisis de independencia para las frecuencias por fungicida:	70
Concentración efectiva media (CE50)	78
Comparación de la respuesta de sensibilidad entre las poblaciones del patógeno a los fungicidas	79
Capítulo V: Discusión	82
Obtención de aislados de <i>P. infestans</i> de cultivos de papa infectados procedentes de las provincias de Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi	82
Determinación de la sensibilidad <i>in vivo</i> de poblaciones de <i>P. infestans</i> a los ingredientes activos Dimetomorf, Propamocarb, Metalaxil, Cimoxanil, Mandipropamid, Mancozeb y Clorotalonil.....	83
Comparación de la respuesta de sensibilidad entre las poblaciones del patógeno a los fungicidas	90
Conclusiones.....	93
Recomendaciones	94
Bibliografía	95
Apéndices	108

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica de la papa</i>	23
Tabla 2 <i>Clasificación taxonómica de P. infestans</i>	27
Tabla 3 <i>Escala de Shattock para determinación de sensibilidad en P. infestans</i>	41
Tabla 4 <i>Codificación para los fungicidas utilizados</i>	42
Tabla 5 <i>Concentración por dosis para cada fungicida utilizado</i>	42
Tabla 6 <i>Esquema del ANOVA para la evaluación de sensibilidad de poblaciones de P. infestans a fungicidas</i>	44
Tabla 7 <i>Georreferenciación de los aislamientos obtenidos de las cuatro provincias</i>	45
Tabla 8 <i>ANOVA factorial de las variables incidencia y severidad</i>	46
Tabla 9 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para provincia en la evaluación de porcentaje de incidencia</i>	48
Tabla 10 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para dosis en la evaluación de porcentaje de incidencia</i>	50
Tabla 11 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para fungicidas en la evaluación de porcentaje de incidencia</i>	51
Tabla 12 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - dosis en la evaluación de porcentaje de incidencia</i>	54
Tabla 13 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - fungicida en la evaluación de porcentaje de incidencia</i>	56
Tabla 14 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para dosis en la evaluación de porcentaje de severidad</i>	59
Tabla 15 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para fungicidas en la evaluación de porcentaje de severidad</i>	60
Tabla 16 <i>Proporción de severidad en función de la provincia</i>	62

Tabla 17 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - dosis en la evaluación de porcentaje de severidad</i>	63
Tabla 18 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - fungicida en la evaluación de porcentaje de severidad</i>	66
Tabla 19 <i>Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción dosis - fungicida en la evaluación de porcentaje de severidad</i>	68
Tabla 20	72
Tabla 21 <i>Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Pichincha</i>	73
Tabla 22 <i>Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Tungurahua</i>	75
Tabla 23 <i>Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Cotopaxi</i>	76
Tabla 24 <i>Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Chimborazo</i>	78
Tabla 25 <i>Concentración efectiva media para cada ingrediente activo y comparación con la dosis comercial utilizada</i>	79
Tabla 26 <i>Porcentaje de crecimiento de <i>P. infestans</i> y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Pichincha</i>	80
Tabla 27 <i>Porcentaje de crecimiento de <i>P. infestans</i> y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Tungurahua</i>	80
Tabla 28 <i>Porcentaje de crecimiento de <i>P. infestans</i> y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Cotopaxi</i>	81
Tabla 29 <i>Porcentaje de crecimiento de <i>P. infestans</i> y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Chimborazo</i>	81

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Provincias de Ecuador productoras de papa en donde se tomaron muestras de plantas con tizón tardío.....</i>	38
Figura 2 <i>Representación del ensayo con discos de hojas en placa de cultivo celular</i>	43
Figura 3 <i>Proporción de incidencia de infección en función de la provincia.....</i>	49
Figura 4 <i>Proporción de incidencia de infección en función de la dosis.....</i>	50
Figura 5 <i>Proporción de incidencia de infección en función de los fungicidas</i>	52
Figura 6 <i>Interacción de las provincias con las dosis para la variable dependiente incidencia .</i>	55
Figura 7 <i>Interacción de las provincias con los fungicidas para la variable dependiente incidencia</i>	58
Figura 8 <i>Proporción de severidad en función de la dosis.....</i>	59
Figura 9 <i>Proporción de severidad en función de los fungicidas</i>	61
Figura 10 <i>Proporción de severidad en función de la provincia.....</i>	62
Figura 11 <i>Interacción de las provincias con las dosis para la variable dependiente severidad.</i>	64
Figura 12 <i>Interacción de las provincias con los fungicidas para la variable dependiente severidad.....</i>	67
Figura 13 <i>Interacción de las dosis con los fungicidas para la variable dependiente severidad.</i>	69
Figura 14 <i>Porcentajes de esporulación por fungicida a partir de datos de frecuencia</i>	71
Figura 15 <i>Porcentajes de esporulación por fungicida en Pichincha a partir de datos de frecuencia.....</i>	73
Figura 16 <i>Porcentajes de esporulación por fungicida en Tungurahua a partir de datos de frecuencia.....</i>	74
Figura 17 <i>Porcentajes de esporulación por fungicida en Cotopaxi a partir de datos de frecuencia.....</i>	76
Figura 18 <i>Porcentajes de esporulación por fungicida en Chimborazo, a partir de datos de frecuencia.....</i>	77

Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta de cultivo de importancia mundial que produce altos rendimientos de alimentos con valor nutricional en forma de tubérculos. En la producción de papa, una de las principales enfermedades que amenaza el rendimiento es el oomiceto *Phytophthora infestans*, que causa el tizón tardío. La aplicación de fungicidas es una opción de manejo eficaz para controlar el tizón tardío de la papa, además estos compuestos son la herramienta más antigua utilizada contra la enfermedad, por ello en la presente investigación se evaluó la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas. Se utilizaron fungicidas de contacto y fungicidas sistémicos en tres diferentes dosis frente a aislamientos de *P. infestans* obtenidos de Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo. Se evaluó la incidencia y severidad de infección, así como la esporulación del oomiceto para cada fungicida y dosis aplicada, además se calculó la concentración efectiva media (CE50). Los fungicidas de contacto o preventivos resultaron ser los más eficientes al momento de controlar la enfermedad, es decir no se encontró alta resistencia a estos en las poblaciones de *P. infestans* estudiados. Las poblaciones del patógeno tomadas de Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo presentaron resistencia a los fungicidas sistémicos cimoxanil, dimetomorf, propamocarb y metalaxil. Es necesario un manejo integrado de control para *P. infestans* en fin de mantener niveles bajos de infección, disminuir el daño a la salud humana e impacto ambiental, y reducir el riesgo de resistencia a los agroquímicos.

Palabras clave: *Phytophthora infestans*, incidencia, severidad, esporulación, CE50, sensibilidad, resistencia.

Abstract

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a globally important crop that produces high yields of food with nutritional value in the form of tubers. In potato production, one of the main diseases that threatens yield is the oomycete *Phytophthora infestans*, which causes late blight. The application of fungicides is an effective management option for controlling potato late blight, and these compounds are the oldest tool used against the disease. Therefore, this research evaluated the sensitivity to fungicides of populations of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary isolated from potato crops (*Solanum tuberosum* L.), using a disk plate assay. Contact and systemic fungicides were used at three different doses against isolates of *P. infestans* obtained from Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, and Chimborazo. The incidence and severity of infection, as well as the oomycete sporulation for each fungicide and applied dose, were evaluated, and the median effective concentration (EC50) was calculated. Contact or preventive fungicides were found to be the most efficient in controlling the disease, meaning there was no high resistance to them in the populations of *P. infestans* studied. The populations of the pathogen taken from Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, and Chimborazo showed resistance to systemic fungicides cimoxanil, dimethomorph, propamocarb, and metalaxyl. An integrated control management is necessary for *P. infestans* to maintain low levels of infection, reduce damage to human health and environmental impact, and reduce the risk of resistance to agrochemicals.

Keywords: *Phytophthora infestans*, incidence, severity, sporulation, EC50, sensitivity, resistance.

Capítulo I: Introducción

Planteamiento del problema

La papa, debido a su adaptabilidad, su capacidad de rendimiento y su contribución nutricional, tiene una larga historia de ayudar a aliviar la inseguridad alimentaria y contribuir a mejorar los ingresos de los hogares en tiempos de crisis y expansión de la población; se estima que al año se producen aproximadamente 341 millones de toneladas del tubérculo a nivel mundial (Devaux et al., 2021).

La producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) se ve afectada por varios factores bióticos y abióticos. Entre las limitaciones bióticas, las enfermedades fúngicas son los principales factores que afectan la productividad, así como la calidad del cultivo. Algunos ejemplos son el tizón tardío, el marchitamiento por fusarium, el marchitamiento bacteriano y los nematodos (Pacilly et al., 2016). Entre esas enfermedades, el tizón tardío causado por el oomiceto *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más importantes y graves de la papa en muchos países del mundo, las pérdidas ocasionadas por este patógeno van del 11-16% de la producción mundial lo que se puede traducir en pérdidas de alrededor de 4 millones de hectareas cultivadas y 3 billones de dólares (Cucak et al., 2021; Kassaw et al., 2021).

En Ecuador se produce 275 000 t/año de papa, siendo el tercer cultivo transitorio más importante del país y el octavo rubro con mayor producción. Según INEC (2021), en 2019 se sembraron más de 20 000 hectareas de papa, sin embargo debido a la afectación de los cultivos, principalmente con *P. infestans*, alrededor de 1000 hectareas se perdieron, mermando la producción y economía de los agricultores (Monteros & Delgado, 2021).

Las principales provincias productoras de papa se encuentran en la región Sierra. Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua y Azuay encabezan las cifras de producción del tubérculo (INEC, 2021) y son las provincias que entre los principales problemas fitosanitarios de sus cultivos de papa han declarado al tizón tardío (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

Entre la variedad de plaguicidas utilizados en Ecuador, el 33,63% corresponde a fungicidas, y 1,26% de estos son utilizados en los cultivos de papa. Naturalmente las provincias productoras de papa hacen uso de estos agroquímicos para hacer frente al tizón tardío ocasionado por *P. infestans* y los ingredientes activos más utilizados son: Dimetomorf, Cimoxanil, Mancozeb, Clorotalonil, Fosfito de K, Amectotradin y Mandipropamida (Yépez, 2016). Sin embargo, debido a la naturaleza virulenta muy diversa de *P. infestans*; la resistencia al oomiceto desaparece en una década. Se han evaluado varios fungicidas, incluidos los de contacto, sistémicos y translaminares; pero, el patógeno ha mostrado una notable capacidad de cambio con respecto al genotipo de la papa y los fungicidas, debido principalmente al mal uso de los productos lo que sin duda es perjudicial para la supervivencia de los cultivos de papa, para el medio ambiente y para el agricultor (Lal et al., 2018).

Estos inconvenientes tanto en la resistencia del patógeno como la afección humana y ambiental por el mal uso de fungicidas, acrecenta la necesidad de un estudio específico para determinar los ingredientes activos y dosis eficaces contra *P. infestans*, cuidando estos aspectos asociados a la producción de papa en el Ecuador.

Justificación e importancia

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta de cultivo de importancia mundial que produce altos rendimientos de alimentos con valor nutricional en forma de tubérculos. Ha sido el foco de un estudio sustancial debido a su uso como cultivo alimenticio básico y como fuente potencialmente significativa de compuestos de interés (Millam, 2006).

Cada año los cultivos de papa se ven afectados por la enfermedad de tizón tardío, padecimiento que no deja de lado el ámbito económico ni de salud debido a que los agricultores en su afán de preservar sus plantas aplican fungicidas de manera excesiva lo que sin duda conlleva elevados gastos en productos químicos, afecciones sanitarias y perjuicios al medio ambiente, sin embargo, uno de los problemas más significativos es la resistencia

generada por los fitopatógenos a los ingredientes activos de cada producto, lo que disminuye su efectividad y por ende no se puede controlar la enfermedad.

Los sistemas agrícolas ven afectada su competitividad y sostenibilidad debido al fenómeno de resistencia de los fitopatógenos a los fungicidas. La posible continuidad de pérdida de control por parte de los fungicidas contra los hongos y oomicetos que controlan da relevancia a la necesidad de vigilar constantemente los niveles de sensibilidad a estos ingredientes activos en los cultivos que son utilizados. Esta investigación pretende apoyar a un manejo integrado del tizón tardío de la papa, a partir del monitoreo de los niveles de sensibilidad de aislamientos del patógeno a fungicidas, como una herramienta, para dar recomendaciones técnicas.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la sensibilidad a fungicidas de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aisladas de cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mediante ensayo en placa de discos de hojas.

Objetivos Específicos

- Obtener aislados de *P. infestans* de cultivos de papa infectados procedentes de las provincias de Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi.
- Determinar la sensibilidad *in vivo* de poblaciones de *P. infestans* a los ingredientes activos Dimetomorf, Propamocarb, Metalaxil, Cimoxanil, Mandipropamid, Mancozeb y Clorotalonil.
- Comparar la respuesta de sensibilidad entre las poblaciones del patógeno a los fungicidas.

Hipótesis

La sensibilidad de los diferentes aislados de *P. infestans in vivo*, es variable estadísticamente en función de su procedencia, de los fungicidas utilizados y su dosis.

Capítulo II: Marco Teórico

Cultivos de papa

La papa se ha considerado tradicionalmente un cultivo de seguridad alimentaria, lo que generalmente implica el gran volumen de un producto alimenticio confiable, que fue crítico en las épocas precolombinas en América del Sur. Incluso hoy en día, la papa se considera un cultivo que proporciona alimento a los pobres, particularmente en las regiones en desarrollo. La calidad nutricional de la patata, la amplia gama de agroecosistemas donde puede crecer, y su alta producción de materia seca y nutrientes por unidad de superficie hacen de este cultivo la mejor opción para la seguridad alimentaria y nutricional de grandes sectores de la población humana, tanto en las regiones en desarrollo como en las desarrolladas del mundo (Ortiz & Mares, 2017).

El cultivo de papa mantiene requerimientos climáticos y edáficos específicos, se lleva a cabo en altitudes de 2600 a 3600 msnm; el desarrollo se da a 15-20°C, inicio de tuberización a < 15°C y tuberización a 14-20°C. Requiere de suelos bien drenados, con profundidad de 30-35 cm y abundante materia orgánica (INIAP, 2014).

Taxonomía de la papa

La clasificación taxonómica de la papa, según ITIS (2020), se indica a continuación:

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la papa

Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Subfilo	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Familia	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia	<i>Solanoideae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>

Descripción botánica y características morfológicas

Solanum tuberosum, es una planta herbácea perenne de la familia de las solanáceas que se cultiva por sus tubérculos comestibles. La planta de la papa tiene un tallo ramificado y hojas dispuestas alternativamente que consisten en folíolos que son de tamaño y forma desiguales. Los folíolos pueden ser ovalados y las hojas alcanzan hasta 10-30 cm de longitud y 5-15 cm de ancho. La planta de papa produce flores blancas o azules y los tubérculos amarillos crecen bajo tierra y generalmente se ubican en los primeros 25 cm del suelo. Los tubérculos pueden variar en color de amarillo a rojo o morado dependiendo de la variedad. Las raíces son pequeñas protuberancias en la base del brote. En algunas variedades son numerosas; en otros, menos frecuentes. Las raíces suelen ser llamativas por la concentración de color a su alrededor, sus puntas generalmente permanecen blancas, sin embargo, en algunas variedades, las puntas son de color. Las plantas pueden alcanzar más de 1 m de altura y sobreviven únicamente en condiciones específicas de temporada (Canadian Food Inspection Agency of Canada, 2013; Whittemore, 2018)

Cultivo de papa en Ecuador

En Ecuador, el cultivo de papas se realiza a aproximadamente 2800 msnm. Se distinguen tres regiones muy marcadas que se dedican a la producción del tubérculo: al norte Imbabura y Carchi, al centro Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, finalmente al sur, Azuay, Cañar y Loja (INIAP, 2014). Según datos del INEC (2021) en su informe del año 2020, en el país se cultivaron 19,7 millones de hectáreas de papa y se destaca un crecimiento de 26% en relación con el año anterior. Carchi y Chimborazo abarcan juntas el 57% de la superficie total de la cosecha, pero prepondera Carchi con 46% de la producción nacional. La colección más grande de variedades de papa en el país se encuentra en INIAP con 550 variedades, sin embargo, en el territorio se siembran únicamente alrededor de 30 y una de las más cultivadas es Superchola (INIAP, 2014).

Variedad Superchola

Superchola es una de las variedades más consumidas en el país. Es apetecida para consumo fresco y procesada. Los tubérculos de la variedad son de tamaño mediano y forma ovalada. Es característica de esta papa la piel rosada y lisa, con zonas meristemáticas superficiales y pulpa amarilla (CIP, 2017).

Origen de la variedad

Según CIP (2017), la variedad se obtuvo a partir de los cruzamientos de (*Curipamba negra* x *Solanum demissum*) x (clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada), fue puesta a disposición de agricultores/consumidores en 1984 y se consiguió gracias al proceso llevado a cabo por el señor Germán Bastidas.

Características morfológicas y agronómicas

La planta de esta variedad posee varios tallos verdes con pintas violetas, presenta follaje frondoso con hojas de color verde, flores moradas y los tubérculos deben mantener reposo de 80 días. Las mejores zonas para su cultivo son en el norte y centro del país a una altitud aproximada de 2800 a 3600 m con un rendimiento de 30t/ha (CIP, 2017).

Reacción a enfermedades

A pesar de ser una variedad mejorada, Superchola presenta susceptibilidad al oomiceto *Phytophthora infestans*, medianamente al hongo *Puccinia pittieriana* y es tolerante al nematodo *Globodera pallida*.

Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Mont.) de Bary

La producción agrícola sostenible enfrenta el desafío de mantener altos rendimientos para satisfacer las necesidades alimentarias de una población mundial en aumento y, al mismo tiempo, limitar su propio impacto ambiental. En la producción de papa, una de las principales enfermedades que amenaza el rendimiento es el oomiceto *Phytophthora infestans*, que causa el tizón tardío (De Vrieze et al., 2018).

Phytophthora infestans ha sido un modelo vegetal para investigaciones de fitopatología y estudios moleculares para determinar la interacción entre el patógeno y el huésped. Debido a su papel en la hambruna de la papa en Irlanda, este oomiceto sigue siendo el patógeno más costoso de la papa y es una plaga importante del tomate. El costo anual del control de tizón tardío de la papa oscila en \$10 mil millones, y la intervención química representa del 10 al 20% del costo total de producción (Leesutthiphonchai et al., 2018). El manejo del tizón tardío es un desafío continuo a pesar de las mejoras en la educación de los productores, el saneamiento, el control químico y el conocimiento del patógeno y el hospedador (CIP, 2021).

Los estudios de población de *P. infestans* en la región andina se han centrado en Perú y Ecuador. Estos dos países se consideran el centro de origen de la papa (Ames & Spooner, 2008), por lo que algunos autores han propuesto que esta región también es el centro de origen del patógeno *P. infestans* (Gómez et al., 2007). En Ecuador, el patógeno ha mostrado bajos niveles de diversidad y su estructura poblacional está fuertemente influenciada por la preferencia de hospedante. Cada linaje clonal de *P. infestans* está asociado con un grupo de hospedadores diferente: linaje US-1 con pepino dulce (*S. muricatum*), EC-1 con papa (*S. tuberosum*), EC-2 con especies de solanáceas silvestres (*S. brevifolium* y *S. tetrapetalum*) y EC-3 con tomate de árbol (*S. betaceum*). (Forbes et al., 1997; Ordoñez et al., 2000; Cárdenas et al., 2011).

Características biológicas y morfológicas

Phytophthora infestans fue nombrado por primera vez *Botrytis infestans* por MJ Berkeley en la década de 1840. En 1876, Anton de Bary cambió el nombre del patógeno a *Phytophthora infestans* (de Bary, 1876). El nombre se deriva del griego: *Phyto* = planta, *phthora* = destructor. *Phytophthora infestans* es un miembro de los oomicetos, un grupo de organismos a los que a veces se hace referencia como "mohos de agua". Los oomicetos no son hongos verdaderos, pero están más estrechamente relacionados con las algas pardas. El

micelio es hialino y cenocítico (pocos septos) y los núcleos son diploides. La mayoría de los hongos son haploides (CAB International, 2021).

Las especies de *Phytophthora* pueden identificarse fácilmente por las hifas septadas con una ligera constricción en la base de sus ramas inicialmente en ángulo recto; por los esporangios ovoides, piriformes a limoniformes producidos en sucesión en un esporangióforo no diferenciado, típicamente ramificado simpodialmente, de crecimiento indeterminado; por la diferenciación de zoosporas maduras, biflageladas lateralmente dentro del esporangio propiamente dicho; por su oogonio globoso con oospora esférica única con periplasma delgado o nulo y por configuración anteridial siendo anfiginosa y/o paraginosa (Ho, 2018).

Taxonomía del tizón tardío

La clasificación taxonómica de *P. infestans*, según ITIS (2021), se indica a continuación:

Tabla 2

Clasificación taxonómica de P. infestans

Reino	Chromista
Filo	Oomycota
Clase	Oomycetes
Orden	Peronosporales
Familia	<i>Pythiaceae</i>
Género	<i>Phytophthora</i>
Especie	<i>Phytophthora infestans</i>

Reproducción

Phytophthora infestans es un patógeno de rápida evolución, muy adaptable y puede experimentar reproducción tanto asexual como sexual. En la mayor parte del mundo, la parte asexual del ciclo de vida es el sistema de reproducción dominante que da lugar a linajes clonales dominantes, el dominio clonal ocurre cuando un solo HSC genera un linaje maduro que supera a los linajes de otros HSC (espora), o cuando un clon de HSC supera en número a

los demás. Sin embargo, también se indica que la recombinación sexual del patógeno del tizón tardío se produce en los países nórdicos (Sjöholm, 2012).

