



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS



CARRERA DE AGRONOMÍA

TÍTULO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Evaluación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum* L.)”

DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

Edelmira Grimaneza Moreno Aldaz


TUTOR:

Ing. Edwin Leonardo Pallo Paredes, Mg.

CEVALLOS, 2023

**“Evaluación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío
(*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum* L.)”**

REVISADO POR:

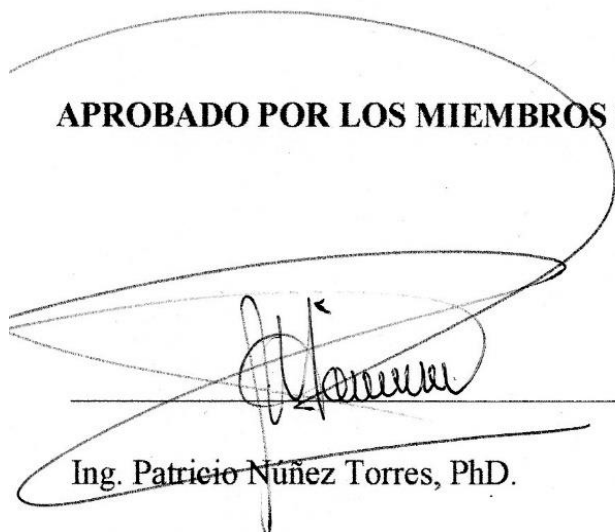


Ing. Edwin Leonardo Pallo Paredes, Mg.

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN:

Fecha



Ing. Patrieio Núñez Torres, PhD.

30/08/23

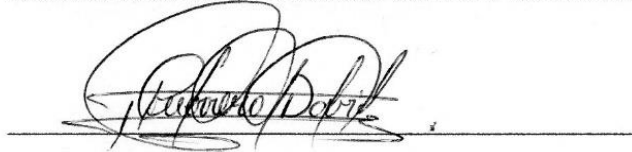
PRESIDENTE DE TRIBUNAL



Ing. Pérez Salinas Marco Oswaldo PhD.

30/08/23

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN



Ing. Mg. Guerrero Cando David Aníbal

30-08-2023

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Edelmira Grimaneza Moreno Aldaz**, portador de cédula de ciudadanía número: 1752950442, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “**Evaluación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum* L.)**” es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



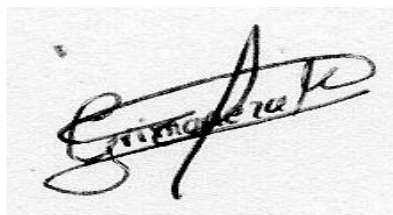
EDELMIRA GRIMANEZA MORENO ALDAZ

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “**Evaluación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum* L.)**” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.



EDELMIRA GRIMANEZA MORENO ALDAZ

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico de mi abuelita Rosita y a mis padres María y Oswaldo por ser el apoyo más grande en mi vida y el pilar fundamental en mis estudios y en mi vida. También lo dedico a mi hermano Jeremy, que a pesar de su corta edad me ha apoyado mucho. A mi tía Zoila que me ha aconsejado y guiado por el buen camino.

Se la dedico a William Freire por ser un gran novio, amigo y confidente y por ayudarme, apoyarme desde el inicio de la carrera.

Se la dedico a Tatiana porque aparte de ser una compañera es una gran amiga que me ha ayudado incondicionalmente. A mis amigos que la carrera me ha dejado que con sus locuras aliviaban un poco la tristeza.

Y a mis amuletos de la buena suerte mis peluditos, mis compañeros fieles que sin saber me salvaron y fueron mi compañía en las noches de desvelo, gracias Tyson, Dorado y Sultán.

También agradecer a todos aquellos que de una o otra forma participaron de esta etapa de mi vida, especialmente a mis amigos, quienes estuvieron presentes en los momentos más difíciles y me ayudaron a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias primeramente a Dios, a San Antonio de Padua por brindarme fuerza y fortaleza en mis estudios, igualmente por darme una gran madre y buena que fue el más grande apoyo en mi vida y en mis estudios y a mi padre que siempre ha luchado por darme lo mejor y sacarme adelante.

A la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y al personal docente en general que me ha impartido conocimientos durante mi periodo estudiantil los cuales me ayudan en mi vida profesional.

Agradezco a mi tutor Ing. Edwin Pallo por el apoyo durante la elaboración de mi proyecto, de igual manera al Ing. Carlos Vásquez por su apoyo, amistad y consejos.

Y para terminar agradezco a todas las personas que pusieron un granito de arena para culminar mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
INTRODUCCIÓN	1
<i>1.1. Antecedentes Investigativos.....</i>	<i>2</i>
1.2.1. El cultivo de la papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.).....	5
1.2.2. Valor nutritivo de la papa.....	8
1.2.3. Principales enfermedades del cultivo de la papa.....	9
1.2.4. Control de enfermedades en el cultivo de la papa.....	12
<i>1.3. Objetivos.....</i>	<i>16</i>
Objetivo general:.....	16
Objetivos específicos:	16
CAPÍTULO II	17
METODOLOGÍA	17
2.1. Ubicación del estudio.....	17
2.2. Materiales y equipos.....	17
2.4. Diseño experimental.....	19

2.5.	<i>Hipótesis</i>	19
2.6.	<i>Manejo del experimento</i>	19
2.6.1.	<i>Elaboración de los productos alternativos</i>	19
2.6.2.	<i>Bio-preparado (caldo sulfo calcico)</i>	20
2.6.3.	<i>Agri Dis</i>	21
2.6.4.	<i>Aplicación de Productos alternativos</i>	21
CAPÍTULO III.....		25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		25
3.1.	<i>Incidencia de tizón tardío</i>	25
3.2.	<i>Severidad de tizón tardío</i>	27
3.3.	<i>Altura de la planta</i>	31
3.4.	<i>Rendimiento</i>	33
CAPÍTULO IV.....		37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		37
4.1.	<i>CONCLUSIONES</i>	37
4.2.	<i>RECOMENDACIONES</i>	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		38
ANEXOS.....		45
Anexo 1. Fotografías del ensayo		46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Descripción de los tratamientos en estudio	18
Tabla 2	Lista de materiales para la preparación de la infusión de cola de caballo ...	19
Tabla 3	<i>Lista de materiales para la obtención bio-preparado (caldo sulfo calcico)</i>	20
Tabla 4	Criterios para la clasificación del tizón tardío de la papa.	22
Tabla 5	Análisis de varianza para la variable Incidencia	25
Tabla 6	Análisis de varianza para la variable Severidad.....	28
Tabla 7	Análisis de varianza para la variable altura de planta	32
Tabla 8	Análisis de varianza para la variable rendimiento	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Producción de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))</i>	6
Figura 2 <i>Rendimiento de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))</i>	7
Figura 3 <i>Área cosechada de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))</i>	7
Figura 4 <i>Fase asexual del ciclo de vida de P. infestans: los esporangióforos crecen a partir del tejido vegetal enfermo (A, B) y se liberan para su dispersión aérea como consecuencia de la disminución de la humedad relativa o se pueden dispersar en gotas de agua (C). La germinación indirecta libera zoosporas que, después del enquistamiento (D) y la germinación en el tejido de la planta hospedante producen lesiones visibles después de 2 a 4 días (E).</i>	11
Figura 5 <i>Síntomas foliares del tizón tardío de la papa, causado por Phytophthora infestans.</i>	12
Figura 6 <i>Escala gráfica para la determinación de la severidad e incidencia de la enfermedad.</i>	23
Figura 7 <i>Porcentaje de incidencia del tizón tardío por efecto del producto alternativo usado</i>	26
Figura 8 <i>Porcentaje de incidencia del tizón tardío por efecto de la dosis usada</i>	26
Figura 9 <i>Porcentaje de incidencia del tizón tardío en plantas de papa tratadas con productos alternativos a diferentes dosis</i>	27
Figura 10 <i>Tasa de crecimiento de plantas de papa tratadas con tres productos alternativos para el control de tizón tardío</i>	33
Figura 11 <i>Rendimiento en plantas de papa tratadas tres productos alternativos para el control de tizón tardío</i>	34
Figura 12 <i>Rendimiento de plantas de papa tratadas tres productos alternativos a diferentes para el control de tizón tardío</i>	35
Figura 13 <i>Cultivo establecido de papa donde se realizó el ensayo</i>	46
Figura 14 <i>Preparación de los productos para el control de tizón tardío</i>	46
Figura 15 <i>Toma de datos</i>	47

RESUMEN

El tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más destructivas de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en todo el mundo y su manejo depende en gran medida de la aplicación de fungicidas. Sin embargo, actualmente el uso de productos alternativos está adquiriendo mayor importancia en la agricultura. La investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la aplicación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío en papa. Se evaluó la eficiencia de las aplicaciones de tres productos (infusión de cola de caballo, caldo sulfocálcico y AgriDis) a dosis de 30, 60 y 90 ml/L a en plantas de papa en un cultivo ya establecido, haciéndose tres aplicaciones durante el cultivo. Se demostró un efecto del producto y la dosis sobre la incidencia de la enfermedad, siendo la infusión de cola de caballo y el caldo sulfocálcico los más eficientes, independientemente de la dosis usada, puesto que lograron disminuir la incidencia de la enfermedad entre 48 y 54%. Con relación a la severidad, todos los productos mostraron ser eficientes para disminuir la severidad de la enfermedad con valores por debajo del tratamiento testigo. Aun cuando no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las plantas de papa alcanzaron mayor altura cuando fueron tratadas con infusión de cola de caballo y AgriDis, ambos a dosis de 60 ml/L, con los que se obtuvieron plantas con 1.39 y 1.31 m, cada uno. En general, el mayor rendimiento fue obtenido en plantas que fueron tratadas con caldo sulfocálcico que tuvieron un rendimiento promedio de 6.74 tn/ha, seguido de las plantas tratadas con AgriDis que en promedio tuvieron un rendimiento de 5.95 tn/ha, mientras que las plantas tratadas con cola de caballo tuvieron un rendimiento 39.6 % menor que el máximo rendimiento. El uso de productos alternativos mostró que estos pueden ser eficaces para el control de tizón tardío en papa.

Palabras clave: control sustentable, manejo de enfermedades, papa, tizón tardío.

ABSTRACT

Potato late blight, caused by *Phytophthora infestans*, is one of the most destructive diseases of potato (*Solanum tuberosum* L.) worldwide, and its management largely depends on the application of fungicides. However, currently the use of alternative products is becoming more important in agriculture. The objective of the research was to evaluate the effects of the application of three alternative products for the control of late blight on potato. The efficiency of the applications of three products (horsetail infusion, sulphocalcium broth and AgriDis) at doses of 30, 60 and 90 ml to potato plants in an already established crop was evaluated, making three applications during the crop. An effect of product and dosage on disease incidence was demonstrated, with horsetail infusion and calcium polysulfide solution being the most efficient, regardless of the dosage used, as they reduced disease incidence by 48 to 54%. In relation to severity, all products proved to be efficient in decreasing disease severity with values below the control treatment. Even though no significant differences were detected among the treatments, potato plants reached greater height when treated with horsetail infusion and AgriDis, both at a dosage of 60 ml, resulting in plant heights of 1.39 and 1.31 meters, respectively. Overall, the highest yield was obtained in plants treated with calcium polysulfide solution, with an average yield of 6.74 tn/ha, followed by plants treated with AgriDis, averaging a yield of 5.95 tn/ha, whereas plants treated with horsetail infusion yielded 39.6% less than the maximum yield. The use of alternative products demonstrated that these can be effective for controlling late blight in potatoes.

Keywords: sustainable control, disease management, potato, late blight.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerado uno de los alimentos más importante y llega a ocupar el tercer lugar en términos de producción total, después del arroz y el trigo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023). Dada su valor alimenticio, la papa se cultiva en cerca de 150 países, siendo la base de alimentación principalmente en países en desarrollo (Virupaksh et al., 2016).

En Ecuador, la superficie de siembra de este tubérculo es de 50.000 hectáreas, con una producción promedio de 300.000 toneladas y un consumo *per cápita* de 30 kg por año (Pérez & Forbes, 2008). En la sierra ecuatoriana, después del maíz dulce, la papa es el segundo cultivo más importante, lo cual ha provocado que la cadena productiva de la papa haya crecido tanto que cerca de 80.000 agricultores se dedican a su comercialización y cultivo (MAGAP, 2023).

Aunque la producción de papa se ha incrementado en aproximadamente un 21% a nivel mundial, su productividad es seriamente afectada por varios tipos de estrés, incluyendo el ataque de microorganismos, tales como hongos, oomicetos, bacterias, virus (Agho et al., 2023; Birch et al., 2012), los cuales inciden sobre el rendimiento y beneficio económico de los agricultores.

Entre estos agentes causantes de enfermedades, el tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más destructivas de la papa en todo el mundo, por lo que se han realizado numerosos estudios sobre la etiología, epidemiología y control de la enfermedad. En la práctica, el manejo tradicional del tizón tardío depende en gran medida de la aplicación de fungicidas preventivos en forma regular durante su crecimiento (Lal et al., 2018).

