

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La viticultura es una actividad agrícola de gran importancia en el valle central de Tarija, Bolivia, no solo por su tradición y aporte económico, sino también por su potencial en la producción de vinos de calidad, especialmente con variedades como la Tannat, reconocida por sus características enológicas destacadas. Sin embargo, el rendimiento y la sanidad del cultivo de vid se ven amenazados por diversas enfermedades criptogámicas, siendo el mildiu (*Plasmopara viticola*) una de las más agresivas y recurrentes en la región.

Esta enfermedad, favorecida por condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas, características de la comunidad de El Portillo, afecta significativamente el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta, provocando manchas foliares, defoliación y daños en racimos que comprometen tanto la cantidad como la calidad de la cosecha.

Ante esta problemática, los productores suelen recurrir al uso frecuente de fungicidas químicos. Sin embargo, el uso repetido de los mismos ingredientes activos, sin una estrategia de rotación adecuada, ha incrementado el riesgo de aparición de resistencia del patógeno, disminuyendo la eficacia de los tratamientos y elevando los costos de producción. En este contexto, el Comité de Acción contra la Resistencia a Fungicidas (FRAC) recomienda implementar estrategias de rotación de fungicidas con diferentes modos de acción para prevenir la resistencia y prolongar la efectividad de los productos.

Paralelamente, existe un creciente interés en el uso de fungicidas orgánicos, como el caldo bordelés y el extracto vegetal, los cuales ofrecen una alternativa más amigable con el medio ambiente y con menor impacto residual. Sin embargo, su efectividad comparativa frente a tratamientos convencionales aún requiere validación bajo las condiciones locales de cultivo.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar esquemas de rotación que incluyan tanto ingredientes activos individuales como combinaciones múltiples, además de

alternativas orgánicas, con el fin de determinar su eficacia sanitaria y su viabilidad económica bajo condiciones locales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de vid (*Vitis vinifera* L.) variedad Tannat en la comunidad El Portillo enfrenta pérdidas recurrentes ocasionadas por el mildiu (*Plasmopara viticola*), patógeno oomiceto favorecido por las condiciones climáticas locales. El uso frecuente de fungicidas químicos, muchas veces sin rotación adecuada de modos de acción, ha incrementado el riesgo de resistencia, comprometiendo la sostenibilidad del manejo fitosanitario.

A pesar de las recomendaciones del FRAC, no se dispone de validaciones locales que comparen estrategias basadas en ingredientes activos individuales, combinaciones múltiples y alternativas orgánicas. Por tanto, se requiere identificar la estrategia más eficaz y rentable para el manejo del mildiu en condiciones específicas de la región.

JUSTIFICACIÓN

El mildiu constituye una de las principales limitantes fitosanitarias en la producción vitícola de la comunidad El Portillo, afectando directamente el rendimiento y la calidad del fruto en la variedad Tannat, de alto valor enológico. Bajo las condiciones climáticas locales, caracterizadas por periodos de elevada humedad relativa, el patógeno encuentra un ambiente favorable para su desarrollo, lo que incrementa la necesidad de intervenciones fitosanitarias frecuentes.

El uso continuo de fungicidas sin una adecuada estrategia de rotación de ingredientes activos puede favorecer la aparición de resistencia, comprometiendo la sostenibilidad del sistema productivo. En este sentido, los lineamientos del Comité de Acción contra la Resistencia a Fungicidas (FRAC) destacan la importancia de alternar modos de acción para prolongar la eficacia de los productos disponibles.

La presente investigación se justifica en la necesidad de validar, bajo condiciones locales, diferentes esquemas de rotación que incluyan ingredientes activos

individuales, combinaciones múltiples y alternativas orgánicas, evaluando no solo su eficacia sanitaria sino también su viabilidad económica mediante el análisis beneficio/costo. Los resultados permitirán generar recomendaciones técnicas aplicables a productores de la región, contribuyendo a un manejo más eficiente, sostenible y rentable del cultivo de vid variedad Tannat.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la eficacia de tres estrategias de fungicidas basadas en los lineamientos del FRAC para el control del mildiu (*Plasmopara viticola*) en el cultivo de vid (*Vitis vinifera* L.) variedad Tannat en la comunidad El Portillo, Tarija.

Objetivos específicos

- Determinar el nivel de incidencia y severidad del mildiu en parcelas tratadas con tres estrategias fungicidas en la vid.
- Evaluar la eficacia de las tres estrategias en el control del mildiu.
- Analizar la relación beneficio/costo del efecto de tres estrategias de fungicidas en la rentabilidad del cultivo de la vid.