Reproducción sexual. Cuando los individuos del tipo de apareamiento opuesto (A1 y A2) entran en contacto físico, cada talo produce estructuras sexuales (anteridios y ovogonias). La meiosis es gametangial, es decir, dos gametangios se ponen en contacto, pero no se fusionan. Después de la fertilización, el oogonio se convierte en una oospora (espora sexual) que puede sobrevivir a condiciones adversas mejor que las hifas o los esporangios. Después de un período de latencia (semanas o meses), las oosporas se vuelven capaces de germinar. La germinación en el laboratorio puede ocurrir en agar agua a 18 °C en presencia de luz azul. Está claro que las oosporas pueden sobrevivir al invierno en las zonas templadas del norte (CAB International, 2021), pero aún no se conocen las condiciones precisas que estimulan la germinación. Las oosporas germinan a través de un esporangio germinal. Este esporangio luego puede germinar a través de zoosporas (espora asexual) o mediante un tubo de germen. Si el patógeno entra en contacto con una planta huésped, puede iniciar la fase asexual (Schumann & D'Arcy, 2018).

Reproducción asexual. Las infecciones suelen comenzar a partir de esporangios que germinan directamente a través de un tubo germinativo o indirectamente a través de zoosporas. Las zoosporas pueden nadar durante algunos minutos, después de lo cual se enquistan y germinan. Un tubo germinativo penetra en un huésped vivo y establece una relación casi biotrófica durante los primeros días en una interacción compatible. Si la interacción es incompatible, las células huésped mueren rápidamente (respuesta hipersensible). En la interacción compatible, las lesiones se vuelven visibles a los pocos días; el tiempo exacto depende de la temperatura y la resistencia del host. En condiciones óptimas (18-22 °C), las infecciones pueden ser visibles en menos de 3 días. Dentro de uno o dos días después de que la lesión se vuelve visible por primera vez, el patógeno es capaz de esporular. Se requieren temperaturas moderadas (10-25 °C) y

condiciones muy húmedas (humedad de las hojas o 100% de humedad relativa) para la esporulación. Los esporangios se originan en los esporangióforos dentro de las 8-12 h en condiciones favorables. Los esporangios se separan durante los cambios de humedad relativa y pueden ser capturados en las corrientes de aire; también se pueden dispersar por salpicaduras. Pueden sobrevivir durante horas en atmósferas insaturadas cuando están protegidas de la radiación solar (Mizubuti & Fry, 2000), por lo que son posibles distancias de dispersión de cientos de metros o kilómetros (Porter & Johnson, 2004). Los esporangios que aterrizan en un huésped pueden germinar y penetrar en las células vivas en 2 h en condiciones favorables. En la mayoría de los casos, sin embargo, la germinación y la penetración requieren más de 2 h. En condiciones favorables, se pueden producir grandes cantidades de esporangios a partir de una sola lesión (más de 100.000 esporangios por lesión); por tanto, la enfermedad puede progresar rápidamente en condiciones frescas y húmedas (CAB International, 2021). Los tubérculos de papa (que sobreviven en el suelo, sobreviven en almacenamiento o sobreviven en vertederos u otros lugares para los materiales desechados) son muy importantes en la supervivencia de la fase asexual de *P. infestans*. Los tubérculos infectados que están protegidos de la congelación en las zonas templadas frías albergan *P. infestans* viables. Si se plantan estos tubérculos o si se producen plantas a partir de estos tubérculos, el patógeno puede esporular nuevamente en condiciones favorables e iniciar una nueva serie de generaciones asexuales (Cooke et al., 2011).

Síntomas y signos de la enfermedad

Los síntomas del tizón tardío en papas y tomates pueden variar, dependiendo de la edad de la lesión y del entorno inmediato en el que se mantuvo (12 h previas).

Tallos y hojas de papa. El tizón tardío de la papa se identifica por lesiones negruzcas/marrones en hojas y tallos que pueden ser pequeñas al principio y parecer empapadas de agua o tener bordes cloróticos, pero se expanden rápidamente y toda la hoja se vuelve necrótica. En condiciones de humedad, *P. infestans* produce esporangios y

esporangióforos en la superficie del tejido infectado y la esporulación blanca resultante puede verse en los márgenes de las lesiones en las superficies abaxiales (inferiores) de las hojas. Como se acumulan muchas lesiones, toda la planta puede destruirse en cuestión de días después de que se observan las primeras lesiones si no se utilizan las aplicaciones de fungicidas adecuadas (Schumann & D'Arcy, 2018; Yuen, 2021).

Tubérculos de papa. Los tubérculos de papa pueden infectarse en el campo cuando los esporangios se lavan de las lesiones en el follaje y entran en el suelo. Las infecciones generalmente comienzan en las grietas de los tubérculos, los ojos o las lenticelas. Los tejidos de los tubérculos infectados son de color marrón cobrizo, rojizo o violáceo. La esporulación puede ocurrir en la superficie de los tubérculos infectados almacenados o en pilas desechadas. Los tubérculos infectados a menudo son invadidos por bacterias de pudrición blanda que rápidamente convierten las papas sanas adyacentes en una masa podrida y maloliente que debe desecharse (CAB International, 2021; Yuen, 2021).

Métodos de control

El tizón tardío se controla eliminando las pilas desechadas y las papas contaminadas, utilizando prácticas adecuadas de cosecha, almacenamiento y aplicando fungicidas cuando sea necesario. Es importante el drenaje de aire para facilitar el secado del follaje todos los días y mantener prácticas integrales mantendrá, en lo posible, la mayor cantidad de cultivos sanos (Nuñez & Aegerter, 2019).

Aporque. El suelo se puede apocar alrededor de las plantas en la base. El aporque ayuda en el control temprano de las malas hierbas y minimiza las infecciones de los tubérculos por los esporangios que arrastran las hojas de las plantas infectadas al suelo (Olanya et al., 2009).

Riego. Es importante minimizar el tiempo que las hojas están mojadas para ayudar a prevenir la infección foliar. El riego debe programarse de manera que no se prolongue la duración del período de rocío nocturno, es decir, no se debe regar al final de la tarde, temprano

en la noche o por la mañana para permitir que las plantas se sequen. El riego excesivo también puede lavar parte del suelo aporcado de la base de las plantas, exponiendo los tubérculos a una mayor infección potencial (Lal et al., 2018).

Fertilización. La fertilización con nitrógeno excesivo aumenta el crecimiento y la cobertura del dosel, retrasa la madurez y puede reducir el rendimiento. La madurez tardía da como resultado más follaje expuesto a una posible infección durante más tiempo, lo que aumenta la probabilidad de que los tubérculos se infecten y aumenta el riesgo de tizón tardío (Schumann & D'Arcy, 2018).

Aplicación de fungicidas. Las aplicaciones de fungicidas son un medio importante para el manejo del tizón tardío, particularmente en áreas húmedas. Los cultivares resistentes al tizón tardío y la aplicación periódica de fungicidas limitan las tasas de crecimiento de patógenos. Ambos son efectivos y se pueden usar juntos. En algunos agroecosistemas, se encuentran disponibles cultivares con niveles muy altos de resistencia y estos por sí solos son suficientes para suprimir el tizón tardío. En otros lugares, estos cultivares altamente resistentes no están disponibles y también se requieren fungicidas (Yellareddygar et al., 2019).

Fungicidas

En los sistemas de producción de papa, los fungicidas a menudo son necesarios para controlar el tizón tardío, al igual que en los sistemas convencionales (Seidl et al., 2015). La disponibilidad de fungicidas eficaces ha permitido el uso continuo de cultivares susceptibles. Como resultado, se usan cantidades masivas de estos químicos en aquellos ambientes en los que el tizón tardío es problemático, típicamente en sistemas de producción dependientes de la lluvia. Solo en los Estados Unidos, en 2001, se utilizaron más de 2000 toneladas de fungicidas para suprimir esta enfermedad y se debe considerar además las implicaciones económicas (Fry, 2008). Además, se desconocen los efectos ambientales de esta gran cantidad de fungicida. Tanto por razones económicas como ambientales, se buscan mejoras en la eficiencia del uso de fungicidas a través de pronósticos. Para el control del tizón

tardío de las hojas y el tallo, se utiliza una amplia gama de fungicidas sistémicos, translaminares y de contacto. Los productos más comúnmente utilizados en Ecuador son los fungicidas de contacto de tipo ditiocarbamato como mancozeb, propineb y el compuesto translaminar cimoxanil, aunque estos se venden en muchas formulaciones diferentes (Kromann et al., 2009).

Fungicidas de contacto

Los fungicidas de contacto se aplican generalmente a las superficies de las hojas (Tuttle, 2004). Tienen una acción preventiva al matar o inhibir hongos o esporas de hongos antes de que el micelio pueda crecer y desarrollarse dentro de los tejidos de la planta. Sin embargo, una vez establecida la infección, es posible que este fungicida no tenga ninguna función. Por tanto, este tipo de fungicidas solo se pueden utilizar como protectores (Zubrod et al., 2019).

Los compuestos de cobre inorgánicos como la mezcla de Burdeos, el carbonato de cobre, el azufre inorgánico en forma de azufre elemental y azufre de cal son algunos ejemplos de los principales fungicidas de contacto disponibles para la protección de las plantas (García et al., 2003). Dentro de los fungicidas de contacto orgánicos, por ejemplo, los dialquilditiocarbamatos, que incluyen los fungicidas tiram, ferbam y ziram, son un grupo de fungicidas con un alto papel en el control mundial de enfermedades de las plantas ya que generalmente son más efectivos y menos tóxicos que los compuestos inorgánicos (p. ej., fungicidas de azufre y cobre) (Hunsche et al., 2007). Estos inhibidores multisitio tienen varios tipos de acción tóxica en las células fúngicas, como la quelación de metales, la formación de disulfuros mixtos y el transporte de metales pesados a través de las membranas. Los dialquilditiocarbamatos inhiben una amplia gama de enzimas fúngicas, pero el sistema pirúvico deshidrogenasa es particularmente sensible a estos fungicidas (Días, 2012).

Otro grupo de fungicidas de contacto orgánicos ampliamente utilizados son los etilenbisditiocarbamatos, que incluyen zineb, maneb, metiram y mancozeb. El modo de acción

de este tipo de fungicida difiere del de los dialquilditiocarbamatos: se transforman en etilendiisotiocianato, que inactiva grupos tiol de enzimas y metabolitos en las células fúngicas (Días, 2012).

Mandipropamid. Mandipropamid es un nuevo fungicida de la clase mandelamida desarrollado por Syngenta Crop Protection, Inc. para el control de patógenos foliares de oomicetos en una variedad de cultivos que incluyen *Plasmopara viticola* en uvas, *Phytophthora infestans* en papas y tomates y *Pseudoperonospora cubensis* en cucurbitáceas. Su modo de acción es interferir con la biosíntesis de la pared celular en oomicetos (Lamberth et al., 2008).

Mancozeb. Mancozeb es un fungicida de ditiocarbamato clasificado por el Comité de Acción de Resistencia a Fungicidas (FRAC) en el grupo de modo de acción M (acción en múltiples sitios). El mancozeb en sí no es fungicida, pero el bisisotiocianato de etileno sulfuro (EBIS) y el etileno bisisotiocianato (EBI) que se generan después de su exposición al agua y a la luz ultravioleta son tóxicos activos que interfieren con los grupos sulfidriolo de enzimas que involucran al menos seis procesos bioquímicos dentro del citoplasma y las mitocondrias de células fúngicas (Yang et al., 2019). El efecto directo de mancozeb sobre los procesos bioquímicos centrales dentro del hongo da como resultado la inhibición de la germinación de las esporas. Mancozeb muestra las características de un típico fungicida protector de sitios múltiples, ya que después de la aplicación en la planta objetivo, el compuesto permanece en la superficie de la hoja y no penetra a través de la cutícula donde puede ocurrir la redistribución sistémica (Gullino et al., 2010).

Clorotalonil. El clorotalonil es un plaguicida protector no sistémico de amplio espectro que se utiliza principalmente como fungicida para el control de enfermedades foliares fúngicas de cultivos hortícolas, de campo y ornamentales. También se usa como protector de la madera, agente antimoho, bactericida, microbicida, algicida, insecticida y acaricida (EPA, 1999). El mecanismo general de acción del clorotalonil se asemeja a los fungicidas triclorometil sulfenilo en que las células tratadas acumulan grandes concentraciones de fungicida; las reacciones

involucran tioles de bajo y alto peso molecular, con la formación de derivados fungicidas de glutatión; y la toxicidad reside en última instancia en la inhibición de enzimas dependientes de tiol (Tillman et al., 2004).

Fungicidas sistémicos

Un fungicida sistémico es un compuesto que se transloca fácilmente como tal en la planta, haciendo que los tejidos penetrados sean tóxicos para los hongos (Ayesha et al., 2021). Este tipo de fungicidas pueden matar el hongo después de que el micelio ha penetrado en el parénquima del tejido vegetal, deteniendo la dispersión o infección dentro de la planta (García et al., 2003). Los fungicidas sistémicos se pueden utilizar como protectores, erradicantes o ambos. Son el tipo de fungicida desarrollado más recientemente y el más prometedor para el futuro. Sin embargo, dado que los fungicidas sistémicos generalmente tienen un sitio de acción muy específico en el hongo objetivo, los hongos pueden desarrollar fácilmente resistencia a ellos si no se manejan adecuadamente (Días, 2012).

Los fungicidas sistémicos comprenden un amplio grupo de compuestos con varios modos de acción. Por ejemplo, el grupo más grande e importante de fungicidas sistémicos utilizados para controlar las enfermedades fúngicas de las plantas es la dicarboximida. El modo de acción de este fungicida parece estar relacionado con la inhibición de la biosíntesis de triglicéridos en los hongos. Los benzimidazoles son un grupo de fungicidas orgánicos de acción sistémica que también se utilizan de forma extensiva en la agricultura. Estos tipos de compuestos controlan una amplia gama de hongos a tasas de aplicación relativamente bajas. Por ejemplo, el benomilo es uno de los benzimidazoles más eficaces y más utilizados en la protección de cultivos (García et al., 2003). Los benzimidazoles benomil, carbendazim, tiabendazol y el fenilcarbamato dietofencarb interfieren específicamente con la formación de microtúbulos, que funcionan en una variedad de procesos celulares, incluida la mitosis y el mantenimiento de la forma celular. Estos fungicidas se unen específicamente a subunidades proteicas llamadas tubulina y evitan su ensamblaje para formar microtúbulos (Días, 2012).

Dimetomorf. Dimetomorf es un fungicida de morfolina sistémico para uso en papas. Su mecanismo de acción es la inhibición de la síntesis de esterol (ergosterol). Las morfolinas son todas sistémicas con cualidades curativas y preventivas. El dimetomorf se desarrolló para el mildiú veloso, el tizón tardío, la pudrición de la corona y la raíz de las uvas, las papas, los tomates y otras verduras (EPA, 1998). Según investigaciones de amplio alcance y estudios del modo de acción, estos agentes no tienen efecto sobre la respiración de patógenos y la biosíntesis de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Estudios microscópicos y ultraestructurales que investigan la destrucción de la estructura endometrial de las células miceliales, indican que el dimetomorf puede interferir con la formación de la pared celular del patógeno (Hao et al., 2019).

Propamocarb. El clorhidrato de propamocarb es un fungicida que se utiliza para controlar *Pythium* spp. y *Phytophthora* spp. en césped, plantas ornamentales leñosas y herbáceas de exterior. El fungicida está formulado como un concentrado/líquido soluble. El hidrocloreuro de propamocarb se aplica como inmersión de raíz desnuda, empapado y aplicación foliar (EPA, 1995). Específicamente, se ha utilizado con éxito para controlar el tizón tardío de la papa donde las poblaciones resistentes al metalaxil presentaban un problema cada vez más grave. El modo de acción del propamocarb es interfiriendo selectivamente con la biosíntesis de las membranas de oomicetos (Hu et al., 2007).

Cimoxanil. Es un fungicida sistémico local etiquetado para el control del tizón tardío en papas, tomates y para el control del mildiú veloso en vegetales cucurbitáceos. Es un fungicida que es altamente soluble en agua y se considera bastante volátil. Tiene un bajo potencial de lixiviación a las aguas subterráneas, no persiste en los sistemas de suelo y agua. Cimoxanil es moderadamente tóxico para los mamíferos, puede causar efectos adversos en la reproducción / desarrollo y tiene un alto potencial de bioconcentración (EPA, 2019). Muestra un fuerte efecto inhibitor sobre el crecimiento del micelio (Zhang et al., 2021).

Metalaxil. Es un fungicida sistémico que se usa para controlar las enfermedades de las plantas causadas por los oomicetos u hongos del moho del agua. Se utiliza en muchos cultivos alimentarios, forrajeros y en cultivos no alimentarios, residenciales y de invernadero, como tabaco, plantas ornamentales, árboles, arbustos y enredaderas (EPA, 1994). La eficacia resultaba de la inhibición de la incorporación de uridina al ARN y de la inhibición específica de la ARN polimerasa-1 (Sukul & Spiteller, 2000), pero desde que el compuesto de fenilamida metalaxil se introdujo en la década de 1970 como fungicida sistémico contra los oomicetos, han surgido cepas de estos patógenos con resistencia al metalaxil, por lo que ahora la resistencia se considera un factor de caracterización de *P. infestans* y para el control del patógeno se requieren otros fungicidas (Matson et al., 2015).

Capítulo III: Materiales y Métodos

Colaboradores Científicos

- Director del proyecto: M. Sc. Petronio Gavilanes Quishpi, Docente-Investigador, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Directora externa del Proyecto: Mgs. Cristina Tello Torres, Investigadora, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Zona de estudio

La presente investigación fue financiada en gran parte por el Proyecto FONTAGRO ATN/RF 16678-RG – Alerta temprana para el manejo del tizón tardío de la papa y se realizó en el Laboratorio de Fitopatología perteneciente al Departamento Nacional de Protección Vegetal (DNPV) mismo que se encuentra en la instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglagua, dirección Panamericana Sur Km 1, vía Tambillo. Coordenadas: 00°22'S y 78°23'O.

Material de trabajo

Los 30 aislados de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary fueron obtenidos de cultivos de papa de las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua y se purificaron en las instalaciones del laboratorio de Fitopatología de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

Los 7 ingredientes activos de los fungicidas fueron proporcionados por el laboratorio de Fitopatología de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

Trabajo de campo y laboratorio

Recolección de incubación de material vegetal

Se recolectaron hojas de papa visiblemente afectadas por *P. infestans*. Las muestras fueron tomadas de algunas provincias productoras de papa, estas fueron: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua como se observa en la Figura 1. Las hojas infectadas fueron

colocadas en fundas plásticas etiquetadas y georreferenciadas, para su posterior transporte, en cadena de frío, al Laboratorio de Fitopatología en la Estación Experimental Santa Catalina – INIAP.

Figura 1

Provincias de Ecuador productoras de papa en donde se tomaron muestras de plantas con tizón tardío



Las muestras obtenidas fueron lavadas con agua destilada para retirar restos de tierra y colocadas en cámaras húmedas durante 2 días con el fin de propiciar la esporulación del oomiceto y la obtención de micelio. Una vez que se pudo observar el micelio en las hojas infectadas, en cámara de flujo laminar este fue aislado en cajas Petri con medio agar centeno con ayuda de una aguja estéril y se incubó 19 °C durante 15 días.

Después del tiempo de incubación se revisaron cada una de las cajas Petri y se determinó si hubo contaminación, de ser el caso se aislaron las muestras en nuevo medio de cultivo hasta conseguir aislamientos puros de *P. infestans* y posteriormente se multiplicó cada uno de ellos.

Reactivación de aislamientos y ajuste de concentración de esporangios

Posterior a conseguir aislamientos puros de *P. infestans* en cajas Petri en medio agar centeno y ser multiplicados, se lavaron cuatro cajas por aislamiento con 15 ml de agua destilada autoclavada cada una para obtener una suspensión de esporangios. La suspensión se mantuvo en refrigeración durante una hora. Durante el tiempo de espera se prepararon cámaras húmedas con hojas sanas de papa y se colocaron de 1 a 3 ml de la suspensión en el envés de cada foliolo para infectarlos. Las cámaras húmedas se mantuvieron en oscuridad a 19 °C durante 7 días. Al cabo del tiempo determinado se lavaron las hojas infectadas y con micelio visible para obtener una nueva suspensión de esporangios ajustados a una concentración de 20 000 esporangios/ml, se refrigeró durante una hora antes de su uso.

Ensayo en placa de discos de hojas

En placas de cultivo celular de 24 pocillos se colocó 1 ml de medio agar agua, posteriormente se obtuvieron discos de 15 mm a partir de hojas sanas de papa de la variedad Superchola de un mes de edad, obtenidas de invernadero. Cada disco se colocó en un pocillo de la placa de cultivo celular con el envés hacia la superficie, previo al tratamiento con los fungicidas.