Sin embargo, el uso de productos alternativos está siendo reconocido como un método sustentable de manejo de enfermedades de plantas. Este tipo de productos son sustancias y mezclas vegetales, animales o minerales de origen natural con propiedades nutritivas para plantas o con función de prevención y/o control de plagas y enfermedades. A lo largo de la historia, los bioproductos y productos alternativos se han desarrollado con base en observaciones empíricas de los procesos y efectos de control de dichos productos. Por lo tanto, la mayoría de los productos orgánicos no tienen factores definidos, y en muchos casos ni siquiera se conoce con precisión la ciudad o el país de origen. Estos procesos observacionales, realizados principalmente por agricultores, han atraído en los últimos años el interés de investigadores, empresas y organismos gubernamentales que han propuesto su uso a gran escala y comercial en la pequeña y gran agricultura (Price et al., 2010).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los biopreparados y el efecto que tiene al aplicar para el manejo integrado de *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa.

1.1. Antecedentes Investigativos

Con base en la creciente demanda de productos de fitoprotección alternativos y efectivos Lengai et al. (2022) evaluaron las propiedades antifúngicas de los extractos etanólicos de siete especias [jengibre (*Zingiber officinale*), cúrcuma (*Curcuma longa*), canela (*Cinnamomum* sp.), cardamomo (*Elettaria cardamomum*), hierba luisa (*Cymbopogon citratus*), clavo (*Syzygium aromaticum*) y pimienta negra (*Piper nigrum*)] contra *P. infestans*, encontrándose que el extracto de clavo (*Syzygium aromaticum*) fue el más activo e inhibió (100 %) el crecimiento de *P. infestans*, seguido de la pimienta negra (91 %), la cúrcuma (87 %) y el jengibre (85 %). Así mismo, se observó que los diferentes extractos redujeron la severidad de la enfermedad entre 29 y 40%, siendo la pimienta negra la más eficaz en condiciones de campo. Estos hallazgos muestran el potencial fungicida de las especias seleccionadas para el manejo del tizón tardío.

Middya et al. (2021) realizaron experimentos de campo para conocer el efecto de fungicidas (Mancozeb 75% WP, Chlorothalonil 33% + Metalaxyl 3.3% SC, Ethaboxam 40% SC) y biobotánicos (extracto de neem, de hoja de papaya, granada y/o pasta de jengibre) contra el tizón tardío de la papa (cv. Kufri Jyoti). Se demostró que el uso de Ethaboxam resultó ser más efectivo, aunque el Chlorothalonil + Metalaxyl, Chlorothalonil 75% PM) y Trichosol (*Trichoderma viride*) también fueron eficaces, mientras que los tratamientos a base de extractos botánicos resultaron en menor efectividad.

Por su parte, Islam et al. (2021) evaluaron la eficacia de diez extractos acuosos botánicos (extractos de hoja de *Syzygium cumini*, *Psidium guajava*, *Eucalyptus globulus*, *Carica papaya* y *Lawsonia inermis*; extractos de frutos de *Terminalia bellirica*, *T. chebula* y *Piper nigrum*; botones florales de *Syzygium aromaticum* y bulbos de *Allium sativum* todos al 5%) contra la incidencia y la severidad del tizón tardío en un campo experimental de papa. De diez productos botánicos, el extracto de hojas de *S. cumini* resultó ser el más eficaz para controlar la incidencia y severidad de la enfermedad hasta los 66 dds (días después de la siembra) y aumentó el rendimiento de la papa en un 71,29% en comparación con el testigo. Por otra parte, la eficacia del extracto de *L. inermis* resultó prometedora y aumentó el rendimiento de la papa en un 48,51%. Adicionalmente, otros cuatro extractos botánicos (*T. chebula*, *P. nigrum*, *S. aromaticum* y *C. papaya*) mostraron una eficacia moderada contra la incidencia y la gravedad de la enfermedad del tizón tardío y aumentaron un 30 % más el rendimiento de papa en comparación con el control. Estos resultados sugirieron que el extracto acuoso de *S. cumini* tiene un gran potencial como alternativa a los fungicidas químicos para controlar el tizón tardío de la papa de manera ecológica.

En vista de la dificultad para controlar el tizón tardío debido a que *P. infestans* tiene enzimas avanzadas y complejas y moléculas efectoras codificadas por genes de avirulencia, Choga et al. (2021) se evaluó la eficacia de los extractos en acetona, acetato de etilo y agua de moringa (*Moringa oleífera*), eucalipto (*Eucalyptus nigra*) y lantana (*Lantana camara*) sobre el porcentaje de inhibición y el crecimiento radial del tizón tardío en *Solanum esculentum*. Además, evaluaron la eficacia *in vivo* de

diferentes concentraciones de extracto de las tres especies botánicas sobre las enzimas de defensa, la incidencia y severidad de la enfermedad y los parámetros de rendimiento de *S. esculentum*. El incremento de la concentración de los extractos botánicos provocó una reducción significativa del crecimiento radial y aumentó el porcentaje de inhibición de *P. infestans*, pero, además, aumentó la actividad de la peroxidasa, la fenilalanina amoniaco lisada y la polifenol oxidasa. De manera similar, el rendimiento aumentó significativamente con el aumento de la concentración de extracto botánico. Con base en los resultados, se demostró que los extractos de acetato de etilo de *M. oleífera* y *E. nigra* y el extracto acuoso de *L. camara* contienen compuestos antifúngicos y pueden usarse como biofungicidas en el manejo del tizón tardío.

(Maharjan et al., 2010) señalan que el control del tizón tardío mediante el uso de extractos botánicos es uno de las estrategias más promisorias en el control de fitopatógenos. Es por ello que, estos autores evaluaron la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos de *Brassica nigra*, *Cinnamomum camphora*, *Eupatorium adenophorum*, *Lantana camara* y *Melia azedarach* sobre el crecimiento de *P. infestans*. Se encontró que los extractos de diferentes especies de plantas lograron inhibir el crecimiento de *P. infestans*, dependiendo de la concentración, siendo el extracto de *B. nigra* más eficaz en la reducción del crecimiento del patógeno con valores de Concentración Mínima Inhibitoria de 6,25 mg/ml, mientras que *C. camphora* fue la menos eficaz.

Otras alternativas ecológicas también han demostrado eficacia en el control del tizón tardío.

En un experimento donde se evaluaron diferentes estrategias de control *in vitro contra P. infestans* (control biológico, productos botánicos y productos químicos aprobados orgánicamente), Gopi et al. (2020) encontraron que el extracto de ajo, *Trichoderma harzianum*, el oxiclورو de cobre y el hidróxido de cobre fueron efectivos. En el caso del uso de *Trichoderma* provocó un porcentaje de inhibición osciló entre 42,66-70,33 %, mientras que, de un total de 13 extractos botánicos, el extracto de bulbo de ajo (*Allium sativum*) al 5% provocó el máximo porcentaje de inhibición (47,76 %),

seguido por la caléndula (*Tagetes erecta*) (41,10%). Así mismo, en un experimento de campo, se encontró que tanto el oxiclورو de cobre al 0,25% como el hidróxido de cobre al 0,25 % fueron más efectivos para el manejo del tizón tardío, debido a que lograron reducir el crecimiento de colonias de *P. infestans* con un 87,52 y 86,78%, respectivamente y el rendimiento fue el más alto.

Liljeroth et al. (2020) investigaron cómo se puede integrar el fosfito de potasio en los programas de control del tizón tardío con fungicidas en ensayos de campo y consiguieron que cuando se redujo la cantidad de fosfito y se combinó con cantidades reducidas de fungicidas convencionales se obtuvieron resultados similares en cuanto a la eficiencia de disminución de la enfermedad, rendimiento y el contenido de almidón de los tubérculos en comparación con los tratamientos completos con fungicidas convencionales. Estos resultados indican que el fosfito podría reemplazar algunos fungicidas sin exceder los niveles máximos de residuos en los tubérculos de papa. Este estudio demostró que el uso del fosfito dentro de las estrategias de manejo de la enfermedad permitiría la reducción del uso de los fungicidas convencionales.

Categorías fundamentales

1.2.1. El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerado el cultivo más importante del mundo, ocupando el tercer lugar en términos de producción total con más de 376 millones de toneladas por año (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023), después del arroz y el trigo. Se cultiva en alrededor de 150 países de clima templado o tropical, principalmente en países en desarrollo, donde se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 m y se señalan más de mil millones de personas que incluyen a la papa como parte de su dieta básica (Virupaksh et al., 2016).

La mayor producción es observada en los países asiáticos con 197.535.979 ton, seguido de Europa (102.507.648 ton) y América (46.151.291,8 ton), sin embargo, los máximos rendimientos son obtenidos en Oceanía (425813 hg/ha), América (294496

hg/ha) y Europa (236277 hg/ha) (Figs. 1 y 2). Mientras que la mayor área cosechada ocurre en Asia, seguido de Europa, África y América (Fig. 3).

Las papas autóctonas primitivas cultivadas (landrace) y las variedades silvestres (pertenecientes a *Solanum* sección Petota) forman la base de germoplasma que se utiliza para cultivar variedades avanzadas de papa (Ovchinnikova et al., 2011). De acuerdo con Ovchinnikova et al. (2011), las papas autóctonas se cultivan en la cordillera andina desde el oeste de Venezuela hasta el norte de Argentina a alturas entre los 3000 y 4000 m, mientras que las poblaciones de razas locales en México y América Central son introducciones más recientes.

En la mayor parte de las especies silvestres se forman estolones largos en los cuales se forma un tubérculo en la parte final, pero en algunas especies de la serie *Piruana* se forman en toda la longitud del estolón, con tamaños que varían desde muy pequeños como en *S. clarum* y *S. morelliforme* hasta tubérculos más grandes, similar a las especies cultivadas como en *S. burtonii* y *S. candolleianum* (Rodríguez, 2010).

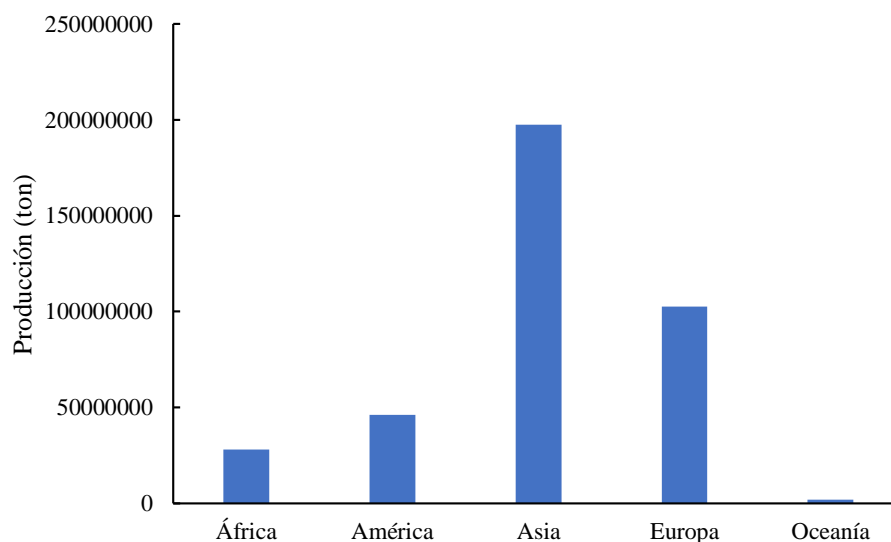


Figura 1

Producción de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))

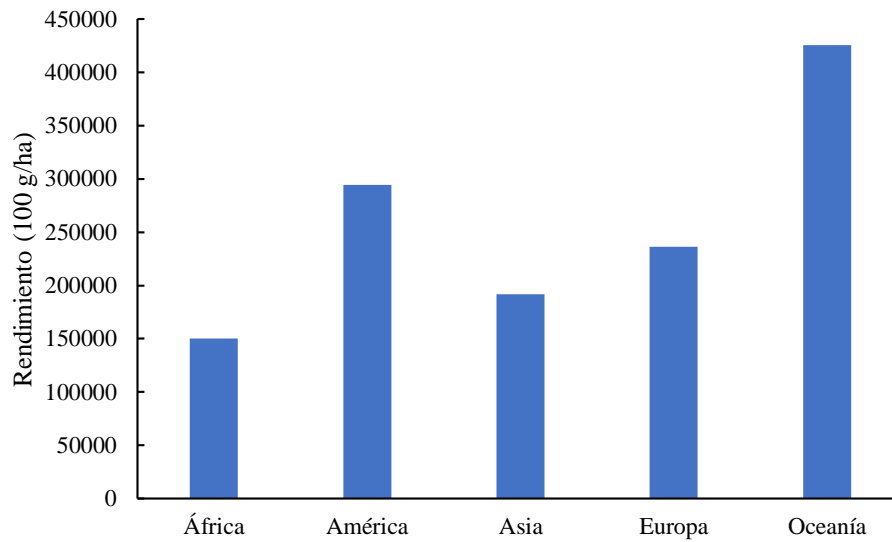


Figura 2

Rendimiento de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))