HIPÓTESIS

La implementación de estrategias de rotación de fungicidas basadas en los lineamientos del FRAC, incluyendo ingredientes activos individuales, combinaciones múltiples y alternativas orgánicas, reduce significativamente la incidencia y severidad del mildiu en vid variedad Tannat, mejorando la eficacia del control y la rentabilidad del cultivo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Historia de la vid

La historia del cultivo de la vid es antigua, siguiendo de la Era Terciaria. En ese tiempo, la *Vitis praevinifera* mostraba su antigua forma de hoja. Luego, en la Era Cuaternaria, aparecieron otras como la *Vitis aussoniae* y la *Vitis vinifera*. Esta última, la vid silvestre, que se enredaba en los árboles de los bosques del norte.

El género *Vitis* nació en la Era Terciaria. Pero su familia, las vitáceas, ya existían desde el Cretácico, hace 100 millones de años. La *Vitis vinifera sylvestris*, que es el ancestro de la vid cultivada, apareciendo después de la última glaciación, hace 13.000 años. (BordeRio, 2024)

En el departamento de Tarija, por su parte, los primeros cultivos llegaron alrededor de 1600, que fue gracias a la congregación de los agustinos y no de la mano de los jesuitas, como se cree comúnmente.

En el año 1609 fueron implementadas las primeras cepas en el que sería el valle de San Luis, hoy Entre Ríos, capital de la provincia O'Connor.

Los primeros vinos elaborados en Bolivia fueron con fines litúrgicos y estos fueron producidos en Mizque, Cochabamba, que era la sede Arzobispal.

Los primeros vinos producidos se fermentaban en cántaros de barro cocido de distintas capacidades, por unas técnicas transmitidas por los españoles”, explicó el enólogo.

Las principales producciones de vino se encontraban en valles situados al sur de Potosí, una de las ciudades más importantes de América durante la colonia, debido a su riqueza mineral.

Potosí era un buen mercado, dada la costumbre que tenían los españoles de beber vino.

En Tarija, la producción se enraizó principalmente en el valle central, formado por las provincias Avilés, Cercado y Méndez, en ese entonces.

1.2 El origen de la vid

La evidencia paleontológica indica que el género *Vitis* nació en la era terciaria. Esto se muestra en la madera fosilizada, semillas, hojas impresas y polen. En el periodo Cretácico ya existían las *vitáceas*, antecesoras de *Vitis*, alrededor de hace unos 100 millones de años. (BordeRío, 2024)

1.3 Descubierto el origen de la domesticación de la vid

La domesticación de la vid comenzó, hace unos 5.000 o 6.000 años en el Cáucaso en el Neolítico. Según lo que se cree, la especie *Vitis vinifera sylvestris* fue la primera en ser domesticada. Esto sucedió en una época que se comenzó con la alfarería y el sedentarismo, como primer paso para obtener vino. (BordeRío, 2024)

1.4 Características

La vid son arbustos caducifolio pertenecientes a la familia Vitaceae, y su género tiene como nombre científico *Vitis*. El género consta de más de 60 especies, entre las más importantes son: *Vitis berlandieri*, *V. rupestris*, *V. riparia*, *V. labrusca* y *V. vinifera*. Los primeros cuatro se conocen como vides americanas y se usan para la hibridación para crear patrones, pero la mayoría de los cultivares reconocen a *Vitis vinifera* como una uva europea. (Pérez, 2000)

En promedio, la vid puede tener unos 50 años de vida, pero a medida que envejece la planta produce menos uvas. Aunque si es cierto que podemos encontrar plantas de uvas centenarias, pero que no producirán tanto como las jóvenes. (Javier, 2021)

Otra de las preguntas más comunes sobre la vid es cuándo da ésta sus frutos, y por lo general puede llegar a tardar hasta cuatro años en dar sus frutos.

¿Cuándo se puede plantar el viñedo?

La vid se puede plantar en invierno hasta primavera. Esto significa, que puedes plantar la vid desde diciembre hasta mayo, pero se recomienda que sea a principio de invierno para que así reciba todas las lluvias posibles.

1.5 Superficie y producción de vid

1.5.1 Mundial

La superficie mundial de viñedos ha experimentado una tendencia a la baja desde los años 2000, pasando de más de 7,8 millones de hectáreas en los años récord de 2002-2003 a 7,3 millones de hectáreas en 2022. Entre los principales países con las mayores extensiones de viñedos se encuentran España, Francia y China.