Tratamiento con fungicidas de contacto. Las placas de cultivo celular previamente preparadas con los discos de hojas fueron rociadas con fungicidas de contacto/protectante con la ayuda de un aerógrafo. Para ello se prepararon diluciones del agroquímico, se determinaron tres dosis: alta (comercial), media (dilución 1/10) y baja (dilución 1/100) además se contó con un testigo que únicamente fue rociado con agua destilada esterilizada. Pasadas 24 horas de la aplicación de los fungicidas de contacto se inoculó el patógeno de igual forma con la ayuda del

aerógrafo. La suspensión de esporangios previamente obtenida a partir de la reactivación y ajustada a 20000 esporangios/ml se colocó en el aerógrafo y se rociaron los discos de hojas, cada placa de cultivo celular fue rociada con 2 ml de la suspensión. Las placas de cultivo celular fueron etiquetadas según el aislamiento, fungicida y dosis utilizados, se cerró herméticamente y se mantuvo en incubación a 19 °C con fotoperiodos de ocho horas.

Tratamiento con fungicidas sistémicos. Al contrario del tratamiento con fungicidas de contacto, las placas de cultivo celular destinadas para fungicidas sistémicos primero fueron inoculadas con el patógeno con ayuda del aerógrafo y 72 horas después se aplicaron los agroquímicos en sus diferentes dosis. De igual manera se incubaron a 19 °C con fotoperiodos de 8 horas.

Métodos de evaluación

Se evaluaron las variables: incidencia de infección, infección individual o severidad y la esporulación a los cinco días a partir de la inoculación, para el tratamiento con fungicidas de contacto y a los cinco días a partir de la aplicación del agroquímico, para el tratamiento con fungicidas sistémicos.

Porcentaje de incidencia de infección

Se evaluó si cada uno de los 24 discos de hoja de cada tratamiento presentaba o no infección, para ello se determinó como 0% la ausencia de infección y 100% presencia de infección causada por *P. infestans*.

Porcentaje de severidad de infección

Cada disco de hoja previamente establecido como infectado se evaluó para determinar el porcentaje de infección, teniendo un rango de 1-100%. Para fijar dicho porcentaje se tuvo entrenamiento previo en fin de tener mayor precisión de evaluación.

Intensidad de esporulación

Al igual que con la severidad, cada disco de hoja infectado fue evaluado para establecer el porcentaje de esporulación teniendo una escala de: 0% si no había presencia de esporulación, 50% si la esporulación era media y 100% si la esporulación era alta.

Concentración efectiva media (CE50)

Con los datos obtenidos del porcentaje de incidencia, se realizó el cálculo de la concentración media efectiva, mediante un análisis de regresión Logit.

Determinación de sensibilidad de poblaciones de *P. infestans*

Con base en el porcentaje de crecimiento se determinó la sensibilidad de las poblaciones evaluadas mediante la escala propuesta por Shattock (Shattock, 1988), como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

*Escala de Shattock para determinación de sensibilidad en *P. infestans**

Nivel de sensibilidad	Crecimiento respecto al testigo absoluto
Sensible	Menor que 10%
Intermedio	Entre 10 y 60%
Resistente	Mayor que 60%

Análisis estadístico

El ensayo se implementó bajo un Experimento Factorial ProvinciasxFungicidasxDosis (PxFxD) en Diseño Completamente al Azar.

Factores de estudio

Provincias (P). Se evaluaron treinta aislamientos de *P. infestans* provenientes de las provincias de Pichincha (7), Carchi (8), Chimborazo (7) y Cotopaxi (8).

Fungicidas (F). Se evaluaron siete ingredientes activos utilizados comúnmente para el control del tizón tardío de la papa y comunes entre los países integrantes del proyecto, se evaluaron a dosis comerciales y fraccionadas, Tabla 4.

Dosis (D). Se evaluaron tres dosis de cada fungicida. La dosis alta o comercial (D1), la dosis media (D2) y la dosis baja (D3), Tabla 5.

Tabla 4

Codificación para los fungicidas utilizados

Código	Fungicida
F1	Mandipropamid
F2	Mancozeb
F3	Clorotalonil
F4	Dimetomorf
F5	Propamocarb
F6	Cimoxanil
F7	Metalaxil

Nota: F1-F3 son fungicidas de contacto y F4-F7 fungicidas sistémicos.

Tabla 5

Concentración por dosis para cada fungicida utilizado

Fungicidas	Concentración [ppm]		
	D1	D2	D3
F1	25000	2500	250
F2	10000	1000	100
F3	10000	1000	100
F4	600	60	6
F5	10000	1000	100
F6	75000	7500	750
F7	3000	300	30

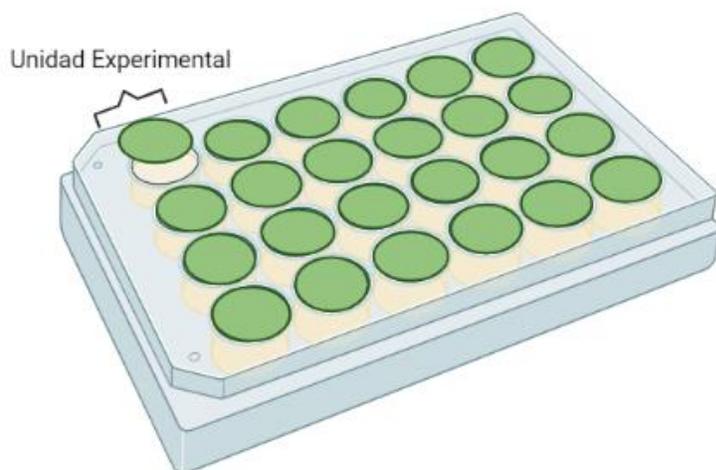
Nota: D1-dosis comercial; D2-una décima parte de la dosis comercial; D3-una centésima parte de la dosis comercial.

Unidad experimental

La unidad experimental estuvo representada por cada placa de cultivo celular con veinticuatro discos de foliolo de papa, de 15 mm de diámetro. El ejemplo de unidad experimental representada por la caja de cultivo celular se muestra en la Figura 3.

Figura 2

Representación del ensayo con discos de hojas en placa de cultivo celular



Tratamientos

Se tuvieron 84 tratamientos, resultantes de la interacción entre los factores de estudio y adicional se tuvo los testigos absolutos.

Diseño experimental

En la Tabla 6 se muestra el análisis de la varianza en un Experimento Factorial PxFxD en Diseño Completamente al Azar.

Tabla 6

Esquema del ANOVA para la evaluación de sensibilidad de poblaciones de P. infestans a fungicidas

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	83
Fuente de variación	Grados de libertad
Provincias (P)	3
Fungicidas (F)	6
Dosis (D)	2
PxD	6
PxF	18
DxF	12
PxDxF	36
Error	1932
Total	2015

Capítulo IV: Resultados

Obtención de aislados de *P. infestans* de cultivos de papa infectados procedentes de las provincias de Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi

Se recolectaron muestras de hojas de papa (*Solanum tuberosum* L.) que presentaban síntomas de tizón tardío o lancha ocasionados por *P. infestans*. Las hojas fueron tomadas de cultivos de papa pertenecientes a agricultores independientes que otorgaron el permiso para la actividad. Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi fueron las provincias visitadas debido a su importante producción de papa. La ubicación de cada aislamiento según la provincia, además de la codificación y número de dicha muestra se encuentra en la Tabla 7.

Tabla 7

Georreferenciación de los aislamientos obtenidos de las cuatro provincias

Aislamiento	Provincia	Lugar	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
P1		Cutuglagua	-0,369826	-78,555826
P2		Cutuglagua	-0,369818	-78,555857
P3		EESC	-0,369717	-78,555470
P4	Pichincha	EESC	-0,369660	-78,555373
P5		EESC	-0,366416	-78,474566
P6		Cuendina	-0,366418	-78,474564
P7		La Victoria	-0,366156	-78,474406
C1		Tanicuchí	-0,786390	-78,613451
C2		Tanicuchí	-0,788545	-78,613552
C3		Toacazo	-0,767544	-78,679278
C4	Cotopaxi	Toacazo	-0,768211	-78,679747
C5		Toacazo	-0,768210	-78,679748
C6		Toacazo	-0,768348	-78,679806
C7		Pujilí	-1,011432	-78,740714
C8		Pujilí	-1,011467	-78,740807
Ch1	Chimborazo	Tuntatacto	-1,527446	-78,721125

Aislamiento	Provincia	Lugar	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Ch2		Tuntatacto	-1,527634	-78,712413
Ch3		La Josefina	-1,563583	-78,720270
Ch4		La Josefina	-1,563193	-78,720385
Ch5		La Josefina	-1,564124	-78,725129
Ch6		San Andrés	-1,471256	-78,557943
Ch7		San Andrés	-1,472526	-78,160767
T1		Nuevo Rumihuaico	-1,170420	-78,548993
T2		Nuevo Rumihuaico	-1,168510	-78,549207
T3		Cunchibamba	-1,121542	-78,570675
T4	Tungurahua	Cunchibamba	-1,120405	-78,570910
T5		Chorrera	-1,141014	-78,581404
T6		Chorrera	-1,142520	-78,580137
T7		San Bartolomé	-1,134058	-78,601079
T8		San Bartolomé	-1,134846	-78,603685

Determinación de la sensibilidad *in vivo* de poblaciones de *P. infestans* a los ingredientes activos Dimetomorf, Propamocarb, Metalaxil, Cimoxanil, Mandipropamid, Mancozeb y Clorotalonil

Análisis de varianza factorial de las variables incidencia de infección y severidad de infección

El análisis de varianza para las variables dependientes: incidencia y severidad se muestra en la Tabla 8. Se encontró significancia estadística para los factores en estudio, así como en sus interacciones.

Tabla 8

ANOVA factorial de las variables incidencia y severidad

Fuentes de variabilidad	Gl	Incidencia	Severidad
		p	p
Provincia	3	<0,0001	<0,0001

Fuentes de variabilidad	Gl	Incidencia	Severidad
		p	p
Dosis	2	<0,0001	<0,0001
Fungicida	6	<0,0001	<0,0001
Provincia*Dosis	6	<0,0001	<0,0001
Provincia*Fungicida	18	0,0003	<0,0001
Dosis*Fungicida	12	0,6731	<0,0001
Provincia*Dosis* Fungicida	36	0,5907	<0,0001
Error	1932		
Total	2015		

- a. **Provincia:** Al obtener un $p < 0.05$ esto indica que hay diferencias altamente significativas entre las dosis para los resultados de severidad y esporulación.
- b. **Dosis:** Al obtener un $p < 0.05$ se asume que al menos una de las medias o proporciones es diferente al resto. Hay diferencias en los resultados de las variables dependientes del tipo de fungicida utilizado.
- c. **Fungicida:** Al obtener un $p < 0.05$ se asume que al menos una de las medias o proporciones es diferente al resto. Los aislamientos presentaron diferencias significativas para las variables dependientes.
- d. **Provincia*Dosis:** Al obtener un $p < 0.05$, existe evidencia de significancia estadística en la interacción entre la dosis y los fungicidas, por lo que, se aplicó una prueba post-hoc.
- e. **Provincia*Fungicida:** Al obtener un $p < 0.05$, existe evidencia de significancia estadística en la interacción entre la dosis y los aislamientos por lo que, se aplicó una prueba post-hoc.
- f. **Dosis*Fungicida:** Al obtener un $p < 0.05$ indica que existe evidente significancia estadística en la interacción entre los fungicidas y los aislamientos, para la severidad, pero no hay significancia estadística de esta interacción para la incidencia.

- g. Provincia*Dosis*Fungicida:** Al obtener un $p < 0.05$, existe evidencia de significancia estadística en la interacción entre las dosis, los aislamientos y los fungicidas, para la severidad y no para la incidencia.

Variable: porcentaje de incidencia de infección

Pruebas post-hoc para la variable independiente

- a) Provincia:** Prueba de Tukey al 5% de significancia.

En la Tabla 9, se muestra el resultado de la prueba de Tukey para las provincias sobre la incidencia. La prueba Tukey muestra que hay diferencias significativas entre las medias de las cuatro provincias. Las letras en la columna "Grupo" indican qué provincias tienen medias similares entre sí. Las provincias de Chimborazo y Tungurahua forman un grupo, lo que sugiere que las medias de estas dos provincias son similares y no difieren significativamente entre sí. Las provincias de Tungurahua y Cotopaxi también forman un grupo, lo que sugiere que las medias de estas provincias también son similares y no difieren significativamente entre sí. Sin embargo, la provincia de Pichincha es significativamente diferente de las otras tres provincias, ya que tiene una media mucho más alta y no forma parte de ningún grupo.

La Figura 3, indica la proporción de incidencia de infección para cada provincia.

Tabla 9

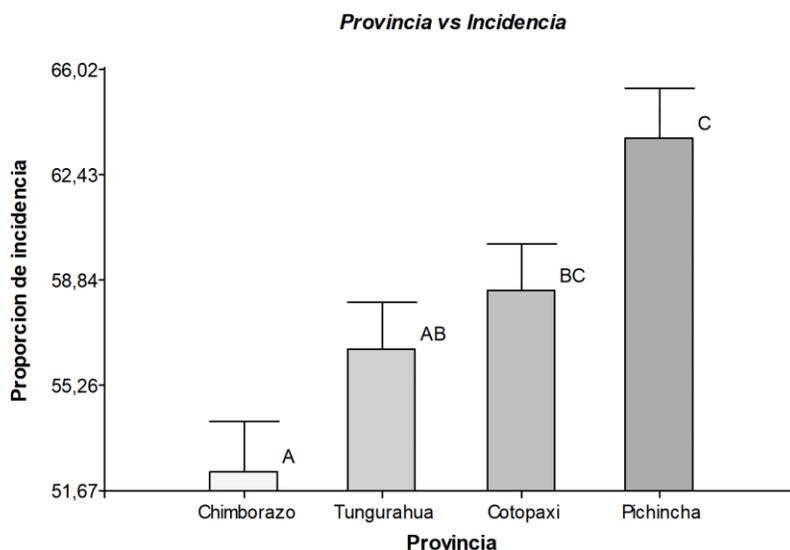
Análisis Tukey al 5% de significancia, para provincia en la evaluación de porcentaje de incidencia

Provincia	Medias	Grupo
Chimborazo	52,32	A
Tungurahua	56,50	A B
Cotopaxi	58,51	B C
Pichincha	63,66	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 3

Proporción de incidencia de infección en función de la provincia



b) Dosis: Prueba de Tukey al 5% de significancia.

En la tabla 10, se presenta la incidencia de infección en función de las dosis de fungicidas utilizados, junto con los grupos a los que pertenece cada dosis. Se utilizaron tres dosis diferentes de fungicidas: D1, D2 y D3, que corresponden a la dosis comercial, dosis media y dosis baja, respectivamente.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado mediante la prueba de Tukey, se encontraron diferencias significativas en la incidencia de infección entre las tres dosis utilizadas. La dosis D1 presentó la menor incidencia de infección con una media de 46,30 y se agrupó en el grupo A. La dosis D2 presentó una media de 57,70 y se agrupó en el grupo B, mientras que la dosis D3 presentó la mayor incidencia de infección con una media de 69,19 y se agrupó en el grupo C.

Estos resultados sugieren que el uso de la dosis comercial de fungicida (D1) puede ser efectivo para controlar la incidencia de infección por el patógeno evaluado, mientras que el uso

de dosis bajas (D3) podría no ser suficiente para reducir la incidencia de infección de *P. infestans* en la variedad de papa Superchola evaluada.

En la Figura 4 se observan las proporciones de incidencia para cada dosis de fungicida utilizada. Las barras indican el porcentaje de aislamientos que se infectaron.

Tabla 10

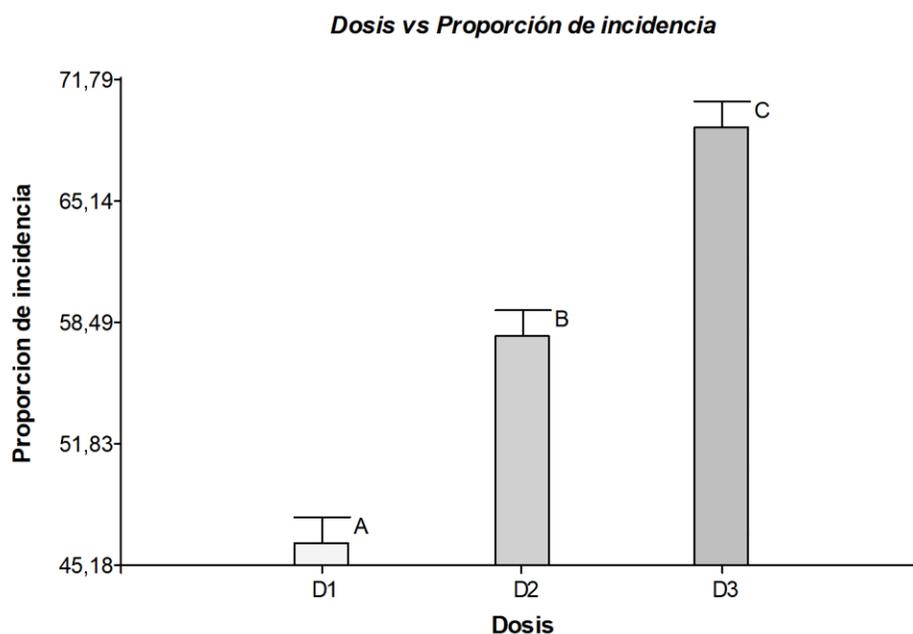
Análisis Tukey al 5% de significancia, para dosis en la evaluación de porcentaje de incidencia

Dosis	Medias	Grupo
D1	46,30	A
D2	57,70	B
D3	69,19	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

Figura 4

Proporción de incidencia de infección en función de la dosis



g

Nota: D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

c) Fungicida: Prueba de Tukey al 5% de significancia.

En la tabla 11, se pueden identificar tres grupos diferentes (A, B, C) de fungicidas en función de la media de incidencia de infección de *P. infestans* en cada tratamiento. El grupo A incluye solo al fungicida Mancozeb, con la menor media de incidencia de infección (38,94), lo que indica que *P. infestans* es más sensible a este fungicida en comparación con los otros. El grupo B incluye solo al fungicida Mandipropamid, con una media de incidencia de infección de 52,39, lo que sugiere que el patógeno es más sensible a este fungicida que a los otros fungicidas en el grupo C.

El grupo C incluye cinco fungicidas (Clorotalonil, Dimetomorf, Metalaxil, Propamocarb y Cimoxanil), todos con medias de incidencia de infección de *P. infestans* superiores a los fungicidas de los grupos A y B. Esto determina que *P. infestans* es menos sensible a estos fungicidas en comparación con los fungicidas del grupo A y B. Sin embargo, los valores medios de incidencia de infección de *P. infestans* para los fungicidas del grupo C difieren entre sí, lo que denota diferentes grados de sensibilidad del oomiceto a estos fungicidas. El fungicida con la media más alta de incidencia de infección fue Propamocarb (F5), con una media de 65,33, mientras que el fungicida con la media más baja fue Cimoxanil (F6), con una media de 58,91.

En la Figura 5, se observan los porcentajes de incidencia según el fungicida utilizado. El dato corresponde a la proporción de aislamientos infectados.

Tabla 11

Análisis Tukey al 5% de significancia, para fungicidas en la evaluación de porcentaje de incidencia

Fungicida	Medias	Grupo
F2	38,94	A
F1	52,39	B
F6	58,91	BC
F3	61,56	C
F4	63,47	C

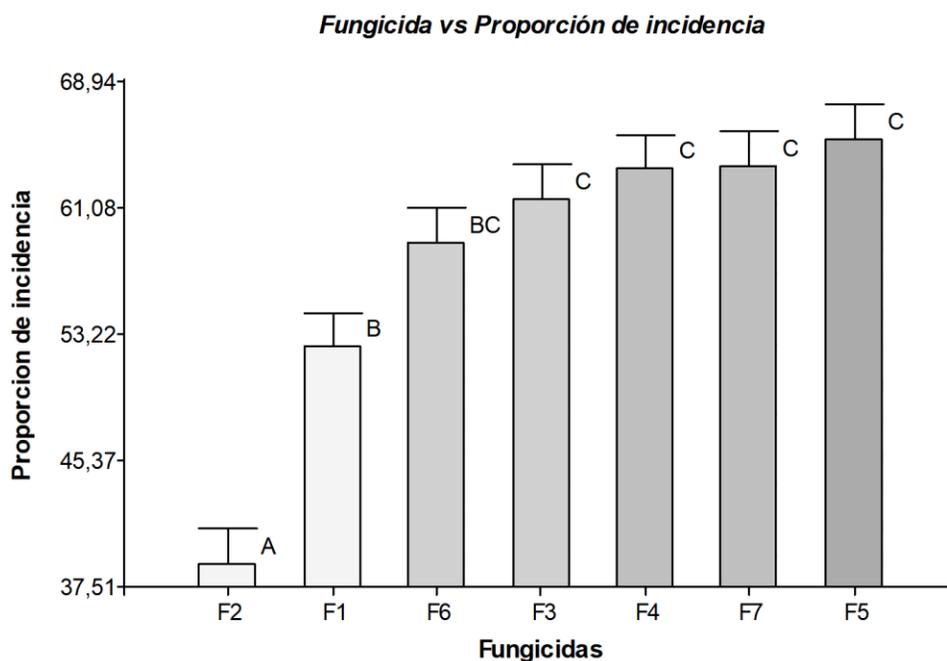
Fungicida	Medias	Grupo
F7	63,63	C
F5	65,33	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Figura 5

Proporción de incidencia de infección en función de los fungicidas



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Interaction plot para cada variable independiente

a) Provincia – dosis:

En la Tabla 12, se observa que en la dosis D1, la provincia de Chimborazo obtuvo la menor incidencia de enfermedad y se encuentra en el grupo A, lo que indica que hay diferencias estadísticamente significativas con las otras provincias. En la misma dosis, la provincia de Cotopaxi se encuentra en el grupo AB y la provincia de Tungurahua en el grupo BC, lo que significa que la incidencia de la enfermedad en estas dos provincias no difiere estadísticamente de la provincia de Chimborazo, pero sí difieren entre ellas.