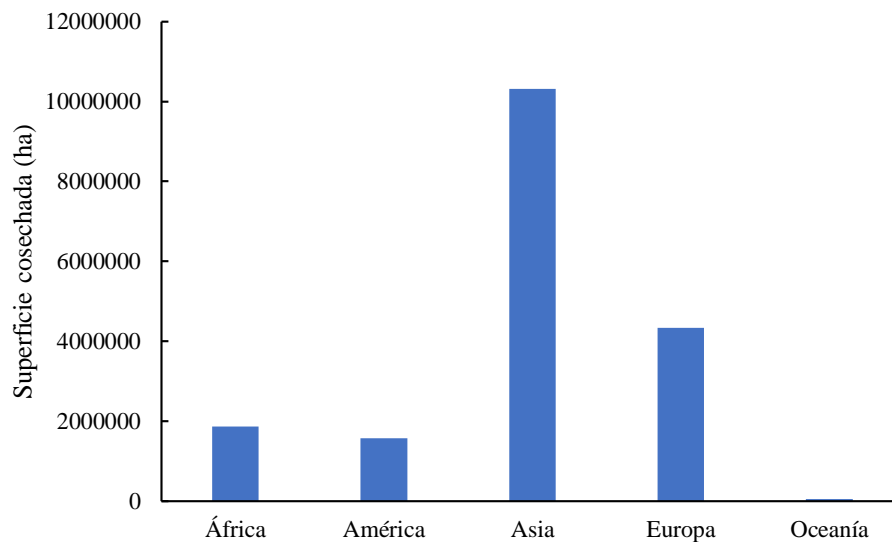


Figura 3

Área cosechada de papa en los diferentes continentes durante el 2021 (Datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023))

La especie *Solanum tuberosum* surgió de especies silvestres en el complejo *Solanum brevicaulis* en el sur de Perú, mientras que las tres especies domesticadas más raras (*S.*

ajanhui, *S. curtilobum* y *S. juzepczukii*) se formaron más tarde por hibridación de *S. tuberosum* con especies silvestres menos emparentadas de la serie *Acaulia* y *Megistacroloba* (Ovchinnikova et al., 2011). Las razas locales presentan una amplia variedad de formas y colores de piel y tubérculos diferentes a las variedades mejoradas modernas (Rodríguez, 2010).

1.2.2. Valor nutritivo de la papa

Las papas se consumen principalmente en todo el mundo como alimento humano en diferentes formas, como cocidas, papas fritas, hojuelas, polvo (Araújo et al., 2016). En comparación con otros cultivos de tubérculos, la papa tiene altos contenidos de nutrientes con aproximadamente un 2,1 % del peso fresco, ricas en fibra, además, contiene potasio y ácido ascórbico en altas cantidades según los requerimientos nutricionales humanos (Aktas et al., 2016; Hou et al., 2022).

Al inicio de la revolución agrícola, los consumidores seleccionaban papas en función de las características como el color, forma, tamaño y aspecto de la piel del tubérculo, sin embargo, los estudios epidemiológicos han señalado la importancia nutritiva de la papa que tienen un rol importante en la prevención de enfermedades crónico degenerativas como cáncer, diabetes, asma, trastornos cardiovasculares, tuberculosis, entre muchas otras (Mwakidoshi, 2021).

De acuerdo con Ibañez et al. (2021), las proteasas aspárticas de *Solanum tuberosum* (StAP) muestran una permeabilización selectiva de la membrana plasmática, lo que induce la citotoxicidad de las células cancerosas frente a las células normales *in vitro*. Así, se encontró que la toxicidad de una sola dosis alta de *StAP3* (10 µg/g de peso corporal, por vía intraperitoneal) aplicada en ratones mostró inhibición significativa del crecimiento tumoral, sin signos de toxicidad en los ratones tratados, lo que sugiere el potencial de estas proteasas vegetales como agentes anticancerígenos.

Por otra parte, el contenido de Zn de la papa es alto oscilando entre 24,49 (blanca) y 27,26 mg/kg (amarillas), mientras que en otras variedades puede alcanzar hasta 53,94 mg/kg, las cuales se constituyen en material ideal para la biofortificación para reducir

el problema de deficiencia de Zn-Se, pues este micronutriente es esencial en la dieta humana, debido a que actúa como cofactor para varias enzimas celulares, por lo tanto, su deficiencia provoca problemas de salud en niños y mujeres, especialmente en los países en desarrollo (Karan, 2023).

1.2.3. Principales enfermedades del cultivo de la papa

a. El efecto de los fitopatógenos en el cultivo de papa

La producción de papa ha aumentado dramáticamente, especialmente en los países en desarrollo, con un aumento mundial del 21% en las últimas dos décadas, lo que indica su creciente importancia como fuente de alimento básico, sin embargo, su productividad puede ser afectada por varios estreses bióticos, incluyendo el ataque de microorganismos, tales como hongos, oomicetos, bacterias, virus (Agho et al., 2023; Birch et al., 2012).

Los microorganismos fitopatógenos son agentes causales de una amplia gama de enfermedades en los cultivos que se traducen en reducción de la calidad del tubérculo con disminución del rendimiento estimado en 17,2 % a nivel mundial, lo que representa un riesgo económico y una amenaza para la seguridad alimentaria mundial (Savary et al., 2019).

Entre los hongos fitopatógenos que con mayor frecuencia se encuentran asociados a la producción de papa son: *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Phoma exigua*, *Helminthosporium solani*, *Colletotrichum coccodes*, *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans*, algunos de los cuales son capaces de producir micotoxinas (Liu et al., 2021; Steglińska et al., 2023).

b. Tizón tardío de la papa

En este sentido, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary., causante del tizón tardío es uno de los principales estreses bióticos de la papa en campo a nivel mundial (Runno-Paurson et al., 2022). Este agente patógeno perteneciente a la clase Oomicetes dentro el reino Chromista, tiene un desarrollo rápido en condiciones de alta humedad y puede

sobrevivir durante días o incluso semanas, aunque sus esporangios no pueden soportar temperaturas bajo cero (Lagos-Regalado et al., 2021).

A pesar de los esfuerzos significativos para su control, el cual está principalmente basado en el uso de productos fungicidas, y que puede llegar a representar entre el 10 y el 29,9% de los costos de producción, el tizón tardío de la papa sigue siendo la principal limitante en la producción de papa a nivel mundial con una pérdida anual estimada de alrededor de € 6100 millones (Birgit et al., 2020; Lagos-Regalado et al., 2021).

Además del cultivo de papa, *P. infestans* también puede infectar otras plantas solanáceas, como el tomate y bajo condiciones favorables, el patógeno puede propagarse fácilmente de una planta a otra y puede destruir todo el campo (Fry, 2008).

c. Ciclo biológico de P. infestans

Según Fry (2008), el ciclo biológico de *P. infestans* se resume en la figura 4

Phytophthora infestans es un oomiceto heterotálico y es un patógeno hemibiotrófico casi obligado en condiciones naturales y agrícolas. Durante el ciclo asexual, el cual permite el crecimiento rápido de la población en el tejido de la planta hospedera susceptible, donde los esporangios se producen en esporangióforos y son fácilmente dehiscentes, particularmente en respuesta a cambios en la humedad relativa, y pueden dispersarse a otros tejidos vegetales a través del aire. Los esporangios germinan en agua libre a través de un tubo germinativo a temperaturas entre 20 y 25 °C, mientras que a bajas temperaturas 10 y 15 °C libera zoosporas sin paredes.

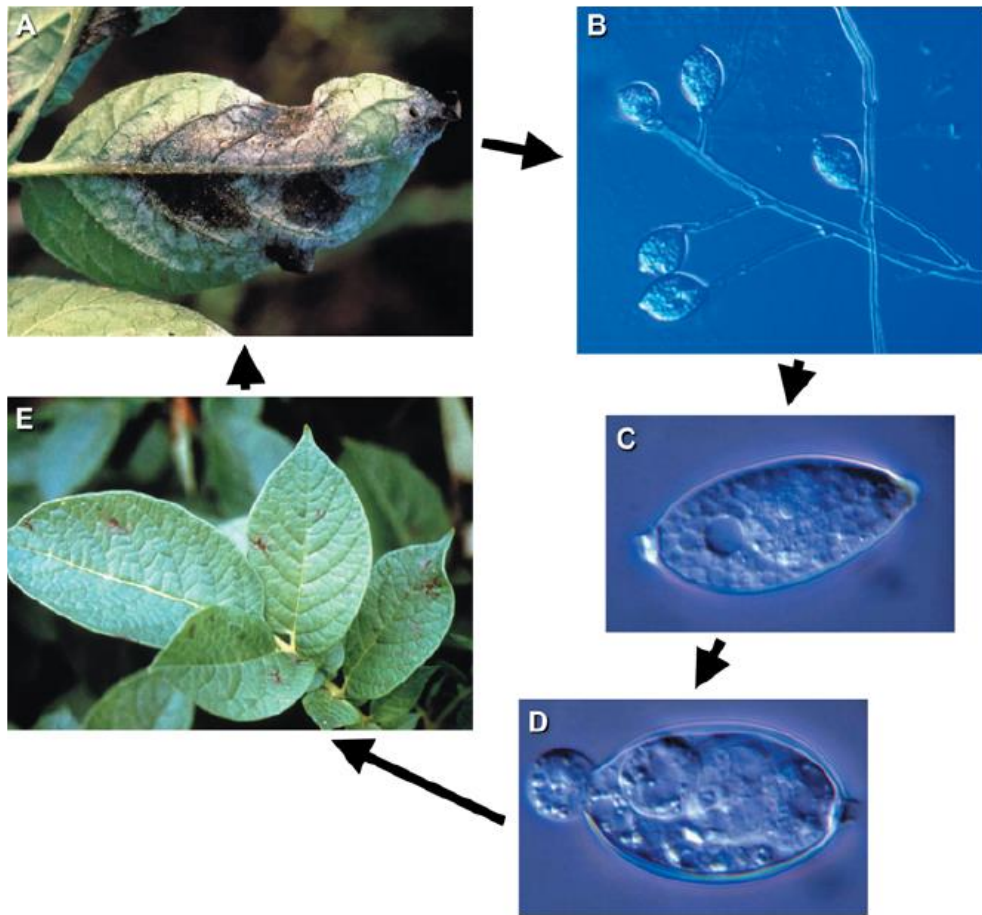


Figura 4

*Fase asexual del ciclo de vida de *P. infestans*: los esporangióforos crecen a partir del tejido vegetal enfermo (A, B) y se liberan para su dispersión aérea como consecuencia de la disminución de la humedad relativa o se pueden dispersar en gotas de agua (C). La germinación indirecta libera zoosporas que, después del enquistamiento (D) y la germinación en el tejido de la planta hospedante producen lesiones visibles después de 2 a 4 días (E).*

Fuente: (Fry, 2008)

Las zoosporas biflageladas son móviles y se enquistan después de un corto período que luego germinan directamente a través de un tubo germinativo para penetrar en el tejido de la hoja o del tallo. Después de la infección, generalmente no hay síntomas visibles durante al menos 2 días (característico de un hemibiótrofo), después de lo cual son visibles pequeñas áreas de necrosis. Dentro de uno o dos días y bajo temperaturas

moderadas y en presencia de humedad, se producen esporangióforos, con muchos esporangios, hasta 300.000 por lesión.

Los síntomas del tizón tardío en las hojas de papa son lesiones húmedas (Fig. 5), a menudo rodeadas por un halo de esporangios suaves y blancos, que se forman en los esporangióforos que salen de los estomas de las hojas (Yuen, 2021).



Figura 5

*Síntomas foliares del tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans**
Fuente: Yuen (2021)

1.2.4. Control de tizón tardío

1.2.4.1. Control químico del tizón tardío de la papa

A nivel mundial, la estrategia más frecuente para el control del tizón tardío en la mayoría de las áreas productoras de papa continúa basándose en el uso de fungicidas químicos, los cuales están agrupados en tres tipos principales de acuerdo con su modo de acción, en fungicidas protectores, curativos y antiesporulantes (Dong & Zhou, 2022).

Los fungicidas protectores son usados para prevenir la infección por *P. infestans* puesto que interfieren en la germinación de esporas y/o la penetración inicial de los procesos superficiales de la planta, por lo tanto, estos deben ser aplicados al cultivo antes de la llegada y germinación de las esporas del patógeno (Dong & Zhou, 2022; Lamichhane et al., 2018).

Por su parte, los plaguicidas curativos actúan sobre el crecimiento de las hifas de *P. infestans* aun cuando ya el patógeno haya iniciado su penetración inicial y colonización localizada de los tejidos vegetales, pero antes de la aparición de síntomas visibles y la reaparición de los esporangióforos (Dong & Zhou, 2022). Finalmente, los fungicidas antiesporulantes son usados para reducir la formación de esporangióforos y esporangios.