Producción de vino: En 2023, la producción mundial de vino alcanzó los 237 millones de hectolitros, lo que representó una caída del 10% con respecto a 2022 y fue la producción más baja desde 1961. En la producción de uva en 2011 (de mesa y para vino) superó los 69 millones de toneladas. (Uvas argentinas, 2025)

1.5.2 Nacional

En 2021, Bolivia contaba con una superficie de 3.966 hectáreas de viñedos, y la producción total de uva en el año agrícola 2020-2021 fue de 27.990 toneladas métricas. La mayor parte de esta superficie (alrededor del 80%) se concentra en el departamento de Tarija. Aproximadamente el 52% de la uva producida se destina a la elaboración de vino, mientras que el resto se utiliza para la producción de singani y consumo de fruta fresca. (ICEX, 2022)

1.5.3 Departamental

En Tarija, Bolivia, la superficie cultivada con vid ha variado en los últimos años, pero en 2017 se reportaron 2.389 hectáreas. En cuanto a la producción, el rendimiento promedio para el departamento es de aproximadamente 12,03 toneladas por hectárea, aunque otros datos de 2012 indican un rendimiento de 6,80 TM/Ha. Tarija es el principal productor de vid en el país, aportando una gran parte de la producción nacional. (Apaza, Ramos R. 2021)

1.6 Taxonomía

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la vid

REINO	VEGETAL
Phylum	Teleomorphytae
División	Tracheomorphytae
Sub División:	Anthomorphyta
Clase:	Angiospermae
Sub Clase:	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo:	Archichlamydeae
Grupo De Ordenes:	Corolinos
Orden:	Ramnales
Familia:	Vitaceae
Nombre Científico:	Vitis vinífera L.
Nombre Común:	Vid

Fuente: (Herbario Universitario (T.B), 2025)

1.7 Morfología

Es una planta leñosa que tiene su tronco retorcido y la corteza rugosa. Si se le permite crecer libremente puede obtener una gran longitud, pero en la poda anual queda reducida a un arbusto de poca altura. Las plantas presentan tallos trepadores que tienen unos órganos especializados conocidos como zarcillos, los cuales se enroscan y sirven

para sostenerla. En casi todas las variedades, los zarcillos se colocan en el lado opuesto de las hojas, endureciéndose en cuanto encuentran soporte. (Pérez, 2000)

1.7.1 Raíces

En la mayoría de los casos son subterráneas y sus funciones son la absorción de agua, minerales, acumulación de sustancias de reserva y anclar la planta al suelo. (Higueras, S. 2017)

La raíz son el soporte de la planta y se forma de la radícula de la semilla, donde se desarrolla una raíz pivotante donde se fija al suelo y a partir de ella crecen otras raíces, estas absorben la humedad y los minerales necesarios para su crecimiento. (Cludcuvee, 2020)

1.7.2 Tronco

De apariencia retorcida y agrietado recubierto por una corteza. Su altura variara según su variedad y del sistema de conducción elegido. El objetivo del tronco es la sujeción de brazos y pámpanos (se explica un poco más abajo), la conducción del agua y la savia y el almacenamiento de sustancias de reserva. (Higueras, S. 2017)

El tronco es un soporte y la parte más gruesa de la planta, con una composición rugosa, y generalmente leñosa. Su tamaño dependerá de la poda, pero como se considera una planta trepadora, puede alcanzar una altura de hasta 30 metros. El tronco junto con los sarmientos son los conductos que transportan el agua y los minerales. El grosor del tamaño de la vid muestra su edad de vida, entre más grueso sea más años tiene. (Cludcuvee, 2020)

1.7.3 Brazos

Responsable de conducir los nutrientes y distribuir la vegetación y frutos en el espacio. Los brazos portan los tallos del año, nombrados pámpanos cuando son herbáceos y sarmientos cuando están lignificados. (Higueras, S. 2017)

El brazo o ramas tienen como función la conducción del alimento por toda la vegetación hasta los frutos. (Cludcuvee, 2020)

1.7.4 Sarmiento

Cada año se produce nuevas ramas que en la fase inicial se denominan pámpanos. Consiste en una serie de nudos y entrenudos que portan las yemas, las hojas, los zarcillos y los racimos. (Higueras, S. 2017)

Los pámpanos son un brote que ocurre cuando una yema se desarrolla, luego cuando maduran se les nombra sarmientos, que son responsables de llevar los nutrientes hasta el fruto, por medio de ellos circula el agua y los componentes minerales. (Cludcuvee, 2020)

1.7.5 Nudos

A lo largo de cada sarmiento, saldrá un número de bultos espaciados entre sí llamados nudos. Por cada nudo se asomará una hoja y una flor, o una hoja y un zarcillo. Formando nuevos brotes donde los tallos de las hojas se uniran al sarmiento. (Higueras, S. 2017)

1.7.6 Yema

Este es el punto de crecimiento para nuevos brotes, que ocurrirán cerca de la hoja.