En la dosis D2, la provincia de Chimborazo aumenta su incidencia de enfermedad y pasa al grupo BCD, mientras que Tungurahua también se encuentra en este grupo, pero con una media ligeramente superior. La provincia de Cotopaxi se encuentra en el grupo CDE, lo que indica que su incidencia es estadísticamente significativamente mayor que la de las provincias en los grupos BCD, pero no estadísticamente diferente de la provincia de Pichincha, que también se encuentra en este grupo.

En la dosis D3, la incidencia de enfermedad aumenta aún más para todas las provincias. En este caso, la provincia de Cotopaxi obtiene la mayor incidencia de enfermedad y se encuentra en el grupo E, que indica que difiere estadísticamente de todos los demás grupos. Las provincias de Chimborazo y Tungurahua también se encuentran en el grupo E, indicando que sus incidencias de enfermedad no difieren estadísticamente entre ellas, pero son mayores que las de las provincias en los grupos anteriores. La provincia de Pichincha también se encuentra en el grupo E, pero su incidencia de enfermedad no difiere estadísticamente de la provincia de Tungurahua. Se puede decir que las medias de incidencia de la enfermedad varían según la dosis y la provincia.

En la Figura 6, muestra cómo la relación entre la dosis y la incidencia difiere entre las cuatro provincias. Cada línea representa la relación entre la dosis y la incidencia para una provincia diferente. Se puede ver que en todas las provincias, la incidencia aumenta a medida

que aumenta la dosis, pero las tasas de aumento difieren entre las provincias. Por ejemplo, para la provincia de Chimborazo, el incremento de incidencia es más pronunciado a dosis bajas, mientras que en la provincia de Cotopaxi, la incidencia aumenta de manera más gradual en un rango más amplio de dosis. Además, es posible notar que la incidencia es generalmente más alta en la provincia de Pichincha en comparación con las otras tres provincias en todas las dosis evaluadas.

Tabla 12

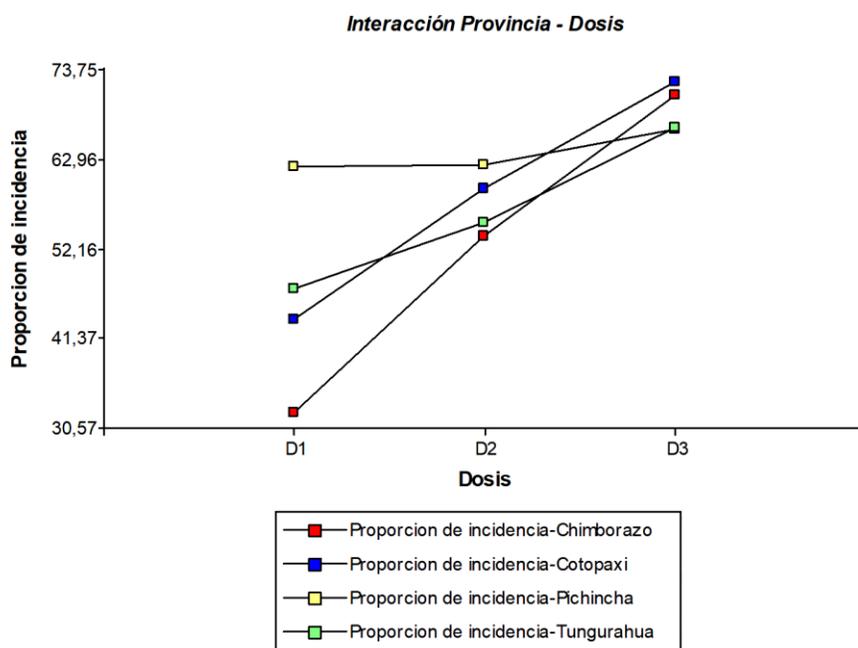
Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - dosis en la evaluación de porcentaje de incidencia

Provincia	Dosis	Medias	Grupo
Chimborazo	D1	32,48	A
Cotopaxi	D1	43,68	AB
Tungurahua	D1	47,32	BC
Chimborazo	D2	53,74	BCD
Tungurahua	D2	55,28	BCD
Cotopaxi	D2	59,52	CDE
Pichincha	D1	62,07	DE
Pichincha	D2	62,24	DE
Pichincha	D3	66,67	DE
Tungurahua	D3	66,89	DE
Chimborazo	D3	70,75	E
Cotopaxi	D3	72,32	E

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

Figura 6

Interacción de las provincias con las dosis para la variable dependiente incidencia



Nota: Dosis alta/comercial (D1), dosis media (D2), dosis baja (D3).

b) Provincia – fungicida:

La Tabla 13 presenta la prueba Tukey para la interacción de provincias y fungicidas para la incidencia. Para el caso de la provincia de Chimborazo, se tienen cuatro grupos: A, ABC, CDE, y DE. Las combinaciones de fungicida que pertenecen al grupo A son las que presentan una media significativamente menor que el resto de las combinaciones para la provincia de Chimborazo. En este caso, la combinación que pertenece al grupo A es mancozeb (F2). Para la provincia de Tungurahua, se tienen cuatro grupos: AB, BCDE, CDE, y DE. Las combinaciones de fungicida que pertenecen al grupo AB son las que presentan una media significativamente menor que el resto de las combinaciones para la provincia de Tungurahua. En este caso, la combinación que pertenece al grupo AB es F2.

Para la provincia de Cotopaxi, se tienen cuatro grupos: BCD, BCDE, CDE, y DE. Las combinaciones de fungicida que pertenecen al grupo BCD son las que presentan una media

significativamente menor que el resto de las combinaciones para la provincia de Cotopaxi. En este caso, la combinación que pertenece al grupo BCD es F2.

Para la provincia de Pichincha, se tienen tres grupos: BCDEF, CDEF, y EF. No hay combinaciones que presenten una media significativamente menor que el resto de las combinaciones para la provincia de Pichincha.

La tabla Tukey sugiere que la elección del fungicida adecuado puede tener un impacto significativo en el control del tizón tardío en diferentes provincias, y que hay variabilidad en la efectividad de los fungicidas dependiendo de la provincia en la que se utilicen.

En resumen, el análisis de grupos indica que la combinación F2 es la que presenta una media significativamente menor que el resto de las combinaciones en las provincias de Chimborazo, Tungurahua, y Cotopaxi. En la provincia de Pichincha, no hay combinaciones que presenten una media significativamente menor que el resto de las combinaciones. Para los demás fungicidas a medida que la incidencia de infección aumenta indica que la sensibilidad de *P. infestans* de cada región disminuye, sin embargo esta disminución no es estadísticamente diferente entre provincias al pertenecer al mismo grupo de clasificación.

En la Figura 7, se puede observar que las líneas correspondientes a cada provincia no son paralelas, lo que sugiere que hay una interacción significativa entre la provincia y el fungicida. Además, la magnitud de la diferencia entre las medias de cada provincia varía dependiendo del fungicida, lo que sugiere que la intensidad de la respuesta de la incidencia de la enfermedad depende de la combinación de provincia y fungicida.

Tabla 13

Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - fungicida en la evaluación de porcentaje de incidencia

Provincia	Fungicida	Medias	Grupo
Chimborazo	F2	21,23	A
Tungurahua	F2	32,99	AB

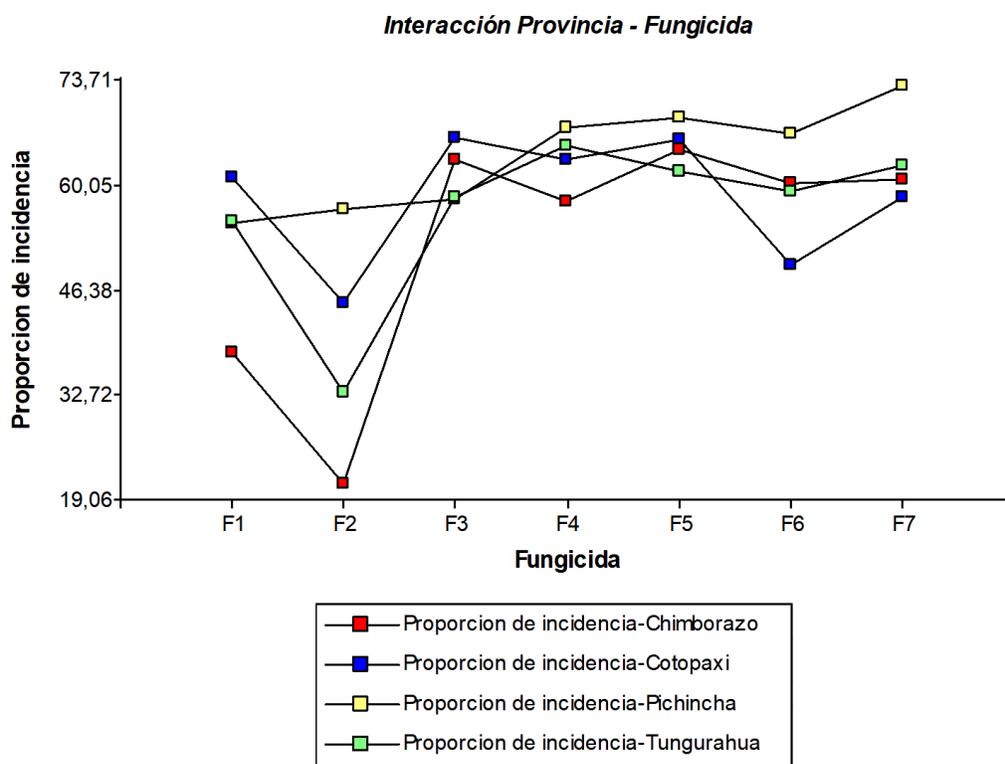
Provincia	Fungicida	Medias	Grupo
Chimborazo	F1	38,29	ABC
Cotopaxi	F2	44,79	BCD
Cotopaxi	F6	49,65	BCDE
Pichincha	F1	54,96	BCDEF
Tungurahua	F1	55,21	BCDEF
Pichincha	F2	56,75	CDEF
Chimborazo	F4	57,94	CDEF
Pichincha	F3	58,13	CDEF
Cotopaxi	F7	58,33	CDEF
Tungurahua	F3	58,51	CDEF
Tungurahua	F6	59,20	CDEF
Chimborazo	F6	60,12	CDEF
Chimborazo	F7	60,71	CDEF
Cotopaxi	F1	61,11	CDEF
Tungurahua	F5	61,81	DEF
Tungurahua	F7	62,67	DEF
Chimborazo	F3	63,29	DEF
Cotopaxi	F4	63,37	DEF
Chimborazo	F5	64,68	DEF
Tungurahua	F4	65,10	DEF
Cotopaxi	F5	65,97	DEF
Cotopaxi	F3	66,32	DEF
Pichincha	F6	66,67	DEF
Pichincha	F4	67,46	DEF
Pichincha	F5	68,85	EF
Pichincha	F7	72,82	F

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Figura 7

Interacción de las provincias con los fungicidas para la variable dependiente incidencia



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Variable: porcentaje de severidad de infección

Pruebas post-hoc para cada variable independiente

a) Dosis: Prueba de Tukey al 5% de significancia.

En la Tabla 14, de acuerdo con los resultados de la prueba Tukey la dosis D1 (comercial) se encuentra en el grupo A, la dosis D2 (media) en el grupo B y la dosis D3 (baja) en el grupo C. Al comparar las medias de severidad entre los grupos, se observa que la media de severidad en el grupo A (tratado con la dosis D1) es significativamente menor que las medias de severidad en los grupos B y C (tratados con las dosis D2 y D3, respectivamente). Asimismo, la media de severidad en el grupo B es significativamente menor que la media de

severidad en el grupo C. Esto indica que la dosis D1 es la más efectiva en reducir la severidad de *P. infestans*, seguida por la dosis D2 y finalmente por la dosis D3.

La Figura 8, indica visualmente los resultados del análisis Tukey. Se puede observar mediante las barras que efectivamente hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de severidad para cada dosis.

Tabla 14

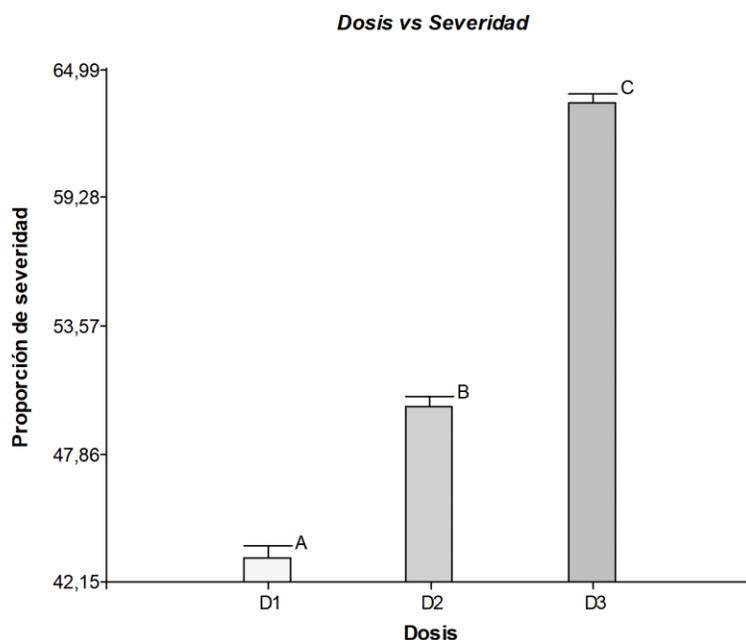
Análisis Tukey al 5% de significancia, para dosis en la evaluación de porcentaje de severidad

Dosis	Severidad	Grupos
D1	43,19	A
D2	49,94	B
D3	63,53	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

Figura 8

Proporción de severidad en función de la dosis



Nota: D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

b) Fungicidas:

La prueba Tukey presentada en la Tabla 15, muestra que hay diferencias significativas en la severidad de *P. infestans* tratada con 7 fungicidas diferentes. La media de severidad más baja fue observada en el fungicida F2 (42,42) seguido de los fungicidas F1 (47,32) y F3 (51,12). Esto sugiere que estos fungicidas fueron más efectivos en reducir la severidad de la enfermedad en comparación con los demás fungicidas evaluados. Además, cuando la media de severidad es menor, sugiere que los aislamientos de *P. infestans* fueron más sensibles a los fungicidas evaluados. Por lo tanto, los resultados indican que el fungicida F2 (Mandipropamid) fue el más efectivo para controlar la *P. infestans* en el estudio. En conclusión, según los resultados de la prueba Tukey, se observan diferencias significativas en la severidad de *P. infestans* entre los 7 fungicidas evaluados. El fungicida F2 fue el más efectivo en reducir la severidad de la enfermedad, seguido por los fungicidas F1 y F3. Por otro lado, el fungicida F7 presentó la mayor severidad en comparación con los demás fungicidas evaluados. Además, se encontraron grupos de fungicidas que presentan medias de severidad similares, por lo que podrían considerarse como opciones equivalentes para el control de *P. infestans*.

La Figura 9 indica en barras el porcentaje de severidad para cada fungicida y los grupos Tukey que indican diferencia entre las medias encontradas.

Tabla 15

Análisis Tukey al 5% de significancia, para fungicidas en la evaluación de porcentaje de severidad

Fungicidas	Severidad	Grupo
F2	42,42	A
F1	47,32	B
F3	51,12	C
F5	53,93	CD
F4	54,62	D
F6	56,16	D

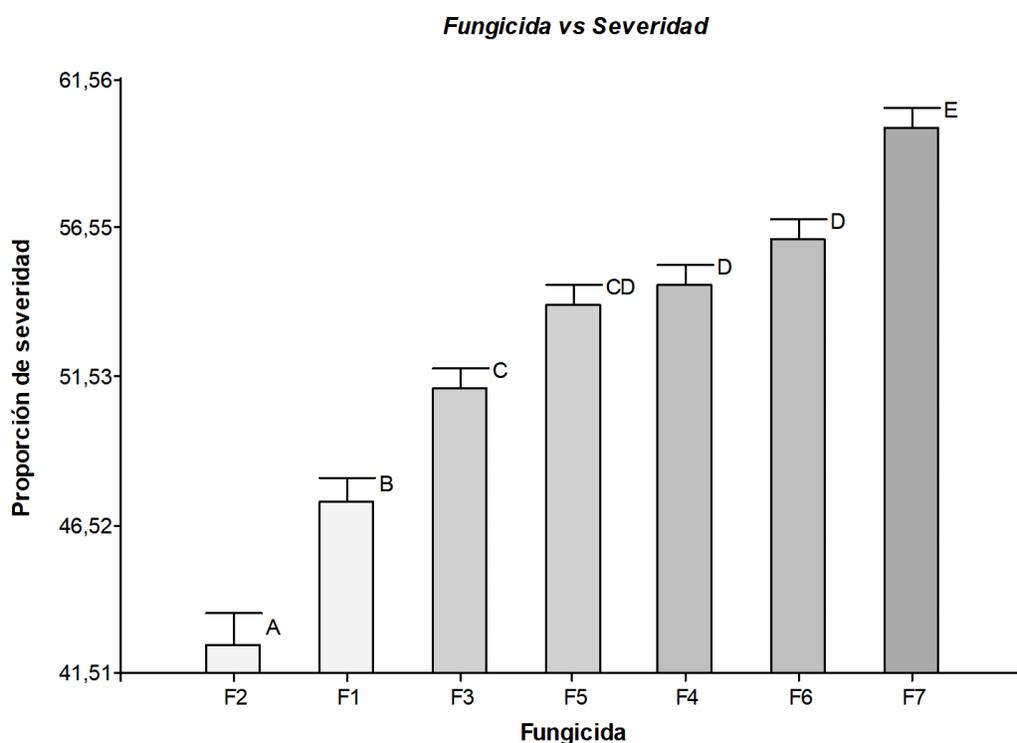
Fungicidas	Severidad	Grupo
F7	59,97	E

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Figura 9

Proporción de severidad en función de los fungicidas



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

c) Provincias:

La Tabla 16 indica que la media de severidad más baja fue observada en Chimborazo (47,55) seguida de Pichincha (47,58). Esto sugiere que la severidad de la enfermedad fue menor en estas dos provincias en comparación con Cotopaxi y Tungurahua. Además, se

encontraron dos grupos de provincias que presentan medias de severidad similares.

Chimborazo y Pichincha se agrupan juntas y Cotopaxi y Tungurahua pertenecen a grupos diferentes. Tungurahua presenta el mayor porcentaje de severidad, lo que podría indicar que los aislamientos pertenecientes a esas provincias son menos sensibles a los fungicidas que los de las otras provincias.

Tabla 16

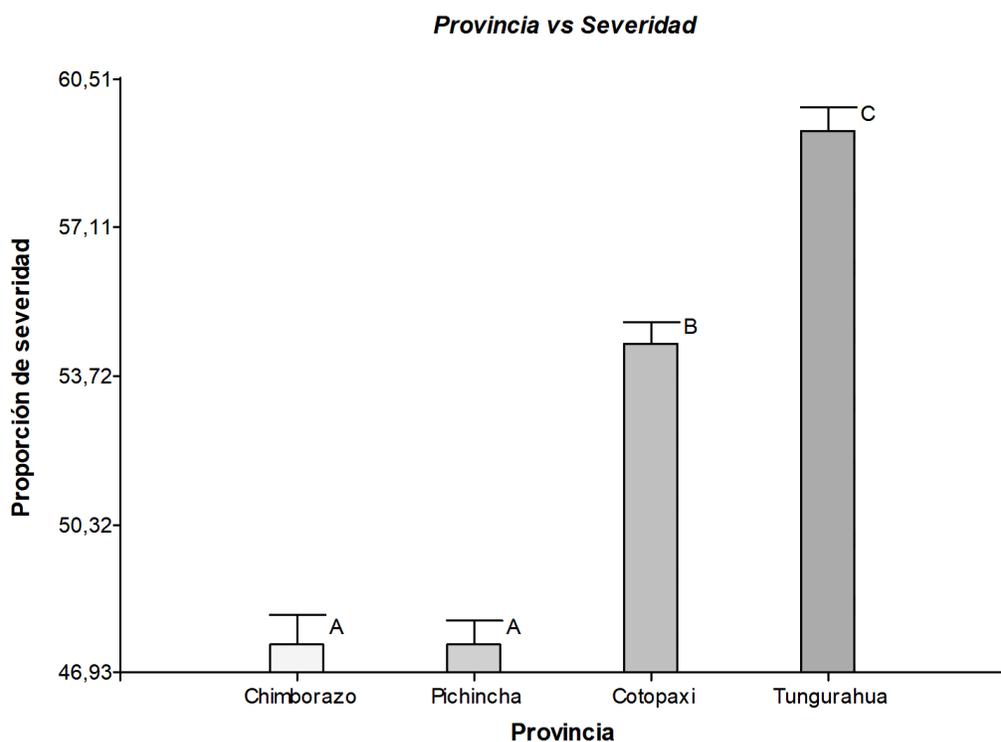
Proporción de severidad en función de la provincia

Provincia	Severidad	Grupo
Chimborazo	47,55	A
Pichincha	47,58	A
Cotopaxi	54,44	B
Tungurahua	59,32	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 10

Proporción de severidad en función de la provincia



Interaction plot para cada variable independiente

a) Provincia – dosis:

En base a los resultados de la prueba Tukey, en la Tabla 17 se pueden observar diferencias significativas en la severidad de *P. infestans* en función de la provincia y la dosis del fungicida utilizado. Se encontraron siete grupos diferentes según las medias de severidad, donde las letras A-G indican los grupos y letras compartidas entre dos grupos indican que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellos.