Adicionalmente, los fungicidas pueden clasificarse en función del sitio de actividad en fungicidas de contacto, los cuales permanecen en la superficie de los tejidos de las plantas después de la aplicación y, por lo tanto, son propensos a escurrirse por factores ambientales como el viento y la lluvia, fungicidas translaminares, que son absorbidos por la planta y retenidos dentro del tejido tratado localmente y, finalmente los fungicidas sistémicos que se transportan a través de la planta después de la aplicación y absorción iniciales (Dong & Zhou, 2022).

Se ha estimado que entre 1990 y 2018, la cantidad de fungicidas y bactericidas utilizados en todo el mundo aumentó de 393 a 530 millones de kg (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2022) con evidencias documentadas de la aparición de cepas resistentes, debido a que el control de las principales enfermedades de plantas depende de solo unas pocas clases de productos químicos debido a problemas de eficacia o residuos (Hu & Chen, 2021).

Por lo tanto, el uso y aplicación de los fungicidas debería contar con la asesoría por personal entrenado y con amplios conocimientos para complementar la ventaja de cada tipo de plaguicida en función del estado fenológico del cultivo y la dinámica del patógeno de manera de poder adoptar la estrategia más efectiva y rentable de control del tizón tardío (Dong & Zhou, 2022).

Aparte de los problemas de resistencia generados por el uso indiscriminado de estos productos químicos, existen también riesgos económicos y ambientales asociados con la aplicación de plaguicidas químicos. Por ejemplo, en algunas zonas productoras de papa, se han requerido hacer hasta 20 aplicaciones por ciclo de cultivo para obtener un control efectivo, lo cual incrementa los costos de producción de manera significativa, llegando a representar del 10 al 25% del valor de las ventas (Naumann et al., 2020). Además, el uso indiscriminado de estos fungicidas ha provocado la aparición de poblaciones resistentes de *P. infestans*, fomentando la aplicación de dosis y frecuencias más altas y el uso de mezclas de plaguicidas con diferentes modos de acción con consecuencias negativas en el ambiente (Ballu et al., 2021).

1.2.4.2. Otros métodos alternativos de control del tizón tardío de la papa

Aunque el control del tizón tardío ha estado principalmente basado en el uso de fungicidas, las investigaciones demuestran que el manejo de esta enfermedad requiere de la integración de varias estrategias que incluyen uso de cultivares resistentes, fungicidas y prácticas culturales y aquellos agricultores que utilizan el manejo integrado de plagas han logrado disminuir el uso de fungicidas químicos con mejoras evidentes en el rendimiento y calidad del cultivo (Singh, 2023).

a. Control a través de prácticas culturales

De acuerdo con Kirk et al. (2004), la principal estrategia para el manejo del tizón tardío de es la protección a través del uso de prácticas culturales adecuadas que contribuyan con la reducción de la supervivencia, reproducción, diseminación y penetración del patógeno en el cultivo lo que conlleva a reducir la población de la enfermedad.

El mejor método de control del tizón tardío es mantener controlada las fuentes de inóculo, tales como papas de descarte, tubérculos semilla y plantas de papa infectadas remanentes del ciclo anterior y de ser posible usar preferiblemente semillas certificadas (H. Singh, 2023).

Otras prácticas útiles son, por un lado, el mantenimiento de la sanidad del campo, para lo cual deben eliminarse restos de cosecha con signos y síntomas del patógeno, control

de malas hierbas y hospedantes alternativos del tizón tardío y, por el otro lado, la consideración de la fecha de siembra adecuada, el uso de prácticas de aporque, el manejo de la nutrición de las plantas y técnicas de riego pueden contribuir con la disminución de las poblaciones del patógeno (Nyankanga et al., 2004; Perez et al., 2022).

b. Uso de fungicidas botánicos

En los últimos años, la búsqueda de alternativas de control ha mostrado un interés creciente en el uso de extractos de plantas para el control de oomicetos, con resultados promisorios contra *P. infestans*, incluso algunas pruebas *in vitro* han mostrado ser tan efectivas como los fungicidas sintéticos (Singh, 2023).

En consideración con la eficiencia mostrada por los productos fungicidas de origen botánico, recientemente se han desarrollado, aprobado y usado nuevas clases de productos fitosanitarios naturales en la práctica agrícola, entre los cuales se incluye el aceite esencial de jojoba (nombres comerciales: Detur, E-Rasem, Eco E-Rase, Permatrol, Erase™), el aceite esencial de romero (nombres comerciales: Ecotrol™, Sporan™, Ecosmart), entre otros (Deresa & Diriba, 2023).

Además de la eficiencia de control debido a que presentan múltiples mecanismos de acción por la mezcla de ingredientes activos los fungicidas botánicos tienen una serie de ventajas tales como la baja toxicidad para los organismos que no son el objetivo, incluidos los humanos, procesos de producción relativamente sencillos y económicos, y riesgos reducidos para la salud durante la aplicación debido a la baja toxicidad de residuos (Suteu et al., 2020).

Adicionalmente, estos fungicidas botánicos disminuyen la probabilidad de desarrollo de resistencia y la contaminación ambiental debido a que son biodegradables (Santra & Banerjee, 2020; Yoon et al., 2013) y desde el punto de vista económico, son más asequibles, son más respetuosos del medio ambiente que los fungicidas sintéticos, son selectivos y específicos y se pueden usar en combinaciones para reducir la cantidad de productos químicos (Singh Gurjar et al., 2012).

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar los efectos de la aplicación de tres productos alternativos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum* L.)

Objetivos específicos:

- Determinar el mejor producto alternativo para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*)
- Establecer la mejor concentración de los productos alternativos para el control de tizón en papa (*Solanum tuberosum* L)
- Calcular el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L) tras las aplicaciones de varios productos alternativos para el control de tizón tardío.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del estudio

El presente experimento fue conducido en el Caserío Teligote, ubicado en Cantón de Pelileo, provincia de Tungurahua con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud:01°14' 00" S y 78° 03' 10" Longitud W.

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Equipos

Balanza

Bomba de Fumigar

2.2.2. Materiales

Plantas de papa variedad Súper Chola

Agri Dis

Caldo sulfocálcico

Producto alternativo (Infusión de cola de caballo *Equisetum arvense* L)

Agua de lluvia 5.1.3.

2.2.3. Materiales de oficina

Computadora

Cámara fotográfica

Cuaderno de campo

Bolígrafos

Marcadores

Hojas de papel bond y perforadas a cuadros

2.3. Factores de estudio

2.3.1. Productos Alternativos

A1: Producto Alternativo 1 (Infusión de cola de caballo)

A2: Producto Alternativo 2 (Caldo sulfocálcico)

A3: Producto Alternativo Agri Dis (Dióxido de cloro)

2.3.2. Dosis de aplicación de los productos alternativos

Infusión de Cola de caballo y caldo sulfo cálcico

✓ B1:30 ml/ L

✓ B2:60 ml/ L

✓ B3:90 ml/L

Agri Dis

✓ C1: 5 ml/L

✓ C2: 10 ml/L

✓ C3: 15 ml/L

Testigo: sin aplicación

Tabla 1

Descripción de los tratamientos en estudio

Número de tratamiento	Simbología	Descripción
1	A1B1	Producto Alternativo 1 dosis – 30ml/L
2	A1B2	Producto Alternativo 1 dosis – 60ml/L
3	A1B3	Producto Alternativo 1 dosis – 90ml/L
4	A2B1	Producto Alternativo 2 dosis – 30ml/L
5	A2B2	Producto Alternativo 2 dosis – 60ml/L
6	A2B3	Producto Alternativo 2 dosis – 90ml/L
7	A3C1	Producto Alternativo 3 Agri Dis dosis – 5ml/L
8	A3C2	Producto Alternativo 3 Agri Dis dosis – 10ml/L

9	A3C3	Producto Alternativo 3 Agri Dis dosis – 15ml/L
10	Testigo	Sin aplicación

2.4. Diseño experimental

El ensayo fue conducido en un Diseño Experimental de Bloques al Azar (DCA) en un arreglo factorial de (3 x 3+ 1), con el primer factor representado por el tipo de producto alternativo (infusión de cola caballo, caldo sulfo cálcico y Agri Dis) y el segundo factor representado por las diferentes dosis de los productos, más un tratamiento testigo en el cual no se hizo ninguna aplicación.

2.5. Hipótesis

H₀= Ningún producto alternativo afecta el desarrollo normal de (*Phytophthora infestans*) causante del tizón tardío en papa (*Solanum tuberosum* L.).

H₁= Al menos un producto alternativo afecta el desarrollo normal de (*Phytophthora infestans*) causante del tizón tardío en papa (*Solanum tuberosum* L.)

2.6. Manejo del experimento

2.6.1. Elaboración de los productos alternativos

Elaboración de la infusión de cola de caballo (*Equisetum arvense* L)

Tabla 2

Lista de materiales para la preparación de la infusión de cola de caballo

Materiales	Cantidades
Hojas y tallos de cola de caballo	1 kg
Agua de lluvia	1 litro
Recipiente plástico con tapa	1 unidad
Tijera	1 unidad

Cocina o fuente de calor	1 unidad
--------------------------	----------

Para la preparación de la infusión de la cola de caballo, las hojas y tallos fueron picadas con una tijera para obtener trozos pequeños de la planta, los cuales fueron colocados en un recipiente con agua de lluvia. Posteriormente fue sometido a cocción hasta punto de ebullición, se mantuvo a fuego lento durante 10 a 15 minutos y luego se dejó en reposo durante 12 horas. Después de este período, la infusión fue filtrada usando una tela de poro fino para separar los sólidos de la fase líquida.

Para mejorar la adherencia del producto, fueron disueltos 100 g de jabón blanco para lavar ropa en el preparado, de acuerdo con lo señalado por Lanzarote (2013).

2.6.2. *Bio-preparado (caldo sulfo calcico)*

Tabla 3

Lista de materiales para la obtención bio-preparado (caldo sulfo calcico)

Materiales	Cantidades
Cal viva (oxido de calcio)	2 lb
Azufre	2 lb
Agua de lluvia	20 litros
Estufa	1 unidad
Barril de Metal	1 unidad

La preparación fue hecha siguiendo las recomendaciones del PortalFruticola (2018) que sugiere hacer el pesado de la cal y el azufre en una balanza. Para iniciar, se coloca agregan 20 L de agua en un recipiente de metal y se somete a fuego hasta punto de ebullición. Una vez que el agua este hirviendo se agrega la cal y se disuelve mediante agitación, luego se agrega el azufre y continuar agitando con una vara de madera a fuego alto durante una hora. Después de este tiempo estará listo y la mezcla pasó de un color de amarillo a rojo ladrillo. La mezcla fue almacenada cuando estuvo

completamente frío usando recipientes de plástico oscuros. Se sugiere que el operario utilice mascarillas de protección para evitar la inhalación de vapores y polvos.

2.6.3. *Agri Dis*

La composición de Agri Dis es Cloruro de Dioxígeno (Dióxido de Cloro) puro y estable, el cual ha mostrado tener un efecto en el control eficaz de hongos, bacterias y virus. Para su aplicación se puede utilizar bomba a mochila, drench, estacionaria, o incluso con sistema de fumigación de última generación. Ayuda al control de patógenos del suelo que entran en contacto con las plantas, al ser un producto ecológico certificado es inofensivo para personas, animales, plantas, fuentes de agua y suelo.

2.6.4. *Aplicación de Productos alternativos*

Las aplicaciones de los diferentes tratamientos fueron realizadas en cultivos de papa ya establecido con uso de una bomba de mochila. Las aplicaciones fueron hechas tres veces durante el cultivo a intervalos de tres semanas.

2.7. Toma de datos

Cinco a siete días después de la aplicación de productos alternativos al cultivo, se tomaron datos sobre porcentaje de incidencia y severidad y tasa de crecimiento de la planta, mientras que, el rendimiento fue evaluado al final del ciclo del cultivo.

2.8. Variable Respuesta

2.8.1. *Porcentaje de incidencia*

Se evaluó la incidencia del tizón tardío en función de los síntomas externos en la planta. Para su evaluación se contabilizó el número de plantas con síntomas de tizón tardío dentro de cada una de las unidades experimentales. Los síntomas considerados fueron: planta más pequeña, amarillenta o con necrosis una semana después de la aplicación. Así, la incidencia del hongo fue obtenido dividiendo el número de plantas

con síntomas de *P. infestans* entre el número total de plantas, multiplicado por 100 (Pérez Moreno et al., 2016).

2.8.2. Porcentaje de severidad

La severidad fue evaluada en la superficie foliar a partir de la presencia de síntomas como signos, manchas o pústulas de la enfermedad. Para esto, la hoja de papa fue dividida en cuatro partes para estimar el porcentaje del área de la hoja afectada por el hongo (Fig. 6). Esta evaluación fue hecha semanalmente para determinar la evolución de la enfermedad de acuerdo a la escala presentada por (Hou et al., 2022).

Tabla 4

Criterios para la clasificación del tizón tardío de la papa.