La vid posee tres tipos de yemas:

Yema principal. Es la yema que brota más frecuente y a la vez se compone de tres yemas: primaria, secundaria y terciaria, sobresaliendo la primaria porque trae la producción de la temporada.

Yema pronta (o anticipada). Esta yema puede brotar en la misma temporada que la yema principal, dando como origen a un brote anticipado. Puede producir fruta, pero ésta será de baja calidad. Ya que por lo general, son ramas improproductivas.

Yema latente. Solo brota en condiciones extremas por ejemplo, bajo una fuerte fertilización nitrogenada o una poda excesiva, dando origen a un brote muy vigoroso en madera vieja (tronco, por ejemplo) llamado "chupón". Este brote es puramente vegetativo, por lo tanto, no produce fruta y si lo hace es de mala calidad. (Perez Ciani, 2019)

1.7.7 Hoja

Es el motor de la planta y las responsables de realizar la fotosíntesis. Es el proceso que se lleva a cabo cuando la clorofila en hojas transforma la energía de la luz solar capturada, en agua y dióxido de carbono, y finalmente en glucosa y oxígeno. (Higueras, S. 2017)

Los colores pueden ser verde claro, verde gauco, verde muy oscuro, etc. La superficie puede ser lisa o bien rugosa, ondulada, abarquillada o ampollosa. Al describir la hoja de vid no debe prescindirse del dato de la mayor o menor abundancia de pelo o borra en el envés de la hoja, pelusa que en algunas especies americanas existe también en el haz o cara superior. (Higueras, S. 2017)

1.7.8 Zarcillo

La vid es una planta trepadora que no pueden estar sujetas por sí misma por lo tanto requieren una estructura de sujeción para mantenerse erguida, los zarcillos son esa estructura. Cuando los zarcillos sienten un punto de apoyo, como una espaldera, se aferrará alrededor del alambre con el fin de mantener el sarmiento en posición vertical. (Higueras, S. 2017)

1.7.9 Racimo

Es el conjunto de flores o frutos de la vid.

1.7.10 Flores y bayas

Las flores son los órganos reproductores, siendo estos hermafroditas, en otras palabras, poseen los dos sexos y se agrupan en racimos llamados inflorescencia. Las flores que logren polinizarse con éxito se convertirán en una baya, y la inflorescencia en un racimo de uvas que será cosechada al final de la temporada. (Higueras, S. 2017)

1.8 Exigencias del cultivo

Hoy en día la vid se cultiva en regiones templadas o cálidas de todo el mundo. Mayormente, en zonas con latitudes que están comprendidas entre los 20 ° y 50 ° Norte

– Sur del Ecuador, donde se encuentran bien definidas las cuatro estaciones del año. (Pérez, 2000)

En estas regiones, el crecimiento y la floración se controlan por la temperatura. De esta manera, el ciclo de desarrollo y producción comienza durante la primavera, el verano y principios de otoño, posteriormente el crecimiento se detiene en otoño e invierno, perdiendo el follaje y permanece en un estado de inactividad fisiológica (invernación). En las regiones tropicales, las plantas permanecen verdes en todo momento y no pierde el follaje, lo que permite generar 2 - 3 cosechas al año, dependiendo de la variedad y la zona.

La temperatura es el principal factor climático que afecta a la vid, por lo cual sus valores óptimos están entre 15 ° y 25 ° C. La vid puede soportar bajas temperaturas, incluso alguna helada, pero eso dependerá de las características del cultivo, así como de las circunstancias del entorno.

En lo que respecta a las preferencias del suelo, las principales propiedades de los mismos son:

- Textura franco – arenosa.
- Suficiente contenido en materia orgánica.
- Buena capacidad de drenaje.
- Ligeramente ácidos, con pH comprendidos entre 5.5 y 7.0.

1.9 Requerimientos edafoclimáticos

1.9.1 Suelos

En general, las vides prosperan en distintos tipos de suelo debido a la gran variedad de cultivares disponibles. Las vides toleran bien la sequía. De hecho, algunos productores de vino de primera calidad prefieren no regar sus uvas si se dan suficientes precipitaciones durante el período de crecimiento vegetativo.