En general, se puede observar que la dosis más alta de fungicida (D1) tiene una eficacia mayor para controlar la severidad de *P. infestans* en todas las provincias evaluadas, mientras que la dosis más baja (D3) tiene la menor eficacia. Además, se observa que las provincias de Chimborazo y Pichincha presentan los valores más bajos de severidad en las dosis más altas (D1 y D2), mientras que Chimborazo y Tungurahua presentan una menor eficacia en la dosis más baja (D3).

En conclusión, estos resultados sugieren que las provincias tienen respuestas diferentes a las dosis de fungicida utilizadas y que se podrían considerar diferentes estrategias de manejo de la enfermedad según las condiciones locales en cada región.

En la Figura 11, se resume la tabla anterior mostrando la interacción entre provincia y dosis.

Tabla 17

Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - dosis en la evaluación de porcentaje de severidad

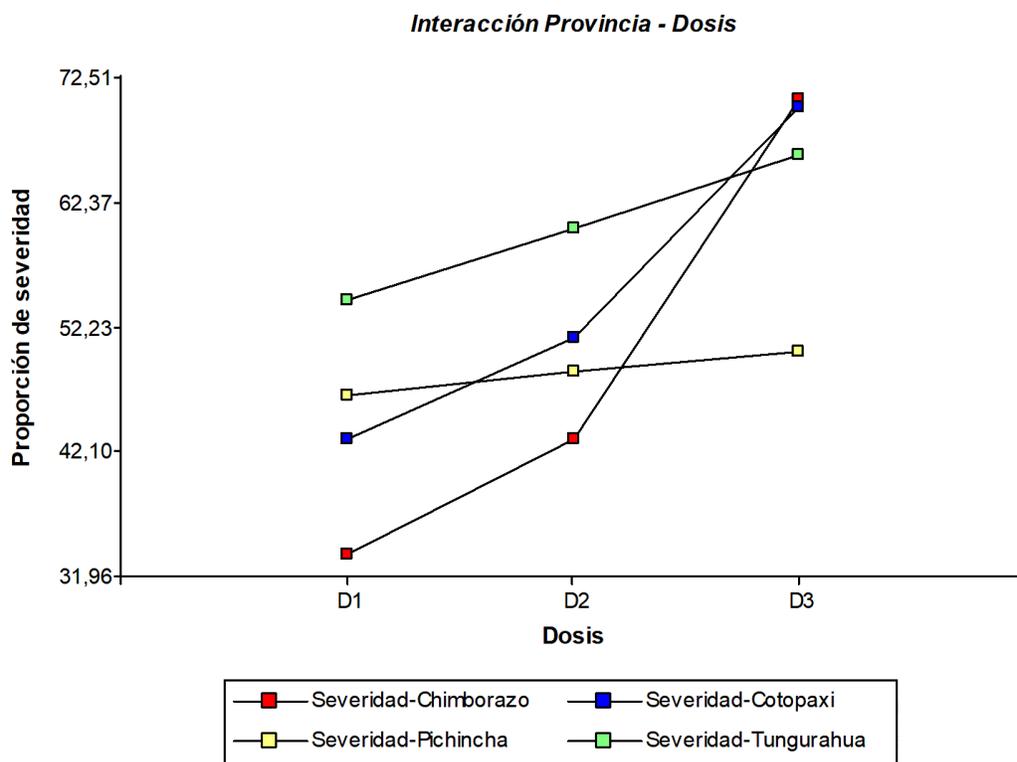
Provincia	Dosis	Medias	Grupo
Chimborazo	D1	32,21	A
Chimborazo	D2	41,95	B
Cotopaxi	D1	42,49	B
Pichincha	D1	45,51	BC
Pichincha	D2	47,60	CD

Provincia	Dosis	Medias	Grupo
Pichincha	D3	49,62	CDE
Cotopaxi	D2	51,05	DE
Tungurahua	D1	52,56	E
Tungurahua	D2	59,15	F
Tungurahua	D3	66,24	G
Chimborazo	D3	68,48	G
Cotopaxi	D3	69,77	G

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

Figura 11

Interacción de las provincias con las dosis para la variable dependiente severidad



Nota: D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja.

b) Provincia – fungicida:

Al observar la Tabla 18 de la prueba Tukey, se puede identificar que la combinación que presenta la media más alta de severidad es la provincia de Tungurahua con el fungicida F7 (Metalaxil), con un valor de 65,57. Por otro lado, la combinación que presenta la media más baja de severidad es la provincia de Pichincha con el fungicida F1 (Mandipropamid), con un valor de 36,43.

Es importante tener en cuenta que, aunque estas combinaciones presentan los valores extremos de la tabla, hay varias combinaciones que no son significativamente diferentes entre sí y, por lo tanto, podrían ser igualmente importantes en términos de control de la severidad de *P. infestans*. Por ello se pueden identificar algunos patrones en los datos; el fungicida F1 (Mandipropamid) tiene valores más bajos de severidad en general, ya que aparece en los grupos más bajos en varias combinaciones de provincia y la provincia de Tungurahua parece tener valores más altos de severidad en general, ya que aparece en los grupos más altos en varias combinaciones de fungicida.

La Figura 12, sugiere que hay diferencias significativas en la severidad de *P. infestans* entre las provincias y los fungicidas. Por ejemplo, las líneas para Pichincha y Chimborazo parecen estar más cercanas a la línea cero (sin severidad) en comparación con las líneas para Cotopaxi y Tungurahua. Además, las líneas para Tungurahua parecen ser más altas en general, lo que sugiere una mayor severidad de *P. infestans* en esta provincia. La gráfica sugiere que hay una interacción significativa entre la provincia y el fungicida en términos de severidad, esto se debe a que las líneas correspondientes a cada provincia tienen pendientes diferentes y no son paralelas entre sí, lo que indica que el efecto del fungicida sobre la severidad de *P. infestans* depende de la provincia en la que se utiliza.

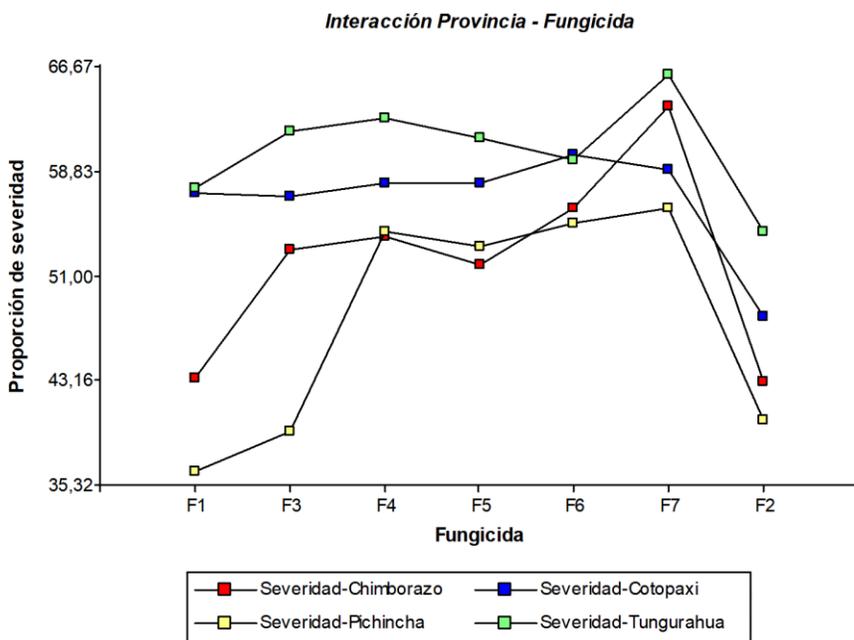
Tabla 18

Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción provincia - fungicida en la evaluación de porcentaje de severidad

Provincia	Fungicida	Medias	Grupo
Pichincha	F1	36,43	A
Chimborazo	F2	37,20	A
Pichincha	F3	38,91	AB
Pichincha	F2	39,67	AB
Chimborazo	F1	40,70	ABC
Cotopaxi	F2	43,78	ABCD
Chimborazo	F4	45,12	BCDE
Chimborazo	F5	47,85	CDEF
Chimborazo	F3	48,38	DEFG
Tungurahua	F2	49,01	DEFGH
Chimborazo	F6	52,21	EFGHI
Pichincha	F5	53,13	FGHIJ
Cotopaxi	F5	54,18	FGHIJK
Pichincha	F4	54,47	FGHIJK
Pichincha	F6	54,49	FGHIJK
Cotopaxi	F3	55,85	GHIJKL
Pichincha	F7	55,95	GHIJKL
Cotopaxi	F1	56,02	GHIJKL
Tungurahua	F1	56,13	HIJKL
Cotopaxi	F4	56,27	HIJKL
Cotopaxi	F7	57,02	IJKL
Cotopaxi	F6	57,93	IJKLM
Tungurahua	F6	59,99	JKLM
Tungurahua	F5	60,55	JKLM
Tungurahua	F3	61,34	KLM
Chimborazo	F7	61,34	KLM
Tungurahua	F4	62,61	LM
Tungurahua	F7	65,57	M

Figura 12

Interacción de las provincias con los fungicidas para la variable dependiente severidad



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

c) Dosis – fungicida:

En la Tabla 19, se puede observar que hay una interacción significativa entre la dosis y el fungicida, ya que las medias varían considerablemente en función de la combinación. En términos generales, se puede observar que a medida que la dosis disminuye, la media de severidad tiende a aumentar. Para la dosis más alta (D1), el fungicida F2 (Mancozeb) tiene la media más baja de severidad (33,28) y pertenece al grupo A, mientras que el fungicida F7 (Metalaxil) tiene la media más alta (53,62) y pertenece al grupo FGH. Para la dosis media (D2), el fungicida F2 sigue teniendo la media más baja de severidad (39,10), pero el fungicida F7 (Metalaxil) tiene la media más alta (58,29). Para la dosis más baja (D3), el fungicida F2 sigue teniendo la media más baja de severidad (54,87), pero el fungicida F6 (Cimoxanil) tiene la

media más alta (70,85). En general, se puede concluir que la elección del fungicida y la dosis adecuada son críticas para el control efectivo de la severidad de *P. infestans*.

En la Figura 13 de interacción se puede observar que las líneas no son paralelas, lo que sugiere que hay una interacción entre la dosis y el fungicida en la respuesta de severidad de *P. infestans*. Además, se puede observar que la forma de la curva de respuesta cambia según el fungicida utilizado. Por lo tanto, la elección del fungicida y la dosis utilizada pueden afectar significativamente la severidad de la enfermedad. Gráficamente se puede ver que Mancozeb tiene la menor media de severidad para todas las dosis y lo contrario para Metalaxil con las medias más altas.

Tabla 19

Análisis Tukey al 5% de significancia, para la interacción dosis - fungicida en la evaluación de porcentaje de severidad

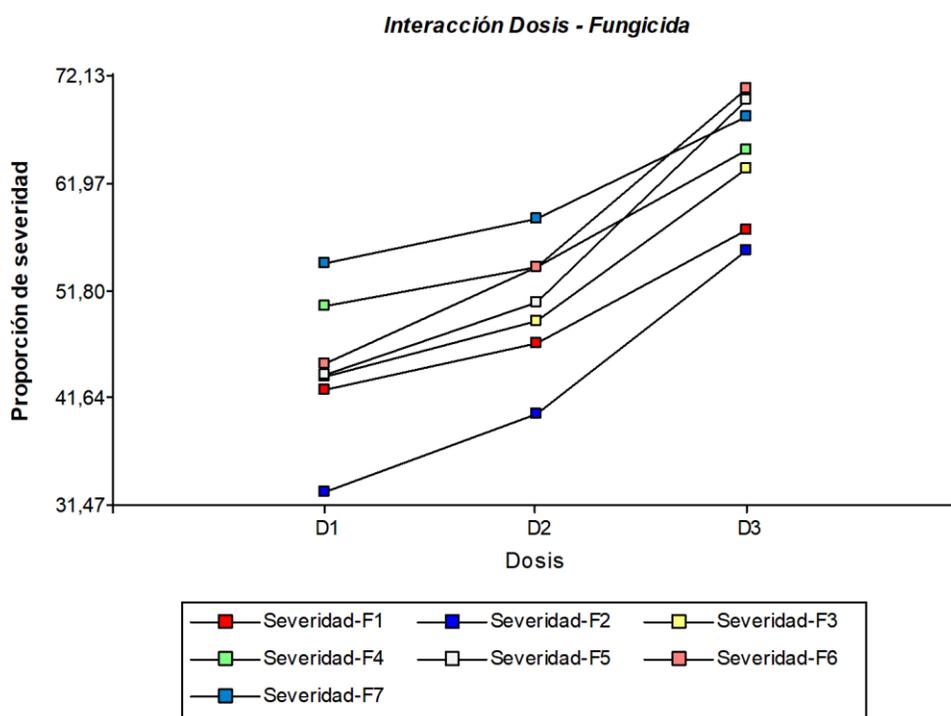
Dosis	Fungicida	Medias	Grupo
D1	F2	33,28	A
D2	F2	39,10	AB
D1	F1	41,22	BC
D1	F5	42,06	BCD
D1	F3	43,09	BCD
D1	F6	43,53	BCD
D1	F4	45,54	CDE
D2	F1	45,66	CDE
D2	F3	47,88	DEF
D2	F5	50,87	EFG
D1	F7	53,62	FGH
D2	F4	53,68	FGH
D2	F6	54,08	FGH
D3	F2	54,87	GH
D3	F1	55,09	GH
D2	F7	58,29	HI

Dosis	Fungicida	Medias	Grupo
D3	F3	62,39	IJ
D3	F4	64,63	IJK
D3	F7	68,01	JK
D3	F5	68,86	K
D3	F6	70,85	K

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja. Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Figura 13

Interacción de las dosis con los fungicidas para la variable dependiente severidad



Nota: D1: dosis alta o comercial, D2: dosis media, D3: dosis baja. Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Variable: porcentaje de esporulación

Para la variable de esporulación se realizó un análisis de independencia con tablas de contingencia para observar el número de veces que para cada fungicida, con la dosis alta o comercial (D1), la esporulación fue nula (0), media (50) o alta (100). Además una prueba Chi-cuadrado para determinar si existe una relación significativa entre las variables categóricas, es decir, si los valores observados de esporulación son significativamente diferentes de los valores esperados bajo la hipótesis nula de que no hay relación entre los fungicidas utilizados y el nivel de esporulación. Así también el análisis se hizo por provincia. Las tablas de frecuencia se presentan en el Apéndice 1.

a) Análisis de independencia para las frecuencias por fungicida:

En la Figura 14 se puede observar los porcentajes de esporulación para cada nivel, es decir el porcentaje de aislamientos que con el respectivo fungicida no esporularon, tuvieron esporulación media o alta. La gráfica se obtuvo a partir de los datos recopilados de la tabla de frecuencias. Con la aplicación de Mancozeb (F2) se obtuvo el menor porcentaje de esporulación alta con 0,42% mientras que con Clorotalonil (F3) la esporulación alta alcanzó 9,86%, siendo el más alto entre todos los fungicidas. Para la esporulación media Propamocarb (F5) tuvo el porcentaje más alto con 16,25% y Mancozeb (F2) el porcentaje más bajo con 1,94%. Finalmente, en cero esporulación Mancozeb (F2) destaca nuevamente al tener el porcentaje más alto de ausencia de esporulación con 97,64%, por el contrario Metalaxil (F7) tuvo el porcentaje más bajo de cero esporulación cuando se aplicó la dosis comercial con un 75%.

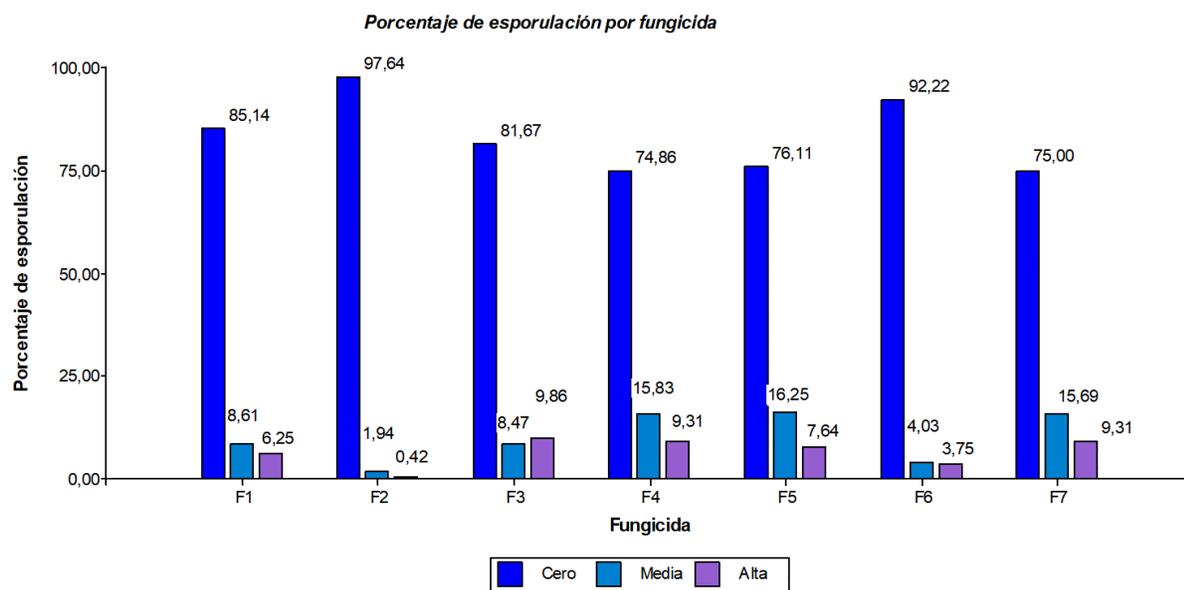
La Tabla 20, muestra la prueba Chi-cuadrado realizada posteriormente a la obtención de la tabla de frecuencias (Apéndice 1). El estadístico de Chi-cuadrado se utiliza para evaluar la relación entre dos variables categóricas. En la prueba de Chi-cuadrado, se comparan los valores observados con los valores esperados bajo la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. El valor del estadístico de Chi-cuadrado indica que hay una discrepancia

significativa entre los valores observados y esperados, además la probabilidad $<0,0001$ permite rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables fungicida y esporulación.

El valor del estadístico G (ratio chi-cuadrado de la verosimilitud) en la tabla es de 320,3695, con un valor p muy pequeño ($p < 0.0001$). Este resultado sugiere que el modelo alternativo (en el que la tasa de esporulación varía según el fungicida utilizado) es un ajuste significativamente mejor a los datos que el modelo nulo (en el que la tasa de esporulación es la misma para todos los fungicidas). Este análisis proporciona evidencia de que la elección del fungicida puede tener un efecto significativo en la tasa de esporulación en las condiciones de este experimento.

Figura 14

Porcentajes de esporulación por fungicida a partir de datos de frecuencia



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Tabla 20

Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación

Estadístico	DF	Valor	Probabilidad
Chi-cuadrado	12	270,2519	<0.0001
Ratio chi-cuadrado de la verosimilitud	12	320,3695	<0.0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	5,9234	0.0149

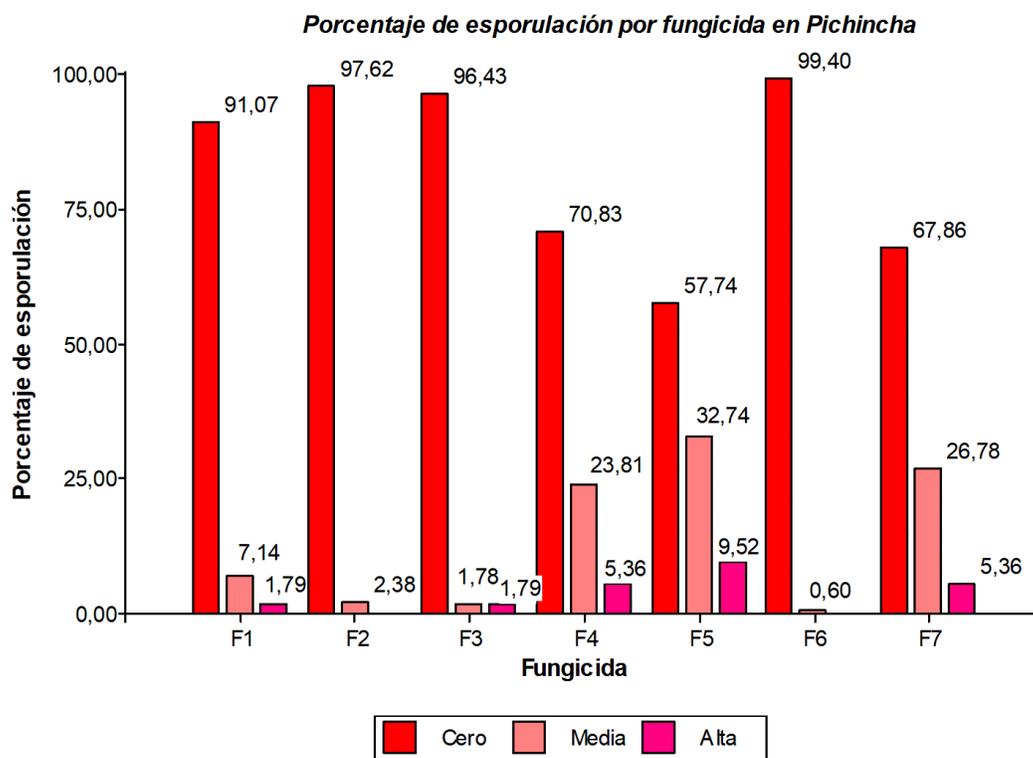
a) Análisis de independencia por fungicida - Pichincha:

La Figura 15, muestra los porcentajes de esporulación cero, media o alta por cada fungicida en la provincia de Pichincha. Con los fungicidas Mancozeb y Cimoxanil no hubo esporulación alta, pero entre ambos el mayor porcentaje de aislamientos sin esporulación se obtuvo con Cimoxanil con 99,40%. Propamocarb tuvo el mayor porcentaje de esporulación con 42,26%.