Nivel de enfermedad	Porcentaje	Síntomas
Saludable (nivel 0)	0	Sin manchas de enfermedad
Enfermedad leve (nivel 1)	<10	Manchas pequeñas, de color verde claro a oscuro, de forma irregular
enfermedad moderada (nivel 2)	10-50	Lesiones grandes de color marrón oscuro en la superficie de la hoja
Enfermedad severa (nivel 3)	>50	Moho blanco en la superficie de la hoja cuando el ambiente está húmedo, o toda la hoja se seca y se encoge cuando está seca

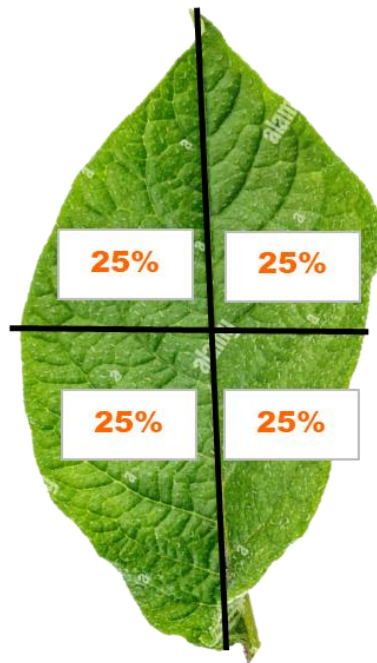


Figura 6

Escala gráfica para la determinación de la severidad e incidencia de la enfermedad

2.8.3. Rendimiento

El rendimiento de tubérculos por hectárea por tratamiento fue obtenido aplicando la fórmula de Hay y Walker (1989) que es la siguiente:

Rendimiento= N° de plantas x N° de tubérculos por planta x peso promedio del tubérculo fresco (kg).

2.8.4. Tasa de crecimiento

El crecimiento de la planta fue medido cada tres días con el uso de una regla o cinta métrica desde la base de la planta hasta el punto más alto.

2.9. Procesamiento de la información

Los datos sobre incidencia, severidad, crecimiento de la planta y rendimiento fueron sometidos a análisis de varianza y aquellas variables que mostraron diferencias significativas fueron comparadas mediante prueba de medias según Tukey ($p < 0.05$) usando el programa estadístico Statistix versión 10 para Windows.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Incidencia de tizón tardío

Se detectó efecto tanto del producto (g.l.= 2; F= 561,09), la dosis de aplicación sobre el porcentaje de incidencia del tizón tardío (Tabla 5). Basándose en la incidencia de la enfermedad después de la aplicación de los diferentes productos alternativos a las dosis consideradas en el estudio, se encontró que la infusión de cola de caballo y el caldo sulfocálcico fueron más efectivos en comparación con la efectividad del AgriDis (Fig. 7).

Con relación al efecto de la dosis, se observaron mejores resultados con la aplicación de la mayor dosis del producto con la que se observó un 58% de incidencia, seguido de la dosis intermedia donde las plantas mostraron 61% de incidencia y, por último, la aplicación de la menor dosis evidenció 63% de incidencia (Fig. 8).

Cuando se analizó el efecto combinado del producto por la dosis se encontró que los mejores resultados fueron alcanzados con la aplicación de infusión de cola de caballo y caldo sulfocálcico con cualquier de las dosis con los cuales la incidencia varió desde 52-54% y 48-53%, respectivamente (Fig. 9).

Tabla 5

Análisis de varianza para la variable Incidencia

Fuentes de Variación	gl	CM	F
Tratamiento	9	0,05	106,01**
Producto	2	0,21	561,09**
Dosis	2	0,01	13,49**
Producto*Dosis	4	6,1E-04	1,59ns
Error	18	5,1E-04	
Total	29		

ns: no significativo; **: altamente significativo *: significativo

La tabla 5 muestra el análisis de varianza para la variable incidencia del tizón tardío en plantas de papa. Se observa que existen diferencias altamente significativas por cada efecto individual mientras que no se observó efecto de la dosis ni la interacción entre dosis y producto, con un coeficiente de variación de 3.64%.

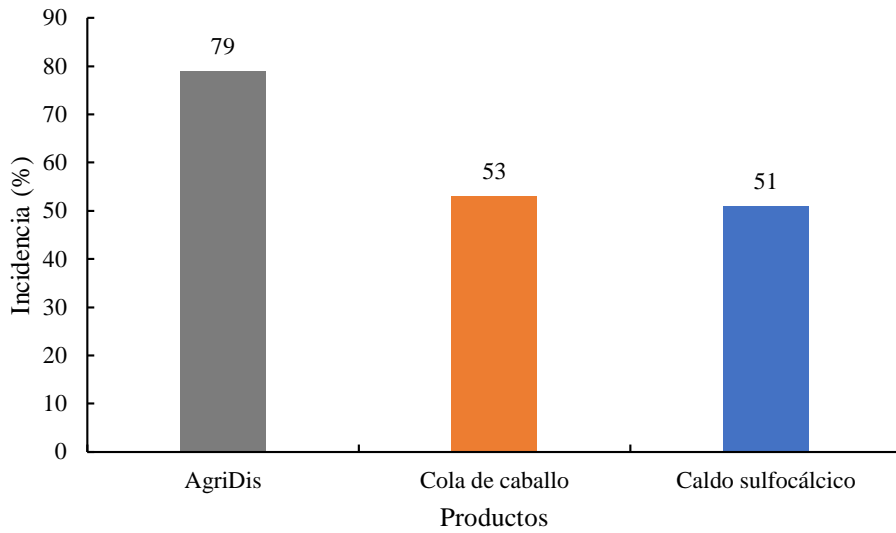


Figura 7

Porcentaje de incidencia del tizón tardío por efecto del producto alternativo usado

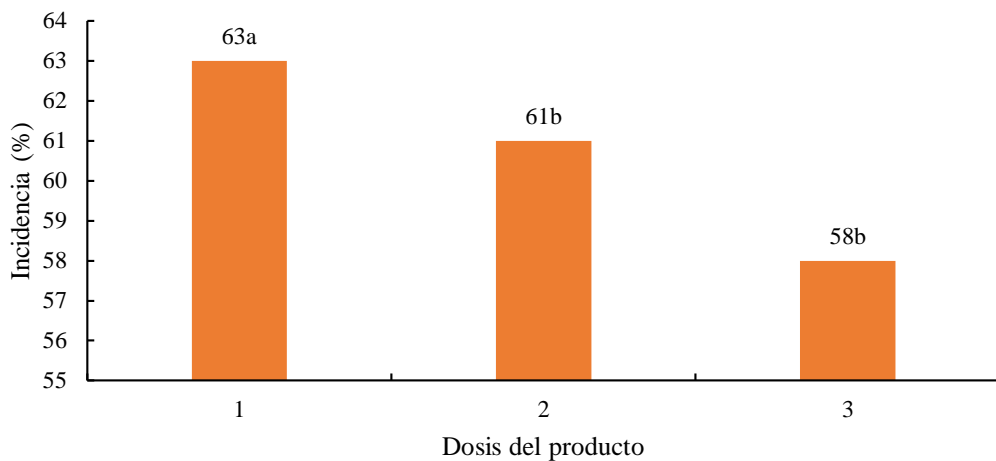


Figura 8

Porcentaje de incidencia del tizón tardío por efecto de la dosis usada

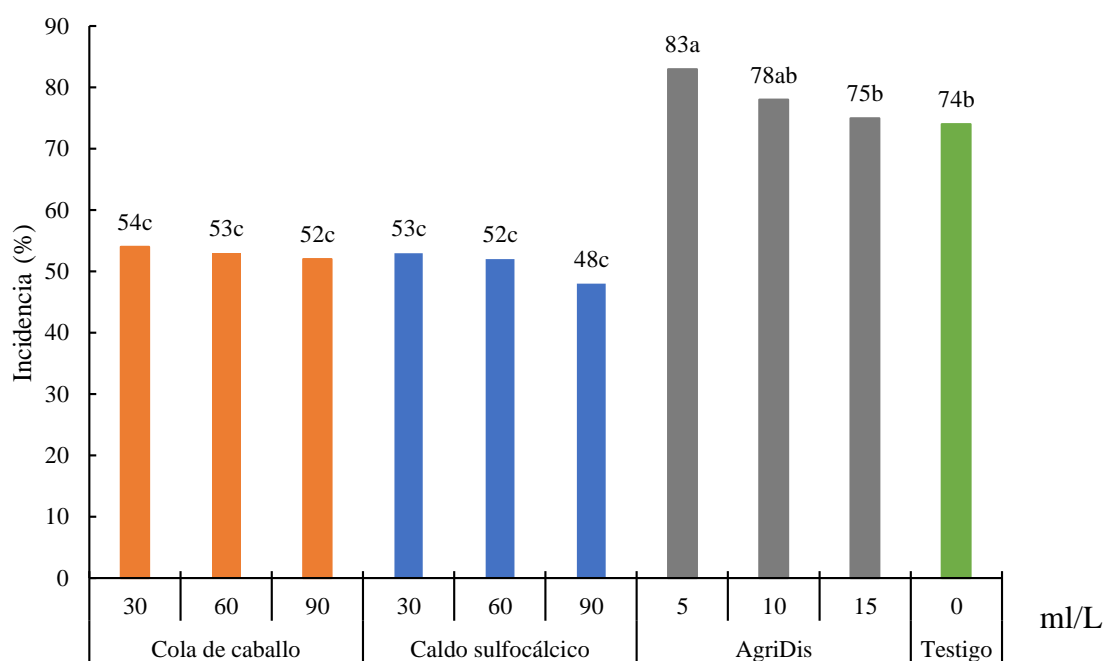


Figura 9

Porcentaje de incidencia del tizón tardío en plantas de papa tratadas con productos alternativos a diferentes dosis

3.2. Severidad de tizón tardío

La severidad del tizón tardío fue reducida por efecto de los tres productos aplicados (infusión de cola de caballo, caldo sulfocálcico y AgriDis), independientemente de la dosis aplicada, con los cuales el porcentaje de severidad fue menor con respecto al tratamiento testigo, aun cuando estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, ($g.l.= 9$; $F= 1.49$) (Tabla 6). Cuando se usó la infusión de cola de caballo, la severidad varió desde 44% cuando se usó a la dosis de 90 ml, mientras que cuando se aplicaron dosis menores la severidad fue de 58%. Con el uso de caldo sulfocálcico la severidad de la enfermedad varió de 50 hasta 59%, con las dosis de 30 y 60 ml, respectivamente, mientras que a la dosis de 90 ml la severidad alcanzó un 56%. Finalmente, con el uso de AgriDis, la severidad varió desde 52 hasta 60% con la dosis mayor y la intermedia, respectivamente. En general, las plantas del tratamiento testigo mostraron el mayor porcentaje de severidad (72%), con lo cual se verifica que

estos productos lograron reducir la severidad del tizón tardío entre un 16.7 y 27.8%, respecto al tratamiento testigo.

Tal como señalaron Kassaw et al. (2021), a los 96 días después de la siembra, el mayor porcentaje de severidad fue observado en la variedad susceptible de papa no tratadas (84.76 %), mientras que la menor severidad fue observada en plantas de la variedad Belete con cuatro aplicaciones de fungicida (26,03%). De acuerdo con los autores, la variación en el porcentaje de severidad podría deberse no solo a la acción del producto aplicado sino también a la diferencia genética entre las variedades para resistir las epidemias de tizón tardío.

Tabla 6

Análisis de varianza para la variable Severidad

Fuente de variación	g.l.	CM	F
Tratamiento	9	0,02	1.49ns
Producto	2	9,1E-04	0.08ns
Dosis	2	0,02	1.40ns
Producto*Dosis	4	0,01	0,66ns
Error	18	0,01	
Total	29		

ns: no significativo; **: altamente significativo *: significativo

En la tabla 5 se observa el análisis de varianza para la variable severidad del tizón tardío, donde se muestra que no hubo efecto de los diferentes tratamientos (productos ni dosis) sobre la severidad de la enfermedad en plantas de papa, con un coeficiente de variación de 18.49%.