En cuanto el suelo ideal para la vid, muchos agricultores prefieren suelos sueltos y bien drenados con un pequeño porcentaje de grava. En tales tipos de suelo, la vid desarrolla

con facilidad sus raíces vertical y horizontalmente. El drenaje y la aireación adecuados también son buenos en estos tipos de suelo. En general, se deben evitar los suelos con un contenido de arcilla superior al 25%. Un contenido suficiente en CaCO_3 y materia orgánica suele da mejores resultados, aunque tal y como hemos mencionado, existen variedades con necesidades completamente diferentes. La mayoría de las variedades crecen mejor en un rango de pH de 6,5 a 7,5, aunque con una gestión especial, algunas variedades pueden tolerar niveles de pH de 4,5 a 8,5. La tolerancia en los niveles de salinidad dependerá en gran parte de la variedad. (WIKIFARMER, 2024)

1.9.2 Altitud y precipitación

Las viñas pueden dar hasta 1500 a 2500 metros de altitud. Por cada 100 metros de altura se produce un descenso de producción de azúcar en el sumo de la uva. Necesitan una precipitación anual de 600mm. La distribución del agua debe ser regular en función a la capacidad de retención del suelo. Si la precipitación pasa de 900 a 1000mm llegaría a hacer problemas de enfermedades criptogámicas. (Tordoya, O. 2008)

1.9.3 Temperatura

Una temperatura adecuada es vital para que la vid crezca lo suficiente como para completar su ciclo anual. Las temperaturas máximas y mínimas anuales son relevantes, al igual que la distribución térmica anual (es decir, la duración de la temporada de crecimiento). Las variedades difieren en su tolerancia a la temperatura, pero las uvas generalmente se producen en zonas con una temperatura media anual de 10-20 °C. Por debajo de 10 °C, el crecimiento es mínimo. Las uvas requieren temperaturas invernales lo suficientemente frescas como para inducir la latencia de la vid y una temporada de crecimiento lo suficientemente larga como para permitir el desarrollo del fruto.

Las variables de temperatura durante la maduración pueden afectar el equilibrio de azúcares y el pH (acidez) de la fruta. Estos son factores importantes para determinar la idoneidad de una uva para diferentes usos. Los viñedos en climas cálidos suelen producir uvas de mesa, mientras que las uvas de vino se producen en viñedos en zonas

más frías. También se pueden utilizar diferentes métodos de cultivo para mejorar la calidad de la uva a distintas temperaturas. (Educación a Distancia de la ACS, 2016)

1.10 Variedad Tannat

La variedad Tannat es originaria de Francia y plantada en América, también es considerado un viñedo del periodo pirenaico. Está inscrita en el Catálogo de variedades de vid de Francia y en otros países de la Comunidad europea: Bulgaria, Grecia, Italia, Portugal.

Es muy cultivada, con el nombre de Harriague, en Argentina y Uruguay donde su producción supera la de Francia y donde es la variedad principal. (VitiViniCultura.net, 2025)

Su origen es Madiran, en el Suroeste de Francia. Sin embargo, el único país en el mundo que la cultiva a gran escala es Uruguay ocupando un 25% del total del viñedo, lo que la convierte en su variedad más importante. También se la encuentra en Argentina, Bolivia, Perú, Brasil, Australia, en la región italiana de Apulia y en Estados Unidos. (Campos De Solana, 2018)

¿Cómo es un Tannat?

Los vinos elaborados con esta variedad de uva suelen ser de color muy oscuro y presentan aromas a frutos negros, chocolate, té negro, cuero, especiados, terrosos y de alquitrán. En boca son muy tánicos y tienen mucho cuerpo. (Campos De Solana, 2018)

1.10.1 Sinonimias

Esta variedad se la conoce también como:

- Madiran (bassin de l'Adour),
- Moustroun en la región de Burdeos y
- Harriague en América del sur.

1.10.2 Características de los racimos de uva Tannat

1.10.2.1 Racimos

Racimos de tamaño mediano a grande, compactos, cilíndricos y alados, con pedúnculo largo. (Barber, Vidal, V. 2025)

1.10.2.2 Bayas

- Las Bayas de la uva tannat son de tamaño pequeño a mediano, esféricas o ligeramente alargadas.
- Hollejo fino, de color rojo violeta oscuro a negro azulado.
- Pulpa jugosa, con sabor herbáceo.

1.10.2.3 Cepa Tannat

La cepa tannat es bastante vigorosa y productiva.

Desborre y brotación mediana, maduración de estación media.

1.10.3 Descripción ampelográfica de la variedad

- **Sumidades** con importante densidad de pelos tumbados.
- **Hojas jóvenes** de color rojizo con zonas bronceadas.
- **Hojas adultas** de color verde oscuro, grandes, de forma pentagonal, con tres a cinco lóbulos, el lóbulo central es alargado.
- **Senos foliares** poco abiertos e incluso cerrados.
- Pigmentación mediana en los **nervios**.
- **Envés** con densidad mediana de pelos tumbados.
- **Bayas** redondas. (Barber, Vidal, V. 2025)

1.10.4 Características agronómicas de la variedad de uva Tannat

La vid, de maduración tardía y alto rendimiento, es relativamente resistente a la botritis y buena contra la sequía, pero susceptible al mildiú velloso y al oídio, a los ácaros y a la polilla del racimo, y tiene tendencia al goteo.