En la Tabla 21, los resultados muestran que el estadístico de prueba chi-cuadrado con una probabilidad $p < 0,0001$ indica que hay una asociación significativa entre las variables. El ratio chi-cuadrado de la verosimilitud con tiene una probabilidad $p < 0,0001$. Este valor mide la diferencia entre el modelo nulo y el modelo completo, y sugiere que el modelo completo se ajusta mejor a los datos que el modelo nulo. El estadístico chi-cuadrado de Mantel-Haenszel tiene probabilidad $p < 0,0001$. Este valor indica que hay una asociación significativa entre las variables controlando un posible factor confundidor.

Figura 15

Porcentajes de esporulación por fungicida en Pichincha a partir de datos de frecuencia



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Tabla 21

Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Pichincha

Estadístico	DF	Valor	Probabilidad
Chi-cuadrado	12	209,9742	<0,0001
Ratio chi-cuadrado de la verosimilitud	12	232,5783	<0,0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	17,2897	<0,0001

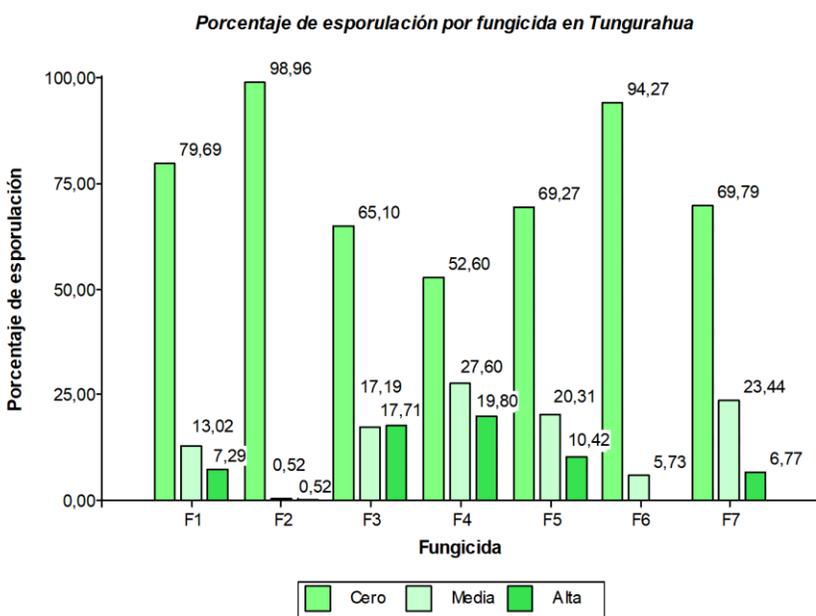
b) Análisis de independencia por fungicida - Tungurahua:

La Figura 16 muestra los porcentajes de esporulación por fungicida en la provincia de Tungurahua. Para Cimoxanil no hubo esporulación alta, pero destaca Mancozeb que a pesar de presentar 0,52% de esporulación alta, el porcentaje de esporulación cero es el más elevado entre todos los fungicidas utilizados en Tungurahua, con 98,96%.

En la Tabla 22, el valor del estadístico chi-cuadrado es 187,5380, con 12 grados de libertad, lo que indica que hay una relación significativa entre las variables fungicidas y nivel de esporulación. La probabilidad asociada a este valor es menor que 0,0001, lo que indica que la asociación es muy poco probable que ocurra por azar. El ratio chi-cuadrado de la verosimilitud es 227,3631, con 12 grados de libertad, lo que sugiere que el modelo ajustado es mejor que el modelo nulo, que indica que existe una relación significativa entre las variables fungicidas y nivel de esporulación.

Figura 16

Porcentajes de esporulación por fungicida en Tungurahua a partir de datos de frecuencia



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Tabla 22

Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Tungurahua

Estadístico	DF	Valor	Probabilidad
Chi-cuadrado	12	187,5380	<0,0001
Ratio chi-cuadrado de la verosimilitud	12	227,3631	<0,0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	8,5702	0,0034

c) Análisis de independencia por fungicida - Cotopaxi:

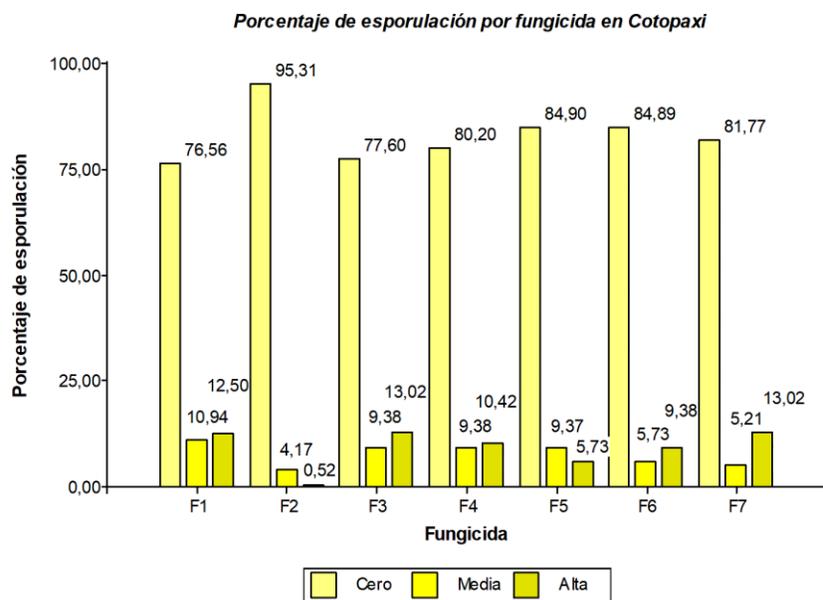
Los porcentajes de esporulación por fungicida en Cotopaxi se presentan en la Figura 17. Con Mancozeb se obtuvo el menor porcentaje de esporulación alta con 0,52% y en consecuencia tuvo el mayor porcentaje de esporulación cero con 95,31%. Por otro lado, Mandipropamid tuvo el menor porcentaje de esporulación cero con 76,56%, el porcentaje restante se distribuyó entre esporulación media 10,94% y esporulación alta con 12,50%.

En la Tabla 23, la prueba de chi cuadrado indica que hay una diferencia significativa entre las frecuencias observadas y las esperadas para las variables fungicidas y nivel de esporulación ($p < 0,0001$). El ratio chi cuadrado de la verosimilitud también indica una diferencia significativa entre las frecuencias observadas y las esperadas ($p < 0,0001$). El estadístico de chi cuadrado Mantel-Haenszel no muestra una asociación significativa entre las variables después de controlar el nivel de esporulación. Los coeficientes de asociación indican una asociación débil entre las variables.

En general, estos resultados sugieren que las variables están asociadas de alguna manera, pero la fuerza de la asociación es débil y no es significativa después de controlar el nivel de esporulación.

Figura 17

Porcentajes de esporulación por fungicida en Cotopaxi a partir de datos de frecuencia



Nota: Mandipropamid (F1), Mancozeb (F2), Clorotalonil (F3), Dimetomorf (F4), Propamocarb (F5), Cimoxanil (F6), Metalaxil (F7).

Tabla 23

Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Cotopaxi

Estadístico	DF	Valor	Probabilidad
Chi-cuadrado	12	42,6451	<0,0001
Ratio chi-cuadrado de la verosimilitud	12	54,4496	<0,0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	2,7428	0,0977

d) Análisis de independencia por fungicida - Chimborazo:

La Figura 18 muestra los porcentajes de esporulación en los niveles cero, media y alta para cada fungicida en los aislamientos de Chimborazo. El porcentaje más alto de cero esporulaciones se obtuvo en el fungicida Mancozeb con 98,81%. Metalaxil fue el que presentó

mayor porcentaje de esporulación alta con 11,90%, consecuentemente el menor porcentaje de cero esporulaciones con 80,36% y además el porcentaje de esporulación media más alto entre todos los fungicidas aplicados con 7,74%.

En la Tabla 24, la prueba de chi cuadrado indica que hay una diferencia significativa entre las frecuencias observadas y las esperadas para las variables fungicidas y nivel de esporulación ($p < 0,0001$). El ratio chi cuadrado de la verosimilitud también indica una diferencia significativa entre las frecuencias observadas y las esperadas ($p < 0,0001$). El estadístico de chi cuadrado Mantel-Haenszel no muestra una asociación significativa entre las variables después de controlar el nivel de esporulación. Los coeficientes de asociación indican una asociación débil a moderada entre las variables.

En resumen, estas pruebas indican que hay una relación entre las variables fungicidas y nivel de esporulación, pero esta relación es débil a moderada y no es significativa después de controlar el nivel de esporulación.

Figura 18

Porcentajes de esporulación por fungicida en Chimborazo, a partir de datos de frecuencia

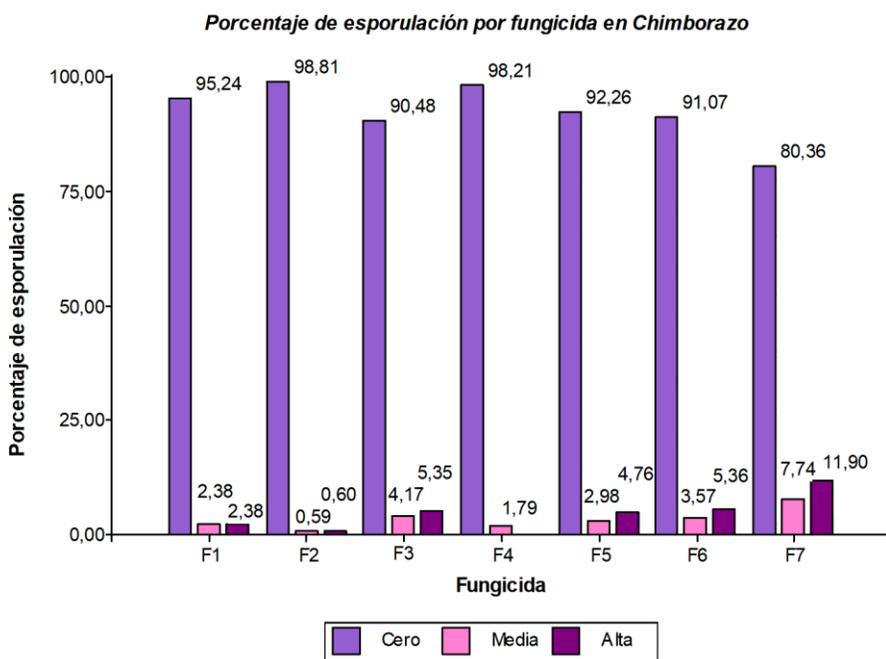


Tabla 24

Prueba Chi-cuadrado al 5% de significancia para fungicidas y esporulación en Chimborazo

Estadístico	DF	Valor	Probabilidad
Chi-cuadrado	12	57,2453	<0,0001
Ratio chi-cuadrado de la verosimilitud	12	60,2965	<0,0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	2,1789	0,1399

Concentración efectiva media (CE50)

En la Tabla 25, se indica el valor de la concentración media efectiva (CE50) calculada para cada fungicida. La CE50 es la concentración necesaria para lograr inhibir el 50% de la supervivencia de un organismo, en este caso, un oomiceto. Si la CE50 es menor que la dosis alta utilizada, significa que una concentración más baja del fungicida es suficiente para lograr el efecto del 50% de supervivencia, mientras que una dosis alta se puede utilizar para asegurar que el efecto sea aún más fuerte. Si la CE50 es mayor que la dosis alta utilizada, significa que una concentración más alta del fungicida es necesaria para lograr el mismo efecto.

De acuerdo con la tabla, los fungicidas F5, F6 y F7 tienen valores de CE50 más altos que la dosis alta utilizada. Esto sugiere que, para estos fungicidas, una concentración más alta del fungicida puede ser necesaria para lograr un efecto significativo en el crecimiento o la supervivencia de *P. infestans*.

Por otro lado, los fungicidas F1, F3 y F4 tienen valores de CE50 más bajos que la dosis alta utilizada. Esto sugiere que una concentración más baja del fungicida puede ser suficiente para lograr un efecto significativo en el crecimiento o la supervivencia del hongo, y que la dosis alta utilizada puede ser innecesariamente alta.

El CE50 de Mancozeb no se pudo determinar debido a que los valores que se obtuvieron con el análisis Logit fueron negativos.

Tabla 25

Concentración efectiva media para cada ingrediente activo y comparación con la dosis comercial utilizada

Código	Fungicida	CE50 [ppm]	Dosis alta utilizada [ppm]
F1	Mandipropamid	13351	25000
F2	Mancozeb	-	10000
F3	Clorotalonil	9861	10000
F4	Dimetomorf	571	600
F5	Propamocarb	12981	10000
F6	Cimoxanil	86501	75000
F7	Metalaxil	3521	3000

Comparación de la respuesta de sensibilidad entre las poblaciones del patógeno a los fungicidas

Las poblaciones del patógeno se dividieron por provincia, por ello fue necesario determinar el nivel de sensibilidad de cada población según el fungicida utilizado. En Pichincha, los resultados indican que las poblaciones de *P. infestans* de esta provincia tienen sensibilidad intermedia a todos los fungicidas de contacto: mandipropamid, mancozeb y clorotalonil, mientras que para los fungicidas sistémicos hay resistencia, Tabla 26. En Tungurahua, *P. infestans* tiene sensibilidad intermedia a mandipropamid y mancozeb, pero es resistente a los demás fungicidas utilizados, Tabla 27. Por otro lado, en Cotopaxi el patógeno solo tuvo sensibilidad intermedia a mancozeb y es resistente a los demás fungicidas, Tabla 28. Finalmente, en Chimborazo se reporta mayor sensibilidad en comparación con las otras provincias, ya que la población de *P. infestans* de esta provincia tuvo sensibilidad intermedia a cinco de los siete fungicidas utilizados; mandipropamid, mancozeb, clorotalonil, dimetomorf y propamocarb son efectivos en el control de la enfermedad en Chimborazo debido a que el

patógeno es medianamente sensible, pero en el caso del uso de cimoxanil y metalaxil ya se reporta resistencia, Tabla 29.

Tabla 26

Porcentaje de crecimiento de P. infestans y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Pichincha

Provincia	Fungicida	Crecimiento [%]	Crecimiento testigo [%]	Sensibilidad
Pichincha	F1	36,43	80,26	Intermedio
	F2	39,67		Intermedio
	F3	38,91		Intermedio
	F4	54,47		Resistente
	F5	53,13		Resistente
	F6	54,94		Resistente
	F7	55,95		Resistente

Tabla 27

Porcentaje de crecimiento de P. infestans y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Tungurahua

Provincia	Fungicida	Crecimiento [%]	Crecimiento testigo [%]	Sensibilidad
Tungurahua	F1	56,13	86,01	Intermedio
	F2	49,01		Intermedio
	F3	61,34		Resistente
	F4	62,61		Resistente
	F5	60,55		Resistente
	F6	59,99		Resistente
	F7	65,57		Resistente

Tabla 28

Porcentaje de crecimiento de P. infestans y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Cotopaxi

Provincia	Fungicida	Crecimiento [%]	Crecimiento testigo [%]	Sensibilidad
Cotopaxi	F1	56,02	83,97	Resistente
	F2	43,78		Intermedio
	F3	55,85		Resistente
	F4	56,27		Resistente
	F5	54,18		Resistente
	F6	57,93		Resistente
	F7	57,02		Resistente

Tabla 29

Porcentaje de crecimiento de P. infestans y clasificación de acuerdo con la escala de Shattock para Chimborazo

Provincia	Fungicida	Crecimiento [%]	Crecimiento testigo [%]	Sensibilidad
Chimborazo	F1	40,70	68,15	Intermedio
	F2	37,20		Intermedio
	F3	48,38		Intermedio
	F4	45,12		Intermedio
	F5	47,85		Intermedio
	F6	52,21		Resistente
	F7	61,34		Resistente

Capítulo V: Discusión

Obtención de aislados de *P. infestans* de cultivos de papa infectados procedentes de las provincias de Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi

La recolección de muestras de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con signos visibles de la enfermedad tizón tardío o lancha ocasionada por *P. infestans*, fue el paso inicial de la investigación. Yuen (2021), indica que los primeros síntomas del tizón tardío en el campo, son pequeñas manchas de color verde claro a oscuro, de forma circular a irregular presentes en hojas y tallos en la planta, además indica que si la infección se ha dado por tiempo prolongado es posible identificar micelio en las lesiones, por ello la detección de la enfermedad se realizó fácilmente de forma visual, tomando en cuenta estas consideraciones se pudo identificar plantas de papa con síntomas de tizón tardío en los diferentes cultivos visitados.

Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo fueron las provincias en las que se tomaron muestras de *P. infestans* de papa, Cuesta et al. (2022), indica que en la sierra ecuatoriana hay diferentes zonas de producción de papa, entre ellas resalta la zona centro donde se incluyen las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo, aquí una de las variedades de papas más cultivadas es la Superchola, razón por la cual se seleccionaron las cuatro provincias mencionadas anteriormente para el presente estudio.

La papa es uno de los rubros más importantes en el país debido a su amplio consumo que deriva en ingresos económicos importantes para los agricultores y como afirma el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2019), en su informe de rendimientos de papa en Ecuador, la variedad Superchola es una de las más comercializadas y además es moderadamente susceptible al tizón tardío, por ende, fue la variedad elegida para determinar la sensibilidad del patógeno que la aqueja.

Determinación de la sensibilidad *in vivo* de poblaciones de *P. infestans* a los ingredientes activos Dimetomorf, Propamocarb, Metalaxil, Cimoxanil, Mandipropamid, Mancozeb y Clorotalonil

La aplicación de fungicidas es una opción de manejo eficaz para controlar el tizón tardío de la papa, además estos compuestos son la herramienta más antigua utilizada contra la enfermedad, sin embargo, su uso indiscriminado ocasiona daños a la salud de agricultores y al medio ambiente (Khadka et al., 2020; Ivanov et al., 2021). El método de control más rentable es la prevención de la enfermedad que se logra a través de medidas integrales que involucran un tratamiento regular con una combinación de fungicidas de contacto y sistémicos, por ello Cohen et al. (2021), cita la importancia del estudio de estos dos tipos de fungicidas para mejorar el control de *P. infestans*.

El uso de fungicidas con diferentes modos de acción permite controlar el tizón tardío de manera más efectiva y, en última instancia, la diversificación de los ingredientes activos evita la generación de resistencia a largo plazo por parte del patógeno (González et al., 2020), pero es importante determinar los ingredientes activos a ser utilizados en fin de verificar dosis y tiempos de aplicación. CIP (2020), da a conocer una lista de los ingredientes activos más utilizados en el control del tizón tardío de la papa, entre ellos se encuentran: benalaxyl, fosfito de potasio, metalaxil, propamocarb, cimoxanil, dimetomorf, captan, clorotalonil, fentín, mancozeb y propineb, a su vez Yépez (2016) y Unda et al. (2017) mencionan que en Ecuador algunos de los ingredientes activos más empleados son: propamocarb, cimoxanil, dimetomorf, azoxistrobina, metalaxil, fosfito de potasio, mancozeb, clorotalonil, propineb y mandipropamida. Con estas consideraciones, los ingredientes activos de fungicidas evaluados en esta investigación fueron, fungicidas de contacto: mandipropamid, mancozeb y clorotalonil y fungicidas sistémicos: dimetomorf, propamocarb, cimoxanil y metalaxil.

Para la evaluación conjunta de la sensibilidad de diferentes poblaciones de *P. infestans* a fungicidas, fue necesario la obtención de datos para las variables dependientes: incidencia,

severidad y esporulación, Kiiker et al. (2019), destaca la importancia de la medición de estas variables para conocer primero la cantidad de unidades experimentales infectadas, el porcentaje de infección de cada una de ellas y por ende la agresividad y sensibilidad a los fungicidas por parte del patógeno y además la posibilidad de propagación por esporangios que mantenga el oomiceto después de la aplicación de agroquímicos.