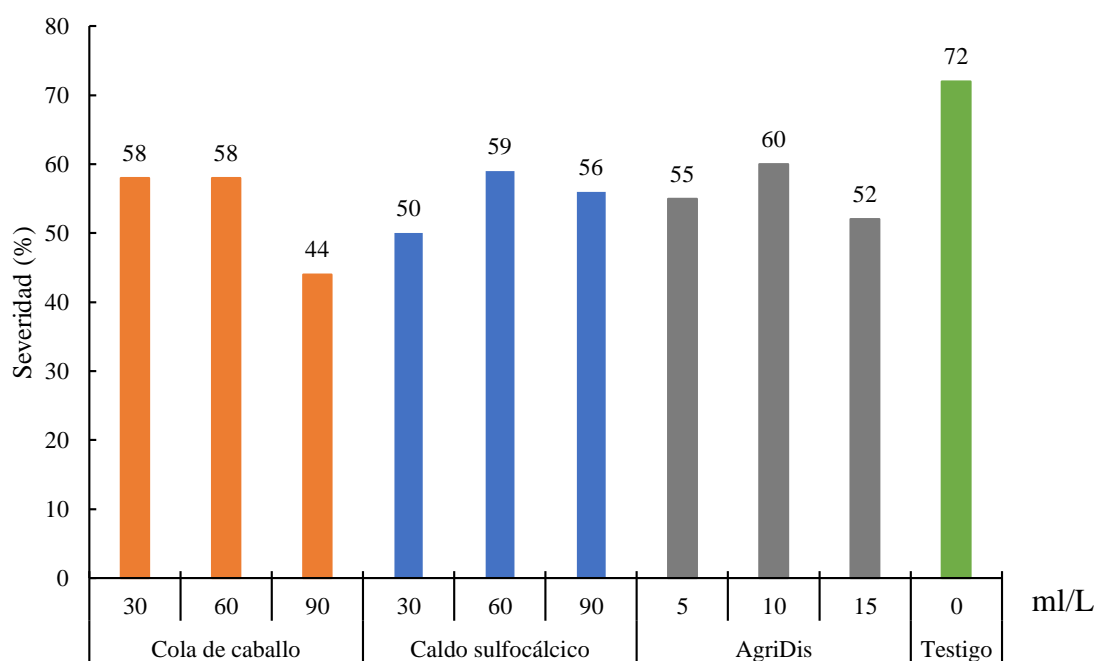


Figura 8

Porcentaje de severidad del tizón tardío en plantas de papa tratadas con productos alternativos a diferentes dosis

Los resultados de investigaciones donde se muestre la efectividad del uso de dióxido de cloro para el control de enfermedades son variables. Por una lado, Mahovic et al. (2007) señalaron que la aplicación de dióxido de cloro puede ser efectivo para controlar la pudrición de frutos en postcosecha cuando el producto es usado tanto antes o durante la cosecha. Por lo contrario, Olsen et al. (2003) observaron un desempeño inconsistente del dióxido de cloro cuando fue usado en tubérculos en almacenamiento, lo cual parece ser producto de diferentes factores como la variación de la concentración del producto y el método de dilución puesto que, el dióxido de cloro es un gas soluble en agua y, por lo tanto, se libera fácilmente de la solución (25%-75% de pérdida) al aire cuando se aplica como aspersiones líquidas, además este producto reacciona rápidamente con el tubérculo y la materia orgánica asociada, reduciendo así la eficacia.

En estudios similares se ha observado que a los 68 días después de la siembra, la menor incidencia del tizón tardío fue de 56.67% registrada en las variedades moderadamente

resistentes (Belete) y moderadamente susceptibles (Gudene) donde fueron realizadas tres aplicaciones, comparado con un 90% de incidencia en parcelas no tratadas (control) (Kassaw et al., 2021). De acuerdo con estos autores, los primeros síntomas del tizón tardío de la papa aparecieron 59 días después de la siembra en la variedad susceptible (Jalene) y se caracterizó por la presencia de manchas pequeñas, de color verde claro a oscuro, y lesiones acuosas de forma circular a irregular en las hojas inferiores.

En los últimos años, se ha centrado la atención en el uso de productos naturales como fungicidas, siendo el cinamaldehído, un aceite esencial natural, uno de los más utilizados y más recientemente la elipticina, un derivado de un aldehído ha sido identificada como un producto alternativa con potencialidad en el uso de *P. infestans* y especies relacionadas (Mckee et al., 2020).

Aunque no existen estudios disponibles que muestren el efecto del caldo sulfocálcico en el control de tizón tardío, otros productos a base de azufre como el metanotiosulfonato de S-metilo (MMTS), un compuesto orgánico volátil que contiene azufre producido por plantas y especies bacterianas, ha mostrado ser eficiente para el control de oomicetos, especialmente en el caso del tizón tardío de la papa causada por *P. infestans*, por lo tanto su efecto tóxico demostrado por este compuesto permite sugerir su uso como agentes de control (Joller et al., 2020).

Varios estudios han sido desarrollados con el fin de investigar nuevos productos alternativos que ofrezcan soluciones medias sostenibles para el manejo de agentes fitopatógenos. En este sentido, La Torre et al. (2023) al evaluar varios productos naturales (botánicos, inorgánicos y vitaminas) para el control de *P. infestans* observaron que las pruebas *in vitro* mostraron que la aplicación de productos a base de *Tagetes minuta*, *Lavandula angustifolia* y ácido ascórbico a las concentración más alta fue más efectiva, evidenciados por la inhibición del crecimiento radial entre 91.1 y 100.0 %, así como una germinación de esporangios de apenas de 6.0 y 21.3% comparado con una inhibición de 100% y germinación de esponagios del 18% con el uso de una fórmula a base de cobre. Con relación al control de *P. capsici* se encontró

que el uso de Armicarb 85 (un hidrogenocarbonato de potasio) y ácido ascórbico a la concentración más alta fue más efectivo logrando la inhibición total del crecimiento micelial y una germinación de los esporangios entre 19,3 y 28,0 % y el extracto de *Abies sibirica* también produjo resultados satisfactorios (97,6% de inhibición del crecimiento micelial y 38,0% de germinación de esporangios). Los resultados proporcionaron evidencia sobre la potencialidad del uso de productos naturales seguros para el manejo de las enfermedades causadas por *Phytophthora*.

Debido a la persistencia y toxicidad del cobre, La Torre et al. (2019) evaluaron el efecto de productos alternativos (extractos de plantas, productos inorgánicos, microorganismos y quitosano) para el control del tizón tardío en plántulas de tomate cv. Cuore di Bue di Albenga, observándose que todos los productos alternativos redujeron significativamente la severidad del tizón tardío en comparación con las plantas de control bajo condiciones de invernadero, mientras las pruebas in vitro las bajas dosis de los productos naturales mostraron un notable efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial y la germinación de esporangios.

Otros estudios se han enfocado al uso de productos alternativos y su efecto bioestimulante. Así, el uso de los extractos de *Saccharomyces cerevisiae* pueden ser utilizados también como fungicidas naturales, así como el uso de extractos de *Yucca schidigera* puede mejorar el vigor temprano en algunos cultivos y como fungicida natural, proporcionando una herramienta nueva y útil para los agricultores.

3.3. Altura de la planta

Adicionalmente no se observó un efecto de interacción ni efectos individuales del producto y la dosis usada sobre el crecimiento de plantas ($F= 2.08$; g.l.= 9) (Tabla 7). Aun cuando no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las plantas de papa alcanzaron mayor altura cuando fueron tratadas con infusión de cola de caballo en dosis de 60 ml/L y AgriDis en dosis de 10 ml/L, con los que se obtuvieron plantas con 1.39 y 1.31 m, cada uno. En el resto de los tratamientos, la altura de planta varió desde 1.14-1.15 con la aplicación de infusión de cola de caballo con dosis de 30 y 90 ml, respectivamente, mientras que con el uso de caldo sulfocálcico la altura varió

desde 1.01 a 1.11 m con las dosis 30 y 90 ml, respectivamente. Finalmente, con AgriDis, la altura varió desde 1.15 hasta 1.31 con 90 y 60 ml, respectivamente (Fig. 9).

Aunque no se ha demostrado un efecto directo del dióxido de cloro (AgriDis) y de la infusión de cola de caballo sobre el incremento del crecimiento de plantas, posiblemente su efecto fitoprotector contra agentes patógenos influyó de manera indirecta sobre el crecimiento de la planta (Malka et al., 2022).

Con relación al uso de caldo sulfocálcico, investigaciones previas han demostrado que promueve un mayor crecimiento de plantas debido a que este producto actúa como fuente de calcio y azufre, ambos son elementos esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas. Por una parte, el azufre es un componente estructural de los enlaces disulfuro de proteínas, aminoácidos, vitaminas y cofactores y estos actúan como moléculas de señalización en el manejo del estrés, así como en los procesos metabólicos normales (Narayan et al., 2022). Sin embargo, en la presente investigación no se verificó este efecto, por lo que requiere ser estudiado más profundamente.

Tabla 7

Análisis de varianza para la variable altura de planta

Fuente de variación	g.l.	CM	F
Tratamientos	9	0,04	2.08ns
Producto	2	0,08	3.66ns
Dosis	2	0,05	2.41ns
Producto*Dosis	4	0.02	0.88ns
Error	18	0,02	
Total	29		

ns: no significativo; **: altamente significativo *: significativo

El análisis de varianza mostrado en la tabla 6 muestra que no existen diferencias significativas para la variable altura de planta debido a la interacción entre el producto

y sus dosis, ni tampoco se detectó efecto individual de ambas fuentes de variación (producto o dosis), con un coeficiente de variación de 11.49%.

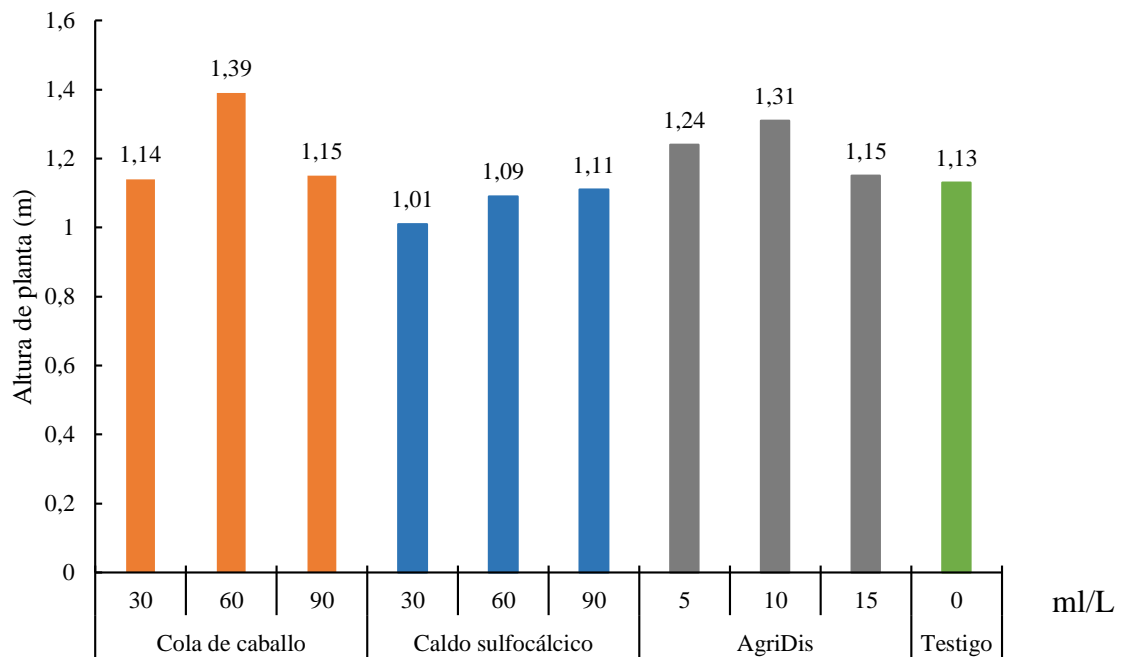


Figura 10

Altura de plantas de papa tratadas con tres productos alternativos para el control de tizón tardío

3.4. Rendimiento

El rendimiento fue afectado positivamente por el uso de productos alternativos de cola de caballo, caldo sulfocálcico y AgriDis por efecto en el control del tizón tardío en plantas de papa (Tabla 8). En general, los mayores rendimientos fueron obtenidos de plantas que fueron tratadas con caldo sulfocálcico que tuvieron un rendimiento promedio de 6.74 tn/ha, seguido de las plantas tratadas con AgrDis que en promedio tuvieron un rendimiento de 5.95 tn/ha, mientras que las plantas tratadas con cola de caballo tuvieron un rendimiento 4.07tn/ha menor que el máximo rendimiento (Fig.11)

Los valores más altos fueron alcanzados en plantas tratadas con AgriDis a la dosis de 5 ml en las que se obtuvo un rendimiento de 7.17 tn/ha, seguido de las plantas tratadas con caldo sulfocálcico a las dosis de 30 y 60 ml con las cuales el rendimiento alcanzó

6.89 y 7.06 tn/ha, respectivamente (Fig. 12). Mientras que, con el uso de la infusión de cola de caballo, los más altos rendimientos fueron alcanzados con 30 y 60 ml del producto, logrando valores de rendimiento de 5.58 y 4.67 tn/ha, respectivamente. Todos estos valores fueron significativamente superiores al tratamiento testigo donde apenas se obtuvieron 0.64tn/ha (Fig. 12).