Produce vinos tintos de color oscuro, especiados y ricos en taninos, con aroma a frambuesa. En análisis químicos han revelado niveles muy elevados de resveratrol y cianidina, que tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Según análisis publicados en la revista científica "Nature", el Tannat está considerado como el " vino tinto más saludable ". Su sabor fuertemente astringente se suaviza con la adición de Cabernet Sauvignon y Cabernet Franc. (wein.plus, 2022)

- Sensible a los ácaros y a les cicadélidos.
- Un poco sensible à la podredumbre gris.
- Se aconsejan las podas largas y conducción en espaldera. (Barber, Vidal, V. 2025)

1.10.5 Potencial enológico de las uvas Tannat

En general da unos vinos con mucho color, muy taninos y nerviosos con cierta acidez.

- Ásperos cuando son jóvenes, se suavizan envejeciendo, en barricas de roble y se aconseja ese envejecimiento.
- Esta variedad permite elaborar vinos tintos de calidad.
- Los aromas presentes son la frambuesa, la mora, etc.
- El Tannat puede ser utilizado en mezclas con el Cabernet Sauvignon o el Fer-Servadou. (Barber, Vidal, V. 2025)

Los racimos son grandes, mientras que las bayas son pequeñas a medianas. El Tannat produce unos vinos de gran color, muy tánicos y nerviosos (con una acidez ligeramente dura). Esta variedad permite elaborar vinos tintos de calidad, potentes, estructurados y aptos para el envejecimiento. (PlantGrape, 2023)

1.11 Mildiu en la vid

El mildiu en la vid es de las enfermedades más conocidas de este cultivo y puede llegar a ser grave en la viticultura, por lo que si hay condiciones ambientales favorables, puede atacar a todos los órganos verdes de la planta de viña, haciendo perder una parte importante de la producción de uva.

Al mildiu de la vid también se le conoce como: mildeo, mildeu, niebla, añublo.

El mildiu de la vid es una enfermedad grave causado por un hongo llamado *Plasmopara viticola* que afecta a viticultores de todo el mundo. Es conocida mundialmente por todos los daños graves que produce cuando está en condiciones climáticas favorables. (Barber, Vidal, V. 2022)

Este hongo suele invernar básicamente en forma de oospora en los residuos vegetales de ciclos anteriores. En primavera, cuando las temperaturas exceden los 12-13 grados y se acompaña de lluvias abundantes, estas oosporas germinan y emiten esporangios que son diseminados por el agua y el viento llegando a las partes verdes de la planta liberando las zoosporas. (Manvert, 2022)

1.11.1 Características biológicas y ciclo de vida del patógeno

El Mildiu es un endoparásito que ingresa por los estomas de la planta y coloniza el mesófilo de la hoja, para luego formar estructuras de reproducción asexual llamados esporangióforos, los que sostienen a los esporangios, que son a su vez estructuras que contienen las zoosporas, cuerpos microscópicos unicelulares y biflagelados que se forman con fines de dispersión e infección. Dentro de los tejidos vegetales, el patógeno forma oosporas que son estructuras de supervivencia de largo plazo (dormancia) en condiciones adversas. «Una de las características de este patógeno tiene que ver con el hecho de que sus esporas son móviles, nadan, a diferencia de las esporas de otros patógenos que requieren del viento o las salpicaduras de agua para su dispersión. Las zoosporas del Mildiu tienen dos flagelos uno de los cuales gira como una suerte de hélice y le da impulso o movimiento, el otro le sirve como timón para orientarse. El Mildiu es un patógeno que crece muy rápido, es un ‘parásito obligado’. (Reyner, Castillo A. 2021)

1.11.2 Taxonomía

Tabla 2

Clasificación taxonómica del mildiu de la vid (*Plasmopara viticola*).