En la provincia de Chimborazo, se observa que la incidencia de infección de *P. infestans* es del 52,3%. En la provincia de Tungurahua, la incidencia de infección es del 56,5%, mientras que en la provincia de Cotopaxi, la incidencia de infección es del 58,5%. Finalmente, en la provincia de Pichincha, se observa la incidencia de infección más alta, con un promedio del 63,7%. Los resultados sugieren que la incidencia de infección de *P. infestans* varía significativamente entre las diferentes provincias. El origen geográfico de las muestras de *P. infestans* obtenidas de cultivos de papa puede afectar a los resultados obtenidos de incidencia. Las diferencias en los linajes genéticos del patógeno que se encuentran en diferentes regiones geográficas pueden dar lugar a diferencias en la virulencia y sensibilidad del patógeno (Wilches et al., 2022). Oyarzún et al. (2005) realizaron un estudio para determinar niveles de incidencia del tizón tardío de la papa en Ecuador, para ese año concluyeron que el porcentaje de incidencia en la región era bajo, debido principalmente a que las papas se cultivan en el país entre 2800 y 3500 m sobre el nivel del mar, donde las temperaturas medias están por debajo de los 15 °C. Por esta razón, el tizón se desarrolla a tasas más bajas que las que se encuentran en la zona templada, información con la que coincide Cevallos et al. (2016) que encontró que las áreas de alta altitud tuvieron una incidencia mucho más baja de infección por *P. infestans* en los cultivos de papa que las áreas de baja altitud. Sin embargo, destacan que al pasar de los años la situación de baja incidencia de infección de *P. infestans* podría cambiar debido al aumento en el uso de fungicidas, lo que conllevaría a la resistencia del patógeno a estos componentes disminuyendo así su efectividad y también al aumento de las temperaturas en regiones anteriormente frías debido al cambio climático. Para 2016, Navarrete et al. (2022)

ya reporta un aumento del porcentaje de incidencia del tizón tardío de la papa del 65,9% en Ecuador y al igual que Oyarzún et al. (2005), los autores alertan sobre que se debe prestar especial atención a la enfermedad ya que existe evidencia de infección preemergente por *P. infestans* en Ecuador.

Además, las prácticas de manejo agrícola, como la rotación de cultivos y el uso de fungicidas, pueden afectar la incidencia de infección de *P. infestans* en las plantas de papa. Es posible que haya diferencias en las prácticas de manejo agrícola entre las provincias, lo que podría explicar parte de la variación observada en los resultados. Como indican Nuñez & Aegerter (2019) si bien el uso de fungicidas es por ahora el método de control más efectivo contra *P. infestans*, es importante mantener controles varietales, culturales y biológicos para prevenir la afección de las plántulas con el oomiceto, si se prescinde de atenciones al cultivo como aporque, control de riego, fertilización y rotación de cultivos es poco probable que no haya infección por *P. infestans* u otras enfermedades en la papa.

Para los resultados de la prueba Tukey en las dosis, la dosis comercial (D1) resultó en la menor incidencia de la infección, mientras que la dosis baja (D3) resultó en la mayor incidencia de la infección. Acuña (2008), en su informativo sobre el Manejo integrado del tizón tardío y estrategias de control químico indica que las aplicaciones de fungicidas se deben realizar en función de las dosis recomendadas comercialmente para garantizar mayor efectividad, así es como con la dosis 1 en la presente investigación resultó con la menor incidencia.

Para la variable incidencia, con mancozeb, uno de los fungicidas de contacto, se obtuvo el menor porcentaje de infecciones entre las unidades experimentales con el 38,94% lo que indica que los aislamientos de *P. infestans* evaluados son sensibles a este ingrediente activo, mientras que con propamocarb, fungicida sistémico, se alcanzó el porcentaje más alto con el 65,33% de unidades experimentales afectadas, sin embargo, estadísticamente junto con dimetomorf y metalaxil al pertenecer al mismo grupo de clasificación, se puede observar que el

patógeno es resistente al modo de acción de estos agroquímicos. En un estudio realizado en Nepal, Khadka et al. (2020) presenta como resultado que el uso de mancozeb para el control de *P. Infestans* permitió que únicamente el 47% de plantas se vean afectadas por la enfermedad, porcentaje que guarda relación con el obtenido en esta investigación. Mientras que en el caso del uso de dimetomorf y metalaxil, el autor reporta porcentajes de infección del 65% y 91% respectivamente, lo que indica la resistencia del patógeno debido principalmente al uso inadecuado de los fungicidas; al no rotar los agroquímicos y el exceso de aplicaciones. En la interacción provincia – dosis, las provincias en las que se llevó a cabo el estudio (Chimborazo, Cotopaxi y Pichincha) presentan diferencias en cuanto a la media de incidencia de la infección. Se observa que la provincia de Chimborazo presenta las medias de incidencia más bajas en general, mientras que la provincia de Pichincha presenta las medias más altas. Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores ambientales y culturales que varían entre las provincias, como la humedad relativa, la temperatura, la densidad de siembra y la sensibilidad o resistencia de los aislamientos de la región que a su vez han condicionado al patógeno en su capacidad de infección y sensibilidad a los agroquímicos (Escalante & Farrera, 2004). Así también la dosis 1 presenta las medias más bajas de incidencia de infección para todas las provincias y la media aumenta a medida que disminuyen las dosis del fungicida.

Escudero et al. (2009) en su trabajo de investigación evaluó la sensibilidad a fungicidas de cuatro aislamientos de *P. infestans* a varios fungicidas, utilizó dosis mayores a la comercial, sin embargo determinó estadísticamente que la dosis comercial continuaba siendo efectiva en el control de la enfermedad del tizón tardío de la papa. Chechi et al. (2019) menciona que cambiar las dosis recomendadas de fungicidas puede afectar la efectividad del control de enfermedades.

Ahora, en la interacción provincia – fungicida, al igual que con la interacción anterior de provincia – dosis, se obtuvieron diferentes medias de incidencia para cada combinación de provincia y fungicida. Se puede observar que la incidencia de infección de *P. infestans*, varía

dependiendo de la provincia y del fungicida utilizado, lo que sugiere que la geografía y la sensibilidad del patógeno a los fungicidas empleados tienen un papel importante en los resultados de infección. Como indica Ivanov et al. (2021) la presencia de incidencia de infección de *P. infestans* a pesar del uso de fungicida indica procesos de resistencia del patógeno, lo que quiere decir que a pesar de que la incidencia sea baja y eso indique que *P. infestans* todavía es sensible a cierto fungicida, se debe tomar precaución en la aplicación de los ingredientes activos para no contribuir a la resistencia del patógeno, además como se indicó anteriormente los factores ambientales y de cuidado del cultivo en cada provincia afecta a la respuesta que tiene *P. infestans* para los fungicidas utilizados (Escalante & Farrera, 2004; Juroszek et al., 2022).

Para la severidad, la dosis tres, correspondiente a una centésima parte de la dosis comercial tuvo la media de porcentajes de severidad más altos, lo que quiere decir que con esta dosis el porcentaje de afección en cada unidad experimental en promedio fue de 63,53%, mientras que con la dosis 1 o dosis comercial el porcentaje promedio de severidad fue menor al 50%. Ramírez et al. (2019), en su investigación para evaluar la sensibilidad de *P. infestans* indica que hubo una relación inversamente proporcional respecto a la dosis y la severidad, mientras aumentaba la dosis del fungicida, la severidad de infección disminuyó, además que al igual que en este estudio, los mejores resultados que obtuvo fueron con la aplicación de la dosis de formulación comercial de cada agroquímico.

El fungicida que presentó mejor control en cuanto a severidad fue mancozeb con media de 42%, mientras que metalaxil tuvo menor eficacia en los resultados de esta variable con 60%. Mancozeb es un fungicida de contacto de espectro estrecho y un fungicida que actúa como control curativo, Sari et al. (2021) utilizó este fungicida para determinar la efectividad del mismo para control de *P. infestans* y reporta que con su uso hubo reducción de la severidad del tizón tardío. Por otro lado, Fontem et al. (2020) indica que el uso de metalaxil resultó inefectivo para disminuir la severidad de *P. infestans* debido a que su uso reiterado ha ocasionado resistencia

y su eficacia ha disminuido. Pilicita (2022) en su investigación reporta porcentajes similares de severidad para Mancozeb 31% y para Metalaxil 57%.

En la provincia de Tungurahua hubo mayor severidad en sus unidades experimentales con aproximadamente el 60% en tanto Chimborazo reporta mejores resultados en esta variable con una media de 40%. Según el SIPA (2021), en su reporte sobre los rendimientos objetivos de papa indica que en Tungurahua el 51% de los principales problemas fitosanitarios se debe a tizón tardío mientras que en Chimborazo este porcentaje desciende al 58%.

Los resultados de la última variable dependiente, esporulación, realizados en base a la dosis comercial D1, Alor (2017), utilizó varias dosis de fungicidas para determinar la esporulación de *P. infestans*, encontró que la dosis comercial logró las esporulaciones más bajas entre 17-20% por ello se evaluó únicamente la dosis comercial para cada fungicida, siendo esta la dosis más alta es la que mayor eficiencia tiene frente a dosis menores y de la cual los datos son más relevantes.

En general, en términos de esporulación, Mancozeb fue el más efectivo al controlar esta variable debido a que tuvo el porcentaje más alto de cero esporulaciones con 97,64% de aislamientos y el porcentaje más bajo de esporulación entre alta y media con apenas el 2,36% de aislamientos. Por otro lado, Metalaxil tuvo el mayor porcentaje de aislamientos con esporulación, 25%. Alor (2017), indica que con el uso de metalaxil en su dosis más alta recomendada, los aislamientos que estudió mostraron alta capacidad de esporulación (43%) y necrosis. Para Mancozeb, el autor indica que obtuvo mejores resultados al obtener únicamente el 12% de esporulación entre sus aislamientos.

En el análisis por provincia sobre los niveles de esporulación obtenidos para cada fungicida utilizado se tuvo que, en Pichincha, Cimoxanil tuvo apenas el 0,60% de aislamientos esporulados y Propamocarb, por otro lado presentó 42,26% de aislamientos con esporulación. En Tungurahua el nivel más bajo de esporulación fue 1,04% con la aplicación de Mancozeb y la más alta, 47,4% con Dimetomorf. En Cotopaxi, el porcentaje más alto de esporulación se dio

con Mandipropamid (23,44%) y el más bajo con Mancozeb (4,69%). Por último, en Chimborazo, el uso de Mancozeb resultó en el porcentaje más bajo de esporulación en la provincia, con 1,19% y el más alto corresponde al uso de Metalaxil con 19,64%. En los resultados, con el uso de Mancozeb se tuvo los porcentajes de esporulación más bajos en casi todas las provincias estudiadas, al igual que con el control de la incidencia de infección, este fungicida de contacto disminuyó la capacidad de infección del patógeno y por ende su esporulación. Ivanov et al. (2021) menciona que Mancozeb se ha utilizado durante más de 46 años y sigue siendo el fungicida de amplio espectro más popular contra *P. infestans*. Ofrece una combinación de eficacia antifúngica y económica con baja toxicidad secundaria. Además se considera el hecho que no se ha reportado alta resistencia a este fungicida y ese es otro factor al que se debe su éxito en el control de la enfermedad. Para Propamocarb, en Pichincha, Dimetomorf, en Tungurahua, Mandipropamid, en Cotopaxi y Metalaxil, en Chimborazo, Pilicita (2022) obtiene porcentajes de esporulación cercanos a los obtenidos en la presente investigación con 26,74%, 26,82%, 28,33% y 31,41% respectivamente para los fungicidas que obtuvieron las proporciones más altas de esporulación por provincia. La procedencia de los aislamientos del patógeno puede guardar relación con el nivel de esporulación encontrada, ya que como menciona Gigot et al. (2009) existen diferentes linajes genéticos de *P. infestans* que se han aislado en todo el mundo, y estos linajes pueden tener diferentes características biológicas, incluyendo la tasa de esporulación *in vivo*.

Para la variable severidad se obtuvo interacción entre las dosis, fungicidas y provincias, lo que se traduce a precisar que para cada uno de los porcentajes o resultados de esta variable hubo participación conjunta de las variables independientes, no solo se debe a una de ellas. Como se mencionó anteriormente y como reitera Gedlu et al. (2022) los resultados de sensibilidad o resistencia de las plantas de papa ante *P. infestans* se deben al manejo integrado de control del oomiceto, no a un solo factor, por ello es preciso pensar que tanto el tipo de fungicida como la dosis tienen implicación en como un aislamiento específico se ve

afectado por la enfermedad y a su vez tendrá estrecha relación con la procedencia del cultivo ya que los factores bióticos y abióticos donde se haya desarrollado también intervendrán en la respuesta del patógeno.

Comparación de la respuesta de sensibilidad entre las poblaciones del patógeno a los fungicidas

Según el INEC (2021), el cultivo de papa es uno de las más importantes en Ecuador, Chimborazo tiene el 18,01% de la superficie total sembrada con este tubérculo, Cotopaxi el 15,99%, Tungurahua el 11,15% y Pichincha un porcentaje del 8% pero que crece cada año. La siembra de papa acarrea también el uso de fungicidas para prevenir la infección de algunas enfermedades entre ellas el tizón tardío, causado por *P. infestans* (Alonso, 2020). En Ecuador el uso de cimoxanil, mancozeb y clorotalonil representa el 18% de los insumos agrícolas utilizados en el país (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021), además para el control del tizón tardío los agricultores en sus aplicaciones usan 65% de fungicidas sistémicos, es decir cuando la enfermedad ya está presente, y 35% de fungicidas de contacto, como prevención. El uso reiterado y sin control de los fungicidas es la causa principal de resistencia en las provincias de Ecuador. Los agricultores de las provincias que se visitaron reportaron que usaban dosis mayores a la comercial recomendada o incluso mezclas de distintos tipos de fungicidas sin conocer si los ingredientes activos eran compatibles entre sí, o si se trataba del mismo ingrediente activo, a pesar de tener diferente nombre comercial, es decir, en algunos casos se sobredosifica, este uso inadecuado de los agroquímicos es el responsable de la baja sensibilidad de los aislamientos y de continuar con un manejo inapropiado la resistencia irá en aumento (Monteros & Delgado, 2021).

En la determinación de sensibilidad de las poblaciones de *P. infestans* de cada provincia a los fungicidas utilizados, de manera general, los fungicidas de contacto tuvieron los mejores resultados al ser eficaces contra *P. infestans* debido a que el patógeno tuvo

sensibilidad intermedia a estos. Por otro lado, a los fungicidas sistémicos dimetomorf, propamocarb, cimoxanil y metalaxil, *P. infestans* fue resistente.

Recientemente, Elansky et al. (2021) reportó en su investigación que el análisis de cepas rusas de *P. infestans* mostró por primera vez que todas son sensibles a mandipropamid. Hasta el momento no se han encontrado en el mundo cepas resistentes a la Mandipropamid por lo que el autor considera que el riesgo de que aparezcan cepas altamente competitivas y resistentes a este agroquímico es mínimo, conclusión a la que también llegan Cohen et al. (2017) en su estudio.

El uso de mancozeb también ha sido reportado y Dowley & O'Sullivan (2015) mencionan que en su investigación el uso de este ingrediente activo pudo contener la infección de *P. infestans*, por lo que recomiendan un uso adecuado en fin de prevenir resistencia.

Para el último fungicida de contacto utilizado, Bruck (2018) concluye que el clorotalonil permitió la inhibición de la esporulación del oomiceto así como el retraso de la expansión de las lesiones producto de la enfermedad en sus aislamientos, además indica que estos fueron medianamente sensibles al producto.

El uso de dimetomorf y su resistencia se reportan en la investigación de Yuan et al. (2018), de 127 aislamientos de *P. infestans* el autor reporta que todos fueron medianamente resistentes al agroquímico, determinó que la resistencia a este compuesto no está muy desarrollada mundialmente, sin embargo ya que este patógeno es de alto riesgo, se deben tomar precauciones adecuadas contra la pérdida de sensibilidad Stein & Kirk (2004).

La sensibilidad de *P. infestans* a propamocarb fue evaluado con aislamientos de México, donde González et al. (2020), indica que la sobreexposición a dosis no letales del agroquímico dieron como resultado la resistencia al mismo en cepas subcultivadas, lo que indica que el mal uso del fungicida puede derivar en baja sensibilidad y por ende desciende su eficiencia, en el caso de la investigación actual también se reporta resistencia al ingrediente activo.

Rekanović et al. (2012), reporta que el uso de cimoxanil en 12 aislamientos de *P. infestans* resultó en resistencia intermedia, el autor todavía recomienda el uso de este agroquímico para el control del patógeno con criterios de cuidado para prevenir mayor pérdida de sensibilidad. En Ecuador también se reporta resistencia a este fungicida, así Pilicita (2022), indica que alrededor del 35% de veinte aislamientos estudiados resultaron ser resistentes a cimoxanil.

Metalaxil es uno de los fungicidas más ampliamente utilizados, sin embargo, el uso no controlado de este ha derivado en reportes de resistencia de *P. infestans* Yuan et al. (2018). La resistencia a metalaxil se reporta en América del Norte, Europa y México (Matson et al., 2015), en Perú donde se estudiaron aislamientos de *P. infestans* pertenecientes al linaje clonal que es dominante en papa en ese país y Ecuador determinaron que el desarrollo de resistencia a metalaxil es alto, así también en China (Zhu et al., 2008), Serbia (Rekanović et al., 2012) y Países bajos (Davidse et al., 2013). Lozoya-Saldaña et al. (2017) complementa esta información al indicar que la resistencia a metalaxil se reportó en diferentes años alrededor del mundo, en Europa fue en 1981 y en Canadá, Estados Unidos, México y Ecuador este hecho data de 1993. Complementariamente en Ecuador Cuvi et al. (2010), Angamarca (2019) y Pilicita (2022), reportan resistencia a metalaxil en sus investigaciones y coinciden en que su uso debe ser rotativo para disminuir la pérdida de sensibilidad.

Conclusiones

Tanto el fungicida, la dosis y la provincia de donde se muestreo *P. infestans* influyeron en la severidad e incidencia de infección del patógeno. Hubo interacción entre los factores de estudio por los resultados en las variables evaluadas. El patógeno no se controla con todos los fungicidas evaluados, mismos que son los más utilizados por los agricultores.

Los fungicidas de contacto o preventivos resultaron ser los más eficientes al momento de controlar la enfermedad, es decir no se encontró alta resistencia a estos en las poblaciones de *P. infestans* estudiados.

Las poblaciones de *P. infestans* tomadas de Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo presentaron resistencia a los fungicidas sistémicos cimoxanil, dimetomorf, propamocarb y metalaxil por ello es necesario realizar rotaciones de los ingredientes activos para evitar a futuro una pérdida mayor de sensibilidad.

Mancozeb tuvo los porcentajes más bajos de incidencia, severidad y esporulación. Mientras que los porcentajes más altos de estas variables se encontraron con el uso de fungicidas sistémicos en dosis bajas.

Los aislamientos provenientes de la provincia de Chimborazo tuvieron la mayor respuesta de sensibilidad a los fungicidas evaluados, mientras que los de Tungurahua fueron los que reportaron mayor resistencia.

Es necesario un manejo integrado de control para *P. infestans* en fin de mantener niveles bajos de infección, disminuir el daño a la salud humana e impacto ambiental, y reducir el riesgo de resistencia a los agroquímicos.

Recomendaciones

Para determinar la realidad nacional frente a la sensibilidad de *P. infestans* a los fungicidas comúnmente utilizados para su control, es necesario ampliar el muestreo a otras provincias productoras de papa, así como realizar la caracterización de poblaciones del patógeno periódicamente.

Se recomienda aumentar los rangos de las dosis de estudio de cada fungicida para obtener valores de CE50 para todos los fungicidas.

En base a los resultados obtenidos se recomienda tener precaución al utilizar metalaxil, puesto que la población del patógeno presenta resistencia a este ingrediente activo y otros estudios alertan acerca del uso del mismo, se debería minimizar su uso, siempre en rotación con otros fungicidas, así se evita el incremento de poblaciones del patógeno con baja sensibilidad tanto al metalaxil, como a otros ingredientes activos.

Se recomienda probar nuevas moléculas tanto orgánicas como inorgánicas para el control del tizón tardío debido a la creciente amenaza de resistencia frente a los ingredientes activos usados actualmente.