Tabla 8

Análisis de varianza para la variable rendimiento

Fuente de variación	g.l.	CM	F
Tratamientos	9	14.63	5.44**
Productos	2	17.03	5.79*
Dosis	2	7.45	2.53 ns
Producto*Dosis	4	4.13	1.41 ns
Error	18	2.69	
Total	29		

ns: no significativo; **: altamente significativo *: significativo

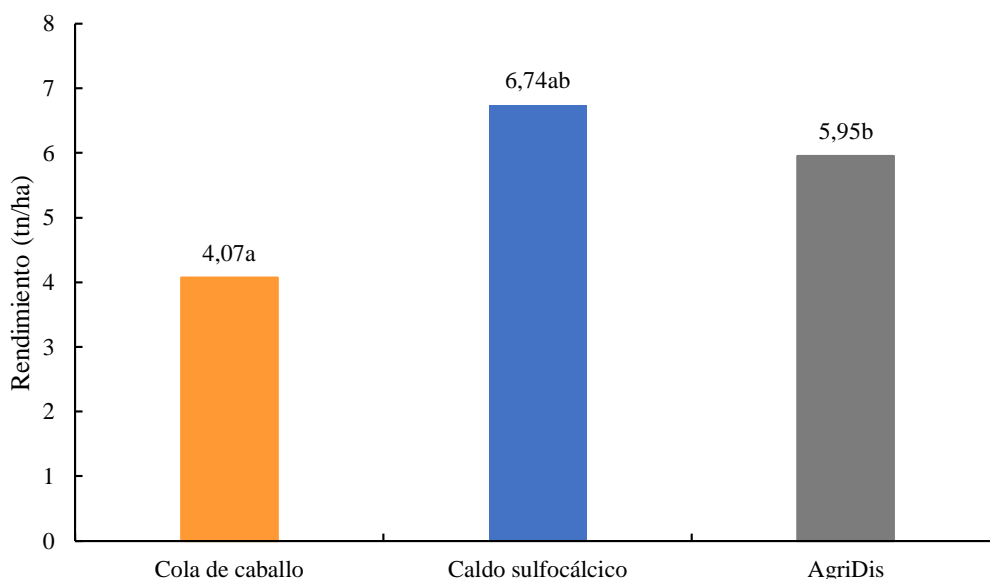


Figura 11

Rendimiento en plantas de papa tratadas tres productos alternativos para el control de tizón tardío

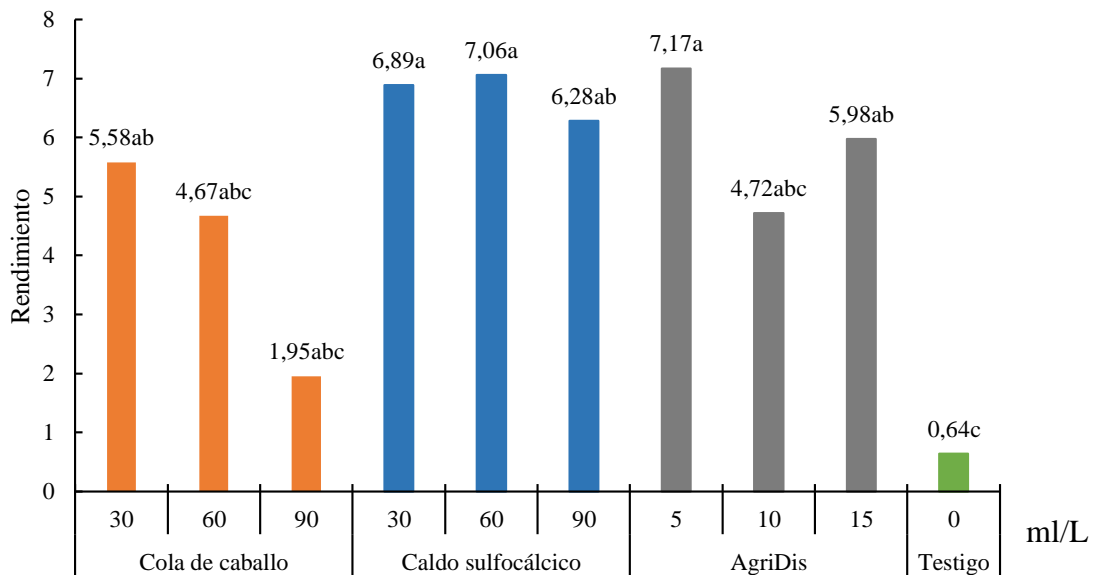


Figura 12

Rendimiento de plantas de papa tratadas tres productos alternativos a diferentes para el control de tizón tardío

En un estudio realizado en Nigeria se encontró que el mayor rendimiento promedio de tubérculos de papa fue obtenido en parcelas donde se hizo controles periódicos de tizón tardío con valores promedio de 65,21 y 63,08 ton/ha (Amin et al., 2013).

De manera similar, Kassaw et al.(2021) observaron diferencias en el rendimiento debido a la variedad de papa y a la frecuencia de aplicación, variando desde 20.2 a 29.62 t/ha en parcelas tratadas y no tratadas de la variedad Belete, mientras que en la variedad Gudene, el rendimiento varió de 17.63 a 28.79 t/ha en parcelas tratadas y no tratadas para el control del tizón tardío.

De acuerdo con las investigaciones previas, el tizón tardío, causado por el hongo oomiceto *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más destructivas y que causa mayores pérdidas en el rendimiento de papa, lo cual unido a su ocurrencia en todas las áreas productoras de papa en el mundo hacen que sea necesaria la aplicación constante de métodos de control eficientes (Tadesse Demissie, 2019). En tal sentido,

la falta de uso de algún tipo de control, ya sea químico o de otro tipo de productos trae como consecuencia el incremento de la incidencia de la enfermedad con la consecuente disminución del rendimiento (Belay et al., 2021).

Con base en todo lo anteriormente señalado, la enfermedad del tizón tardío de la papa debería ser manejada integrando todas las estrategias disponibles, desde el uso de control químico, hasta el uso de variedades resistentes, agentes de biocontrol y manejo cultural. Aunque el control químico y la resistencia de plantas son los más ampliamente usados a nivel mundial, las otras formas de control deberían usarse principalmente en el cultivo de papa orgánica o en sistemas de producción donde se pretende reducir la cantidad de fumigaciones con fungicidas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Todos los productos alternativos usados en esta investigación mostraron ser eficientes en reducir la incidencia del tizón tardío en plantas de papa, sin embargo, se observaron mejores resultados con el uso de la infusión de cola de caballo y caldo sulfocálcico y, por último, el AgriDis donde se observaron resultados similares al testigo. En cuanto a la severidad de la enfermedad, todos los productos fueron eficientes en la reducción de la severidad puesto que las plantas tratadas mostraron valores por debajo del valor observado en las plantas del tratamiento testigo.

Con relación a la dosis más efectiva, se observó que la incidencia de la enfermedad fue disminuyendo a medida que aumentaba la dosis del producto. Sin embargo, las dosis menores también lograron producir buenos niveles de control de la incidencia en el caso de cola de caballo y caldo sulfocálcico.

Los máximos rendimientos fueron alcanzados con el uso de caldo sulfocálcico y AgriDis cuando se usaron a las dosis intermedia y baja, respectivamente, los cuales fueron superiores al rendimiento obtenido a partir de plantas no tratadas.

4.2. RECOMENDACIONES

En consideración con los resultados obtenidos, se sugiere utilizar infusión de cola de caballo y caldo sulfocálcico como productos alterativos para el control del tizón tardío de la papa e incluirlo en programas de manejo de enfermedades con el fin de disminuir el uso de fungicidas químicos y así reducir el impacto negativo tanto sobre la salud del agricultor y el consumidor así como en la salud del ambiente.

Se recomienda hacer estudios similares en los que se evalúe el uso combinado de los productos usados en la presente investigación, junto con otras alternativas de manejo de la enfermedad, tales como uso de microorganismos de biocontrol y variedades

resistentes, de manera de evaluar el efecto sinérgico de estas estrategias y así potenciar y eficientizar el control de la enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agho, C. A., Kaurilind, E., Tahtjarv, T., Runno-Paurson, E., & Niinemets, Ü. (2023). Genomics Comparative transcriptome profiling of potato cultivars infected by late blight pathogen *Phytophthora infestans* : Diversity of quantitative and qualitative responses. *Genomics*, *115*, 110678. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2023.110678>
- Aktas, E., Topaloglu, Z., Irani, Z., Sharif, A., & Huda, S. (2016). Food Provision to Food Security: How can we reduce waste on the supply side? *Qatar Foundation Annual Research Conference Proceedings*, 1–2. <https://doi.org/10.5339/qfarc.2016.sshapp2342>
- Amin, M., Mulugeta, N., & Selvaraj, T. (2013). Field Evaluation of New Fungicide, Victory 72 WP for Management of Potato and Tomato Late Blight (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) in West Shewa Highland, Oromia, Ethiopia. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, *4*(8), 1000192. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000192>
- Araújo, T. H., Pádua, J. G., Spoto, M. H. F., Ortiz, V. D. G., Margossian, P. L., Dias, C. T. S., & Melo, P. C. T. (2016). Productivity and quality of potato cultivars for processing as shoestrings and chips. *Horticultura Brasileira*, *34*(4), 554–560.
- Ballu, A., Deredec, A., Walker, A. S., & Carpentier, F. (2021). Are efficient-dose mixtures a solution to reduce fungicide load and delay evolution of resistance? An experimental evolutionary approach. *Microorganisms*, *9*(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112324>
- Belay, D. W., Asfaw, Z., Lulekal, E., & Kassa, B. (2021). Farmers' management of potato (*Solanum tuberosum* L.) late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) and sprouting in Shashemene and West Shewa districts, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, *7*(1), 1925432. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1925432>
- Birch, P. R. J., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., Prashar, A., Taylor, M. A., Torrance, L., & Toth, I. K. (2012). Crops that feed the world 8: Potato: Are the trends of increased global production sustainable? In *Food Security* (Vol. 4, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0220-1>
- Birgit, A., Andrade-Piedra, J., Bittara Molina, F., Przetakiewicz, J., Hausladen, H., Kromann, P., Lees, A., Lindqvist-Kreuzer, H., Pérez, W., & Secor, G. A. (2020). Fungal, Oomycete, and Plasmodiophorid Diseases of Potato. In H. Campos & O. Ortiz (Eds.), *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind* (pp. 307–350). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>

- Cabildo de Lanzarote. (2013). *Fungicida de cola de caballo*.
https://www.cabildodelanzarote.com/buscador?p_p_id=com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath=%2Fview_content.jsp&_com_liferay_portal_s
- Choga, T., Ngadze, E., Rugare, J. T., Mabasa, S., Makaza, W., Gwatidzo, V. O., Chikuta, S., & Karubanga, G. (2021). Effect of Botanical Extracts on Late Blight (*Phytophthora infestans*) and Productivity of Tomato (*Solanum esculentum*). *International Journal of Agronomy*, 2021, 1–19.
<https://doi.org/10.1155/2021/8858818>
- Deresa, E. M., & Diriba, T. F. (2023). Phytochemicals as alternative fungicides for controlling plant diseases: A comprehensive review of their efficacy, commercial representatives, advantages, challenges for adoption, and possible solutions. *Heliyon*, 9, e13810. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13810>
- Dong, S. meng, & Zhou, S. qun. (2022). Potato late blight caused by *Phytophthora infestans*: From molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(12), 3456–3466.
<https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.060>
- Fry, W. (2008). *Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*, 9(3), 385–402. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x>
- Gopi, R., Avasthe, R. K., Kalita, H., Yadav, A., Das, S. K., & Dinisha, R. A. I. (2020). Eco-friendly management of tomato late blight using botanicals, bio-control agents, compost tea and copper fungicides. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(1), 35–39. <https://doi.org/10.56093/ijas.v90i1.98525>
- Hou, B., Hu, Y., Zhang, P., & Hou, L. (2022). Potato Late Blight Severity and Epidemic Period Prediction Based on Vis/NIR Spectroscopy. *Agriculture*, 12(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070897>
- Hu, M., & Chen, S. (2021). Non-Target Site Mechanisms of Fungicide Resistance in Crop Pathogens : A Review. *Microorganisms*, 9, 1–19.
- Ibañez, I. L., Muñoz, F. F., Zoppi, J., Abaurrea, R. A., Scandogliero, E. A., Durán, H., & Guevara, M. G. (2021). In vivo tumor growth inhibition by *Solanum tuberosum* aspartic protease 3 (StAP3) treatment. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 41, 127959. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2021.127959>
- Islam, S., Azad, M. A. K., Islam, M. R., Sultana, M. S., Khatun, J. A., & Islam, M. H. (2021). Efficacy of Some Botanical Extracts on the Control of Late Blight Disease in Experimental Potato Field. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 12(12), 426–435. <https://doi.org/10.4236/abb.2021.1212027>

- Joller, C., Vrieze, M. De, Moradi, A., Fournier, C., Chinchilla, D., Haridon, F. L., Bruissson, S., & Weisskopf, L. (2020). S-methyl Methanethiosulfonate: Promising Late Blight Inhibitor or Broad Range Toxin? *Pathogens*, *9*, 1–15.
- Karan, Y. B. (2023). Mineral nutrient variability of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers with different colors grown in Niksar , Kazova and Artova locations of Tokat Province . *PeerJ*, *11*, E15262. <https://doi.org/10.7717/peerj.15262>
- 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 and Agriculture*, *7*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1870309>
- Kirk, W., Wharton, P., Hammerschmidt, R., Saman, F. A., & Douches, D. (2004). *Potato Diseases*.
- La Torre, A., De Santis, Y., Battaglia, V., Costantini, E., Pulcini, P., & Polito, A. (2023). Natural products for the control of *Phytophthora infestans* and *Phytophthora capsici*. *Journal of Plant Pathology*, *85*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01421-1>
- La Torre, A., Righi, L., Iovino, V., & Battaglia, V. (2019). Control of late blight in organic farming with low copper dosages or natural products as alternatives to copper. *European Journal of Plant Pathology*, *155*(3), 769–778.
- Lagos-Regalado, J. J., Lagos-Burbano, T. C., Duarte-Alvarado, D., & Lagos-Santander, L. K. (2021). Selection of potato genotypes *solanum tuberosum* group andigena by their tolerance to *phytophthora infestans* (Mont.) of Bary. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*, *74*(1), 9361–9372. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.87566>
- Lal, M., Sharma, S., Yadav, S., & Kumar, S. (2018). *Management of Late Blight of Potato*. InTech.
- Lamichhane, J. R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J. B., & Aubertot, J. N. (2018). Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *38*(3), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
- Lengai, G. M. W., Muthomi, J. W., Mbega, E. R., & Cheseto, X. (2022). In vitro and field evaluation of selected spices as botanical fungicide for management of *Phytophthora infestans*, causative agent for late blight in tomato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *55*(19), 2177–2199. <https://doi.org/10.1080/03235408.2022.2156029>
- Liljeroth, E., Lankinen, A., Andreasson, E., & Alexandersson, E. (2020). Phosphite integrated in late blight treatment strategies in starch potato does not cause residues in the starch product. *Plant Disease*, *104*(11), 3026–3032.