Reyno	Chromista
Filo	Oomycota
Clase	Oomycetes
Orden	Peronosporales
Familia	Peronosporaceae
Genero	Plasmopara
Especie	P. viticola

Fuente: Reyner, Castillo A. (2021)

1.11.3 Ciclo biológico

El mildiu de la vid es un oomiceto endoparásito que ocupa el espacio intercelular de los tejidos que ataca. Pasa el invierno en forma de oospora o estructura de resistencia, en hojas y restos vegetales presentes en el suelo. El proceso de maduración de estas oosporas invernales se relaciona con las temperaturas y las precipitaciones, de tal forma que los inviernos suaves y lluviosos aceleran y favorecen su desarrollo. El patógeno se desarrolla según las siguientes fases:

1. **Contaminación:** En primavera, una vez que las oosporas alcanzan su madurez, germinan emitiendo esporangios que posteriormente liberan zoosporas. Estas pueden ser transportadas, generalmente por salpicaduras de lluvia, hacia las partes verdes de la cepa, donde en presencia de agua durante un mínimo de dos horas, germinan formando un tubo germinativo que penetra por los estomas al interior de los tejidos vegetales. Se produce así una contaminación primaria,

para la que se necesitan aproximadamente 12 °C, 10 cm de brotación y 10 mm de lluvia en un día. Estas infecciones primarias tienen gran importancia al inicio, ya que mediante ellas el patógeno se establece en la vegetación.

2. **Incubación:** El micelio se extiende intercelularmente hasta culminar su desarrollo, apareciendo entonces las manchas de aceite en el haz de las hojas y la fructificación blanquecina en el envés o en los racimos, que constituye la fructificación asexual. Este periodo tiene una duración de entre 4 y 21 días, dependiendo de la temperatura y de la humedad relativa.
3. **Esporulación:** Momento en el que se produce la fructificación asexual. Los esporangióforos producen esporangios mediante los cuales se propaga el patógeno durante el periodo vegetativo del cultivo.
4. **Diseminación:** Los esporangios transportados por la lluvia o el viento húmedo son diseminados y, si encuentran las condiciones necesarias, liberarán zoosporas que iniciarán las contaminaciones secundarias. La sola presencia de agua de rocío durante más de dos horas puede ser suficiente para que se produzcan contaminaciones secundarias. En este caso, tendrán una distribución más localizada, aunque podrán extenderse en sucesivos ciclos. Las condiciones óptimas de propagación son las lluvias nocturnas o al amanecer, con temperaturas entre 20 y 25 °C. (Reyner, Castillo A. 2021)

1.11.4 Condiciones climáticas que favorecen su desarrollo

Los factores climáticos tienen un efecto completo en el desarrollo de este hongo, la temperatura óptima para la reproducción sexual del hongo causante de la enfermedad es de 18-22 °C. (Barber, Vidal, V. 2022)

Hay una regla para recordar cuales son las condiciones preferidas para el inicio y desarrollo de esta enfermedad, conocida por los tres 10, y es, que la enfermedad se desarrolla cuando se cumplen los 3*10:

- Brotes en la vid iguales o superiores a 10 cm.
- Precipitación superior a 10 mm o 10 L/m².
- Temperatura media superior a 10°C.

Si estamos en plena época del desarrollo de esta enfermedad y se dan las tres condiciones, se debe realizar un tratamiento preventivo. La enfermedad se manifiesta en climas cálidos y húmedos durante el periodo de crecimiento vegetativo.

La reproducción sexual de este hongo comienza a principios de verano y el hongo se desarrolla dentro de los tejidos infectados de la vid. En invierno, *Plasmopara viticola* suele invernar, pero en las regiones con inviernos suaves puede llegar a sobrevivir.

1.11.5 Sintomatología y daños que produce en la vid

Este patógeno produce síntomas muy específicos. En lo que se llama la contaminación primaria, afectando primeramente a las hojas, en el haz aparecen regiones de aspecto amarillento que son conocidas con el nombre de “manchas de aceite”. (Manvert, 2022)

1.11.5.1 En hojas

Se distinguen las típicas manchas de aceite en el haz, que a su vez se corresponden en el envés con una pelusilla blanquecina. (Manvert, 2022)

Con condiciones favorables, se puede producir la infección primaria, visible por la conocida como “mancha de aceite” en el haz, donde aparecen manchas amarillentas, de aspecto aceitoso y formas angulares, limitadas por los nervios. Las esporas del hongo aparecen de modo característico en el envés, con formación densa, blanca y algodonosa, conocida también como “pelusilla”.

La infección de las hojas es muy importante, tanto como fuente de inóculo para la infección de los racimos como fuente de contaminación futura invernante. Las infecciones secundarias que se suceden a continuación presentan la misma sintomatología. Al final del periodo vegetativo estas manchas se tornan angulares, en forma de mosaico y de color pardo-rojizo. En ataques severos las hojas infectadas caen

al suelo, repercutiendo en la cantidad y calidad de la cosecha. (Reyner, Castillo A. 2021)

1.11.5.2 Brotes y sarmientos

Los brotes se curvan y se cubren de una pelusilla blanquecina, que es capaz de secarse y caer si el ataque es lo suficientemente fuerte. (Manvert, 2022)

1.11.5.3 Mildiu en Racimo

Los granos pueden ser atacados inicialmente o posteriormente. En ataques tardíos, los racimos no se recubren de una pelusilla blanca, pero adquieren un color pardo.