Bibliografía

- Acuña, I. (2008). *Manejo integrado del tizon tardío y estrategias de control químico*. INIA.
<https://tizon.inia.cl/assets/boletines/62-manejo%20integrado%20del%20tizon%20tardio%20y%20estrategias%20de%20control%20quimico.pdf>
- Alonso, L. (2020). *How to Control Potato Late Blight by Using Fungicides Correctly*.
<https://redepapa.medium.com/how-to-control-potato-late-blight-by-using-fungicides-correctly-cbf186777723>
- Alor, N. A. (2017). Caracterización de *Phytophthora infestans* y mejora genética para la resistencia en patata [Ph.D. Thesis, Universitat de Lleida]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/286188>
- Ames, M., & Spooner, D. M. (2008). DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany*, 95(2), 252-257.
<https://doi.org/10.3732/ajb.95.2.252>
- Angamarca, V. H. (2019). *Evaluación de la efectividad de estrategias convencionales y alternativas para el manejo de tizón tardío (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary), en papa (Solanum tuberosum L.), Cutuglagua, Pichincha*. [Bachelor Thesis, Quito: UCE].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17853>
- Ayesha, M. S., Suryanarayanan, T. S., Nataraja, K. N., Prasad, S. R., & Shaanker, R. U. (2021). Seed Treatment With Systemic Fungicides: Time for Review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1581. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654512>
- Bruck, R. I. (2018). Effect of Protectant Fungicides on the Developmental Stages of *Phytophthora infestans* in Potato Foliage. *Phytopathology*, 71(2), 164.
<https://doi.org/10.1094/Phyto-71-164>
- CAB International. (2021, noviembre 16). *Phytophthora infestans*. *Phytophthora Infestans (Phytophthora Blight)*. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/40970>

- Canadian Food Inspection Agency of Canada. (2013, octubre 7). *Plant Morphology*.
<https://inspection.canada.ca/plant-health/potatoes/guidance-documents/pi-005/chapter-3/eng/1381190037846/1381190038643>
- Cárdenas, M., Grajales, A., Sierra, R., Rojas, A., González-Almario, A., Vargas, A., Marín, M., Fermín, G., Lagos, L. E., Grünwald, N. J., Bernal, A., Salazar, C., & Restrepo, S. (2011). Genetic diversity of *Phytophthora infestans* in the Northern Andean region. *BMC Genetics*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-23>
- Cevallos, J., García, J., & Ochoa, H. (2016). *Phytophthora infestans* in the Andean region: Incidence, genetic diversity, and implication for potato breeding. 100(11), 2183-2191. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0531-RE>
- Chechi, A., Forcelini, C. A., & Boller, W. (2019). Spray volumes and fungicide rates on Asian soybean rust control. *Summa Phytopathologica*, 45, 255-260.
<https://doi.org/10.1590/0100-5405/183205>
- CIP. (2017). Superchola – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador. *CIPOTATO*. <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/19-superchola/>
- CIP. (2020). Control químico – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador. *Papa En Ecuador - Manejo de Lancha*.
<https://cipotato.org/papaenecuador/manejo-de-lancha/control-quimico/>
- CIP. (2021). Collaborations Fuel Late Blight Research in China [International Potato Center]. *International Potato Center*. <https://cipotato.org/blog/collaborations-fuel-late-blight-research-in-china/>
- Cohen, Y., Rubin, A. E., & Galperin, M. (2021). Effective control of two genotypes of *Phytophthora infestans* in the field by three oxathiapiprolin fungicidal mixtures. *PLOS ONE*, 16(10), e0258280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258280>
- Cohen, Y., Rubin, E., Hadad, T., Gotlieb, D., Sierotzki, H., & Gisi, U. (2017). Sensitivity of *Phytophthora infestans* to mandipropamid and the effect of enforced selection pressure

- in the field. *Plant Pathology*, 56(5), 836-842. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01625.x>
- Cooke, L. R., Schepers, H. T. A. M., Hermansen, A., Bain, R. A., Bradshaw, N. J., Ritchie, F., Shaw, D. S., Evenhuis, A., Kessel, G. J. T., Wander, J. G. N., Andersson, B., Hansen, J. G., Hannukkala, A., Nærstad, R., & 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>
- Cucak, M., de Andrade Moral, R., Fealy, R., Lambkin, K., & Kildea, S. (2021). Opportunities for Improved Potato Late Blight Management in the Republic of Ireland: Field Evaluation of the Modified Irish Rules Crop Disease Risk Prediction Model. *Phytopathology*®, 111(8), 1349-1360. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-20-0011-R>
- Cuesta, X., Monteros, C., Racines, M., & Rivadeneira, J. (2022). *Catálogo de variedades de papa del Ecuador*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5850/1/CATALOGO%20PAPA%202022.pdf>
- Cuvi, L., Cuesta Subía, H. X., Ochoa L., J., & Tello, C. (2010). *Eficiencia de formulaciones de fungicidas sistemicos para el control del tizón tardío (Phytophthora infestans) en papa. Cutuglagua, Pichincha*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/894>
- Davidse, L., Danial, D., & Westen, C. (2013). Resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* in The Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 89, 1-20. <https://doi.org/10.1007/BF01974440>
- De Vrieze, M., Germanier, F., Vuille, N., & Weisskopf, L. (2018). Combining Different Potato-Associated *Pseudomonas* Strains for Improved Biocontrol of *Phytophthora infestans*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2573. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02573>

- Devaux, A., Goffart, J.-P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V., & Hareau, G. (2021). The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. *Potato Research*, 64(4), 681-720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
- Días, M. C. (2012). Phytotoxicity: An Overview of the Physiological Responses of Plants Exposed to Fungicides. *Journal of Botany*, 2012, e135479. <https://doi.org/10.1155/2012/135479>
- Dowley, L. J., & O'Sullivan, E. (2015). The Effect of Phenylamide/Mancozeb Mixtures on the Control of Late Blight of Potatoes. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 33(2), 177-181.
- Elansky, S., Chudinova, E., Pobendinskaya, M., & Grekova, A. (2021). Resistance of *Phytophthora infestans* to Fungicide Mandipropamid. *Mikologiya I Fitopatologiya*, 55, 291-296. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040048>
- EPA. (1994). *Pesticide Reregistration—Metalaxyl*. Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-113501_1-Sep-94.pdf
- EPA. (1995). *Propamocarb Hydrochloride*. Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-119301_1-Sep-95.pdf
- EPA. (1998). *Pesticide fact sheet—Dimethomorph*. Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-268800_30-Sep-98.pdf
- EPA. (1999). *Reregistration Eligibility Decision (RED)—Chlorothalonil*. Environmental Protection Agency. <https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/0097red.pdf>
- EPA. (2019). *Pesticide Product Label, Cymoxanil*. Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/060063-00074-20190322.pdf

- Escalante, M., & Farrera, R. (2004). Epidemiología del tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bary) de la papa en zonas productoras del estado Táchira Venezuela. *Bioagro*, 16(1), 47-54.
- Escudero, M., Marín, M., Jaramillo, S., & Cotes, J. M. (2009). A methodology of evaluation sensitivity to qoi fungicides - fenamidone: A case study of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4773-4782.
- Fontem, D. A., Olanya, O. M., Tsopmbeng, G. R., & Owona, M. A. P. (2020). Pathogenicity and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. *Crop Protection*, 24(5), 449-456. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.09.012>
- Forbes, G. A., Escobar, X. C., Ayala, C. C., Revelo, J., Ordoñez, M. E., Fry, B. A., Doucett, K., & Fry, W. E. (1997). Population Genetic Structure of *Phytophthora infestans* in Ecuador. *Phytopathology*®, 87(4), 375-380. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.4.375>
- Fry, W. (2008). *Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*, 9(5), 385-402. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x>
- García, P. C., Rivero, R. M., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2003). The role of fungicides in the physiology of higher plants: Implications for defense responses. *The Botanical Review*, 69(2), 162. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2003\)069\[0162:TROFIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2003)069[0162:TROFIT]2.0.CO;2)
- Gedlu, D., Hailu, N., & Kefelegn, H. (2022). Integrated management of potato late blight (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) through resistant varieties and fungicides in North Shewa, Ethiopia. *Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01269-x>
- Gigot, J. A., Gundersen, B., & Inglis, D. A. (2009). Colonization and Sporulation of *Phytophthora infestans* on Volunteer Potatoes Under Western Washington Conditions. *American Journal of Potato Research*, 86(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9054-y>

- Gómez, L., Carbone, I., & Ristaino, J. B. (2007). An Andean origin of *Phytophthora infestans* inferred from mitochondrial and nuclear gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(9), 3306-3311. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611479104>
- González, J., Childers, R., Olave, C., Regnier, M., Rodríguez-Jaramillo, A., Fry, W., Restrepo, S., & Danies, G. (2020). Is the Phenomenon of Mefenoxam-Acquired Resistance in *Phytophthora infestans* Universal? *Plant Disease*, *104*(1), 211-221. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1906-RE>
- Gullino, M. L., Tinivella, F., Garibaldi, A., Kemmitt, G. M., Bacci, L., & Sheppard, B. (2010). Mancozeb: Past, Present, and Future. *Plant Disease*, *94*(9), 1076-1087. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1076>
- Hao, K., Lin, B., Nian, F., Gao, X., Wei, Z., Luo, G., Lu, Y., Lan, M., Yang, J., & Wu, G. (2019). RNA-seq analysis of the response of plant-pathogenic oomycete *Phytophthora parasitica* to the fungicide dimethomorph. *Revista Argentina de Microbiología*, *51*(3), 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2018.08.007>
- Ho, H. (2018). The taxonomy and biology of *Phytophthora* and *Pythium*. *Journal of Bacteriology & Mycology: Open Access*, *Volume 6*(Issue 1). <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00174>
- Hu, J., Hong, C., Stromberg, E. L., & Moorman, G. W. (2007). Effects of Propamocarb Hydrochloride on Mycelial Growth, Sporulation, and Infection by *Phytophthora nicotianae* Isolates from Virginia Nurseries. *Plant Disease*, *91*(4), 414-420. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0414>
- Hunsche, M., Damerow, L., Schmitz-Eiberger, M., & Noga, G. (2007). Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. *Crop Protection*, *26*(5), 768-774. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.07.003>

- INEC. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf
- INIAP. (2014). *Papa (Solanun Tuberosum)*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- ITIS. (2020). *Potato taxonomic classification, Solanum tuberosum*. Integrated Taxonomic Information System - Report. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=505272#null
- ITIS. (2021). *Phytophthora infestans taxonomic*. Integrated Taxonomic Information System - Report. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=181472#null
- Ivanov, A. A., Ukladov, E. O., & Golubeva, T. S. (2021). *Phytophthora infestans: An Overview of Methods and Attempts to Combat Late Blight*. *Journal of Fungi*, 7(12), 1071. <https://doi.org/10.3390/jof7121071>
- Juroszek, P., Laborde, M., Kleinhenz, B., Mellenthin, M., Racca, P., & Sierotzki, H. (2022). A review on the potential effects of temperature on fungicide effectiveness. *Plant Pathology*, 71(4), 775-784. <https://doi.org/10.1111/ppa.13531>
- Kassaw, A., Abera, M., & Belete, E. (2021). The Response of Potato Late Blight to Potato varieties and Fungicide Spraying Frequencies at Meket, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1870309. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1870309>
- Khadka, R. B., Chaulagain, B., Subedi, S., Marasini, M., Rawal, R., Pathak, N., Gautam, I. P., Chapagain, T. R., Khatri, B. B., & Sharma-Poudyal, D. (2020). Evaluation of fungicides

- to control potato late blight (*Phytophthora infestans*) in the plains of Nepal. *Journal of Phytopathology*, 168(5), 245-253. <https://doi.org/10.1111/jph.12886>
- Kiiker, R., Skrabule, I., Ronis, A., Cooke, D. E. L., Hansen, J. G., Williams, I. H., Mänd, M., & Runno-Paurson, E. (2019). Diversity of populations of *Phytophthora infestans* in relation to patterns of potato crop management in Latvia and Lithuania. *Plant Pathology*, 68(6), 1207-1214. <https://doi.org/10.1111/ppa.13030>
- Kromann, P., Taipe, A., Perez, W. G., & Forbes, G. A. (2009). Rainfall Thresholds as Support for Timing Fungicide Applications in the Control of Potato Late Blight in Ecuador and Peru. *Plant Disease*, 93(2), 142-148. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-2-0142>
- Lal, M., Sharma, S., Yadav, S., & Kumar, S. (2018). Management of Late Blight of Potato. En *Potato—From Incas to All Over the World*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72472>
- Lamberth, C., Jeanguenat, A., Cederbaum, F., De Mesmaeker, A., Zeller, M., Kempf, H.-J., & Zeun, R. (2008). Multicomponent reactions in fungicide research: The discovery of mandipropamid. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 16(3), 1531-1545. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2007.10.019>
- Leesutthiphonchai, W., Vu, A. L., Ah-Fong, A. M. V., & Judelson, H. S. (2018). How Does *Phytophthora infestans* Evade Control Efforts? Modern Insight Into the Late Blight Disease. *Phytopathology*, 108(8), 916-924. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-18-0130-IA>
- Lozoya-Saldaña, H., Robledo-Esqueda, M. N., Rivas-Valencia, P., Sandoval-Islas, S., León, M. T. B. C. y, & Nava-Díaz, C. (2017). Sensitivity to fungicides of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in Chapingo, Mexico. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, XXIII(3), 175-187. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.01.004>
- Matson, M. E. H., Small, I. M., Fry, W. E., & Judelson, H. S. (2015). Metalaxyl Resistance in *Phytophthora infestans*: Assessing Role of RPA190 Gene and Diversity Within Clonal

- Lineages. *Phytopathology*, 105(12), 1594-1600. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-15-0129-R>
- Millam, S. (2006). Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 344, 25-36. <https://doi.org/10.1385/1-59745-131-2:25>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Informe de rendimientos objetivos de papa en el Ecuador 2018*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/tlcp/#p=2>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Informe de Rendimientos de Papa*. Sistema de Información Pública Agropecuaria. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/informe-de-rendimientos-objetivos/rendimiento-de-papa>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Informe de comportamiento de insumos agrícolas 2020*. <https://fliphtml5.com/ijia/sxlv/basic/>
- Mizubuti, E., & Fry, W. (2000). Survival of *Phytophthora infestans* Sporangia Exposed to Solar Radiation. *Phytopathology*, 90, 78-84. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.1.78>
- Monteros, Á., & Delgado, R. (2021). Late blight resistance of Ecuadorian potato landraces: Field evaluation and farmer's perception. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 38(3), 505-524.
- Navarrete, I., Panchi, N., Kromann, P., Forbes, G., & Andrade-Piedra, J. (2016). *Dataset for: Health quality of seed potato and yield losses in Ecuador* [Data set]. International Potato Center. <https://doi.org/10.21223/P3/XVAGXC>
- Núñez, J., & Aegerter, B. (2019). *Agriculture: Potato Pest Management Guidelines*. University of California Agriculture and Natural Resources. <https://www2.ipm.ucanr.edu/agriculture/potato/late-blight/>
- Olanya, O. M., Ojiambo, P. S., Nyankanga, R. O., Honeycutt, C. W., & Kirk, W. W. (2009). Recent developments in managing tuber blight of potato (*Solanum tuberosum*) caused by *Phytophthora infestans*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 31(3), 280-289. <https://doi.org/10.1080/07060660909507602>

- Ordoñez, M. E., Hohl, H. R., Velasco, J. A., Ramon, M. P., Oyarzun, P. J., Smart, C. D., Fry, W. E., Forbes, G. A., & Erselius, L. J. (2000). A Novel Population of *Phytophthora*, Similar to *P. infestans*, Attacks Wild *Solanum* Species in Ecuador. *Phytopathology*®, 90(2), 197-202. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.2.197>
- Ortiz, O., & Mares, V. (2017). The Historical, Social, and Economic Importance of the Potato Crop. En S. Kumar Chakrabarti, C. Xie, & J. Kumar Tiwari (Eds.), *The Potato Genome* (pp. 1-10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66135-3_1
- Oyarzún, P. J., Garzón, C. D., Leon, D., Andrade, I., & Forbes, G. A. (2005). Incidence of potato tuber blight in Ecuador. *American Journal of Potato Research*, 82(2), 117-122. <https://doi.org/10.1007/BF02853648>
- Pacilly, F. C. A., Groot, J. C. J., Hofstede, G. J., Schaap, B. F., & van Bueren, E. T. L. (2016). Analysing potato late blight control as a social-ecological system using fuzzy cognitive mapping. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0370-1>
- Pilicita, E. N. (2022). *Determinación de la sensibilidad de poblaciones de Phytophthora infestans (Mont) de Bary del cultivo de papa (Solanum tuberosum) a siete fungicidas* [BachelorThesis, Quito : UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/25380>
- Porter, L. D., & Johnson, D. A. (2004). Survival of *Phytophthora infestans* in Surface Water. *Phytopathology*®, 94(4), 380-387. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.4.380>
- Ramírez, M., Marin, M., Villegas, S., & Cotes Torres, J. M. (2019). A Methodology of evaluation sensitivity to QoI fungicides—Fenamidone: A casa study of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 62, 4773-4782.
- Rekanović, E., Potočnik, I., Milijašević-Marčić, S., Stepanović, M., Todorović, B., & Mihajlović, M. (2012). Toxicity of metalaxyl, azoxystrobin, dimethomorph, cymoxanil, zoxamide and mancozeb to *Phytophthora infestans* isolates from Serbia. *Journal of Environmental*

Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 47(5), 403-409. <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.657043>

Sari, A. L., Hasanuddin, & Lubis, L. (2021). The effectiveness of contact fungicides mancozeb in controlling potato leaf blight disease (*Phytophthora infestans* (Mont) de Barry) in Karo District in the wet month and in the laboratory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782(4), 042022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/4/042022>

Schumann, G., & D'Arcy, J. (2018). *Late blight of potato and tomato*. Late Blight of Potato and Tomato. <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/oomycete/pdlessons/Pages/LateBlight.aspx>

Seidl, A. C., Jordan, S. A., & Gevens, A. J. (2015). Efficacy of Organic and Conventional Fungicides and Impact of Application Timing on Control of Tomato Late Blight Caused by US-22, US-23, and US-24 Isolates of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*, 99(5), 641-647. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-14-0427-RE>

Shattock, R. C. (1988). Studies on the inheritance of resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology*, 37(1), 4-11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1988.tb02188.x>

SIPA. (2021). *Rendimientos objetivos de papa 2021*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/qlri/>

Sjöholm, L. (2012). How Sexual Reproduction Affects the Population Biology of *Phytophthora infestans*. *Undefined*. https://pub.epsilon.slu.se/9278/1/sjoholm_I_121129.pdf

Stein, J. M., & Kirk, W. W. (2004). The Generation and Quantification of Resistance to Dimethomorph in *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*, 88(9), 930-934. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.9.930>

Sukul, P., & Spiteller, M. (2000). Metalaxyl: Persistence, degradation, metabolism, and analytical methods. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 164, 1-26.

- Tillman, R. W., Siegel, M. R., & Long, J. W. (2004). Mechanism of action and fate of the fungicide chlorothalonil (2,4,5,6-tetrachloroisophthalonitrile) in biological systems: I. Reactions with cells and subcellular components of *Saccharomyces pastorianus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 3(2), 160-167. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(73\)90100-4](https://doi.org/10.1016/0048-3575(73)90100-4)
- Tuttle, M. (2004). *What Are Fungicides. The Plant Health Instructor*. What Are Fungicides. <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/Pages/Fungicides.aspx>
- Unda, J., Suquillo, G., Sevillano, C., Pumisacho, M., Ochoa, J., & Barrera, V. (2017). *Diagnóstico Del Manejo de Tizón Tardío en La Provincia Del Carchi (Ecuador)*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/167270725/Diagnostico-del-manejo-de-tizon-tardio-en-la-Provincia-del-Carchi-Ecuador>
- Whittemore, C. T. (2018). The potato (*Solanum tuberosum*) as a source of nutrients for pigs, calves and fowl—A review. *Animal Feed Science and Technology*, 2(2), 171-190. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(77\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(77)90018-9)
- Wilches, W., Diaz, R. E. V., & Malagón, E. M. E. (2022). Efectos del clima y su relación con el tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Siembra*, 9(2), Art. 2. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4008>
- Yang, L.-N., He, M.-H., Ouyang, H.-B., Zhu, W., Pan, Z.-C., Sui, Q.-J., Shang, L.-P., & Zhan, J. (2019). Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, 19(1), 205. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8>
- Yellareddygari, S. K. R., Taylor, R. J., Pasche, J. S., & Gudmestad, N. C. (2019). Quantifying Control Efficacy of Fungicides Commonly Applied for Potato Early Blight Management. *Plant Disease*, 103(11), 2821-2824. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-19-0670-RE>

- Yépez, L. (2016). *Validación de estrategias de manejo del tizón tardío de la papa* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8223/1/T-UCE-0004-53.pdf>
- Yuan, S. K., Liu, X. L., Si, N. G., Dong, J., Gu, B. G., & Jiang, H. (2018). Sensitivity of *Phytophthora infestans* to flumorph: In vitro determination of baseline sensitivity and the risk of resistance. *Plant Pathology*, *55*(2), 258-263. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01338.x>
- Yuen, J. (2021). Pathogens which threaten food security: *Phytophthora infestans*, the potato late blight pathogen. *Food Security*, *13*(2), 247-253. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01141-3>
- Zhang, Z., Yang, J., Yang, Q., Tian, G., & Cui, Z.-K. (2021). Fabrication of Non-phospholipid Liposomal Nanocarrier for Sustained-Release of the Fungicide Cymoxanil. *Frontiers in Molecular Biosciences*, *8*, 212. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.627817>
- Zhu, G., Huang, F., Feng, L., Qin, B., Yang, Y., Chen, Y., & Lu, X. (2008). Sensitivities of *Phytophthora infestans* to Metalaxyl, Cymoxanil, and Dimethomorph. *Agricultural Sciences in China*, *7*(7), 831-840. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60120-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60120-0)
- Zubrod, J. P., Bundschuh, M., Arts, G., Brühl, C. A., Imfeld, G., Knäbel, A., Payraudeau, S., Rasmussen, J. J., Rohr, J., Scharmüller, A., Smalling, K., Stehle, S., Schulz, R., & Schäfer, R. B. (2019). Fungicides: An Overlooked Pesticide Class? *Environmental Science & Technology*, *53*(7), 3347-3365. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04392>

Apéndices