<https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2296-RE>

Liu, J., Sun, Z., Zou, Y., Li, W., He, F., Huang, X., Lin, C., Cai, Q., Wisniewski, M., & Wu, X. (2021). Pre- and postharvest measures used to control decay and mycotoxigenic fungi in potato (*Solanum tuberosum* L.) during storage. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(2), 415–428.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1818688>

MAGAP. (2023). *Ecuador se proyecta a ser exportador de papa*.

<https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/#:~:text=La cadena productiva de la,a la papa como tal>”.

Maharjan, B., Shreshta, K., & Basnyat, S. (2010). Botanical Control of Late Blight of Potato. *Nepal Journal of Science and Technology*, *11*, 37–40.

<https://doi.org/10.3126/njst.v11i0.4087>

Mahovic, M. J., Tenney, J. D., & Bartz, J. A. (2007). Applications of chlorine dioxide gas for control of bacterial soft rot in tomatoes. *Plant Disease*, *91*(10), 1316–1320. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-10-1316>

Malka, S. K., Park, M., & Morgan, M. (2022). Fresh Produce Safety and Quality : Chlorine Dioxide’s Role. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 1–13.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.775629>

Mckee, M. L., Zheng, L., Sullivan, E. C. O., Kehoe, R. A., Prestwich, B. M. D., Mackrill, J. J., & Mccarthy, F. O. (2020). Synthesis and Evaluation of Novel Ellipticines and Derivatives as Inhibitors of *Phytophthora infestans*. *Pathogens*, *9*, 1–23.

Middya, R., Islam, S., & Mondal, B. (2021). Field Efficacy of Fungicides and Bio-Botanicals against Late Blight Disease of Potato. *Journal of Plant Physiology & Pathology*, *9*(7), 254–258.

Mwakidoshi, E. R. (2021). Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Kenya.

International Journal of Bioresource Science, *8*(2), 61–68.

<https://doi.org/10.30954/2347-9655.02.2021.1>

Narayan, O. P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A. K. (2022). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 2030082. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>

Naumann, M., Koch, M., Thiel, H., Gransee, A., & Pawelzik, E. (2020). The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*, *63*(1), 121–137.

<https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

Nyankanga, R. O., Wien, H. C., Olanya, O. M., & Ojiambo, P. S. (2004). Farmers’

- cultural practices and management of potato late blight in Kenya highlands: Implications for development of integrated disease management. *International Journal of Pest Management*, 50(2), 135–144.
<https://doi.org/10.1080/09670870410001691812>
- Olsen, N. L., Kleinkopff, G. E., & Woodell, L. K. (2003). Efficacy of Chlorine Dioxide for disease control on stored potatoes. *American Journal of Potato Research*, 80, 387–395.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Datos de cultivos*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2022). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#country/58>
- Ovchinnikova, A., Krylova, E., Gavrilenko, T., Smekalova, T., Zhuk, M., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2011). Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: Solanaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165(2), 107–155.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01107.x>
- Pérez Moreno, L., Niño Mendoza, G. H., Mendoza Celedón, B., León Galván, M. F., Robles Hernández, L., & González Franco, A. C. (2016). Incidencia, severidad y detección de virus fitopatógenos en lechuga, en el estado de Querétaro, México. *Acta Universitaria*, 26(2), 3–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.842>
- Pérez, W., & Forbes, G. (2008). *El Tizon Tardío De La Papa*. Centro Internacional de la Papa (CIP). www.inia.cl/jquilamapu
- Perez, W., Forbes, G. A., Arias, R., Pradel, W., Kawarazuka, N., & Andrade-Piedra, J. (2022). Farmer Perceptions Related to Potato Production and Late Blight Management in Two Communities in the Peruvian Andes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.873490>
- PortalFruticola. (2018). *Cómo preparar un caldo sulfocálcico y su uso como fungicida, insecticida, bactericida y acaricida*.
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/08/22/como-preparar-un-caldo-sulfocalcico-y-su-uso-como-fungicida-insecticida-bactericida-y-acaricida/>
- Price, J., Merzthal, G., de Zeuw, H., & Dubbeling, M. (2010). *Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana* (Primera). IPES/FAO. <http://www.fao.org/3/a-as435s.pdf>
- Rodríguez, L. E. (2010). Origins and evolution of cultivated potato. A review. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9–17.
<https://www.redalyc.org/pdf/1803/180315651001.pdf>
- Runno-Paurson, E., Nassar, H., Tähtjärv, T., Eremeev, V., Hansen, M., & Niinemets, Ü. (2022). High Temporal Variability in Late Blight Pathogen Diversity,

Virulence, and Fungicide Resistance in Potato Breeding Fields: Results from a Long-Term Monitoring Study. *Plants*, 11(1–17).
<https://doi.org/10.3390/plants11182426>

Santra, H. K., & Banerjee, D. (2020). Natural Products as Fungicide and Their Role in Crop Protection. In J. Singh & A. N. Yadav (Eds.), *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture* (pp. 131–219). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-981-15-3024-1>

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology and Evolution*, 3(3), 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

Singh Gurjar, M., Ali, S., Akhtar, M., & Singh, K. S. (2012). Efficacy of plant extracts in plant disease management. *Agricultural Sciences*, 3(3), 425–433.
<https://doi.org/10.4236/as.2012.33050>

Singh, H. (2023). Management of Late Blight of Potato caused by *Phytophthora infestans*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 12(1), 232–247.

Steglińska, A., Sulyok, M., Janas, R., Grzesik, M., Liszkowska, W., Kręgiel, D., & Gutarowska, B. (2023). Metabolite Formation by Fungal Pathogens of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in the Presence of Bioprotective Agents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 1–21.
<https://doi.org/10.3390/ijerph20065221>

Suteu, D., Rusu, L., Zaharia, C., Badeanu, M., & Daraban, G. M. (2020). Challenge of utilization vegetal extracts as natural plant protection products. *Applied Sciences*, 10(24), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app10248913>

Tadesse Demissie, Y. (2019). Integrated Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Late Blight (*Phytophthora Infestans*) Disease Management in Ethiopia. *American Journal of BioScience*, 7(6), 123–130. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20190706.16>

Virupaksh, P., Prashant, K., Sundaresha, S., & Vinay, B. (2016). Biology of *Solanum tuberosum* (potato). In *Series of crop specific biology* (Issue December). Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MoEF&CC) and Central Potato Research Institute, Shimla.

Yoon, M. Y., Cha, B., & Kim, J. C. (2013). Recent trends in studies on botanical fungicides in agriculture. *Plant Pathology Journal*, 29(1), 1–9.
<https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.05.2012.0072>

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>

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías del ensayo



Figura 13 *Cultivo establecido de papa donde se realizó el ensayo*



Figura 14 *Preparación de los productos para el control de tizón tardío*



Figura 15 Toma de datos



Anexo 2. Análisis estadístico

Análisis de las variables Incidencia y Severidad

Incendencia

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Insi	30	0,98	0,97	3,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	0,49	9	0,05	106,01**	<0,0001
Producto	0,43	2	0,21	561,09**	<0,0001
Dosis	0,01	2	0,01	13,49**	0,0003
Producto*Dosis	2,4E-03	4	6,1E-04	1,59ns	0,2206
Error	0,01	18	5,1E-04		
Total	0,50	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02350

Error: 0,0004 gl: 18

Producto	Medias	n	E.E.	
3	0,79	9	0,01	A
1	0,53	9	0,01	B
2	0,51	9	0,01	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02350

Error: 0,0004 gl: 18

Dosis	Medias	n	E.E.	
1	0,63	9	0,01	A
2	0,61	9	0,01	B
3	0,58	9	0,01	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06621

Error: 0,0005 gl: 18

tratamiento	Medias	n	E.E.	
7	0,83	3	0,01	A
8	0,78	3	0,01	A B
9	0,75	3	0,01	B
10	0,74	3	0,01	B
1	0,54	3	0,01	C
4	0,53	3	0,01	C
2	0,53	3	0,01	C
3	0,52	3	0,01	C
5	0,52	3	0,01	C
6	0,48	3	0,01	C

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

Severidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Seve	30	0,49	0,18	18,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	0,15	9	0,02	1,49	ns 0,2249
Producto	1,8E-03	2	9,1E-04	0,08	ns 0,9237
Dosis	0,03	2	0,02	1,40	ns 0,2724
Producto*Dosis	0,03	4	0,01	0,66	ns 0,6283
Error	0,20	18	0,01		
Total	0,38	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12885

Error: 0,0115 gl: 18

Producto Medias n E.E.

3	0,56	9	0,04	A
2	0,55	9	0,04	A
1	0,54	9	0,04	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12885

Error: 0,0115 gl: 18

Dosis Medias n E.E.

2	0,59	9	0,04	A
1	0,55	9	0,04	A
3	0,50	9	0,04	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30504

Error: 0,0109 gl: 18

tratamiento Medias n E.E.

10	0,72	3	0,06	A
8	0,60	3	0,06	A
5	0,59	3	0,06	A
2	0,58	3	0,06	A
1	0,58	3	0,06	A
6	0,56	3	0,06	A
7	0,55	3	0,06	A
9	0,52	3	0,06	A
4	0,50	3	0,06	A
3	0,44	3	0,06	A

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

Análisis de la variable Crecimiento

ADEVA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alt Planta	30	0,55	0,27	11,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	0,34	9	0,04	2,08	ns 0,0893
Producto	0,16	2	0,08	3,66	ns 0,0463
Dosis	0,10	2	0,05	2,41	ns 0,1186
Producto*Dosis	0,07	4	0,02	0,88	ns 0,4978
Error	0,33	18	0,02		
Total	0,72	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17553

Error: 0,0213 gl: 18

Producto	Medias	n	E.E.
3	1,23	9	0,05 A
1	1,23	9	0,05 A
2	1,07	9	0,05 A

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17553

Error: 0,0213 gl: 18

Dosis	Medias	n	E.E.
2	1,26	9	0,05 A
3	1,14	9	0,05 A
1	1,13	9	0,05 A

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,39405

Error: 0,0181 gl: 18

tratamiento	Medias	n	E.E.
2	1,39	3	0,08 A
8	1,31	3	0,08 A
7	1,24	3	0,08 A
3	1,15	3	0,08 A
9	1,15	3	0,08 A
1	1,14	3	0,08 A
10	1,13	3	0,08 A
6	1,11	3	0,08 A
5	1,09	3	0,08 A
4	1,01	3	0,08 A

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

Análisis de la variable Rendimiento

Rendimiento t/ha

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
t/ha	30	0,74	0,58	32,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F
tratamiento	131,67	9	14,63	5,44**
Producto	34,05	2	17,03	5,79*
Dosis	14,89	2	7,45	2,53ns
Producto*Dosis	16,53	4	4,13	1,41ns
Error	48,39	18	2,69	
Total	184,70	29		

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,79994

Error: 2,6884 gl: 18

tratamiento	Medias	n	E.E.		
7	7,17	3	0,95	A	
5	7,06	3	0,95	A	
4	6,89	3	0,95	A	
6	6,28	3	0,95	A	B
9	5,98	3	0,95	A	B
1	5,58	3	0,95	A	B
8	4,72	3	0,95	A	B C
2	4,67	3	0,95	A	B C
3	1,95	3	0,95		B C
10	0,64	3	0,95		C

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,06276

Error: 2,9396 gl: 18

Producto	Medias	n	E.E.		
2	6,74	9	0,57	A	
3	5,95	9	0,57	A	B
1	4,07	9	0,57		B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,06276

Error: 2,9396 gl: 18

Dosis	Medias	n	E.E.		
1	6,55	9	0,57	A	
2	5,48	9	0,57	A	
3	4,74	9	0,57	A	

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