En racimo, las flores y granos recién cuajados son bastantes sensibles, y pueden presentar en caso de ataque la citada pelusilla blanquecina. (Manvert, 2022)

Tanto las flores como los frutos recién cuajados presentan especial sensibilidad. Los racimos jóvenes son muy sensibles, mostrándose grisáceos cuando están infectados y se recubren de un polvo gris debido a la esporulación del hongo. En caso de ataque a estos órganos es característica la aparición de la citada pelusilla blanquecina. Cuando el hongo coloniza el raquis del racimo, se curva en forma de S y se acaba secando, parcial o totalmente. A partir del estado fenológico cuyo tamaño del fruto se asemeja a un guisante, éstos se arrugan y desecan, no existiendo esporulación alguna, lo que se conoce como mildiu tardío o larvado. A partir del envero, el racimo ya no es tan sensible a la enfermedad.

El periodo más crítico ocurre en la fase de floración y cuajado, donde el cultivo es especialmente sensible al ataque del hongo. Por tanto, cuando se producen condiciones de elevada humedad relativa, es conveniente mantener protegido el viñedo desde ese estado fenológico hasta el envero y a partir de la detección de la primera mancha. (Reyner, Castillo A. 2021)

1.11.6 Métodos de control del mildiú

1.11.6.1 Control químico

Para que el control químico del mildiú sea eficaz debe realizarse cuando las condiciones climáticas son las favorecedoras para el desarrollo de la enfermedad.

Actualmente hay tres tipos de productos químicos en el mercado para el tratamiento del mildiú. (Barber, Vidal, V. 2022)

1.11.6.2 Fungicidas de contacto

Los fungicidas de contacto, o protectores, actúan directamente sobre la superficie de la planta, formando una barrera que previene y controla las esporas de hongos al contacto, sin penetrar en los tejidos vegetales. Ejemplos comunes incluyen el azufre y el mancozeb. Su principal desventaja es que solo protegen el área aplicada, requieren reaplicaciones para cubrir nuevos brotes y se lavan fácilmente con la lluvia. (JEBAGRO, 2025)

- Este tipo de productos, generalmente se usa en tratamientos preventivos del mildiú en la vid, ya que son efectivos mientras se encuentran sobre la planta.
- No penetran al interior de la planta, y podrían ser lavados por la lluvia. No se crea resistencias.
- Son efectivos de 4 a 8 días y se puede repetir tratamiento, especialmente cuando llueve o cuando hay un crecimiento muy rápido.
- Algunas materias activas de contacto son: captan, folpet, hidróxido cúprico, mancozeb, maneb, metiram, oxiclورو de cobre, óxido cuproso, sulfato cuprécico y tolifluanida.

1.11.6.3 Fungicidas penetrantes

- Este tipo de productos penetra parcialmente al interior de la planta, pero solo llegan a desplazarse un poco en la zona donde han sido aplicados.
- Son productos preventivos, pero también curativos durante los primeros días de la enfermedad del mildiu en vid.
- Son efectivos de 8 a 10 días.
- Generan resistencias. No se debe realizar más de 3 o 4 tratamientos seguidos al año.
- Como penetrantes destacan el: azoxistrobin, cimoxanilo, dimetomorf o famoxadone. (Barber, Vidal, V. 2022)

1.11.6.3.1 Fungicidas translaminares

Los fungicidas translaminares combinan los beneficios de los fungicidas de contacto y sistémicos. Se aplican en la superficie de la planta, pero se absorben en el tejido de las hojas, llegando a la cara inferior de las hojas y proporcionando protección desde ambos lados. Los fungicidas translaminares son particularmente efectivos contra enfermedades que afectan la cara inferior de las hojas, como el oídio. Ejemplos de fungicidas translaminares incluyen trifloxistrobina y flutriafol. (JEBAGRO, 2025)

1.11.6.4 Fungicidas sistémicos

Los fungicidas sistémicos se absorben en la planta y se desplazan a través de su sistema vascular, brindando protección interna. Son particularmente efectivos para controlar infecciones internas, aunque su acción puede ser más lenta. Ejemplos de fungicidas sistémicos incluyen azoxistrobina, propiconazol y tebuconazol. (JEBAGRO, 2025)

- Para estos productos, el producto penetra en el interior de la planta y circula por la savia hacia todos los órganos.
- Son fitosanitarios preventivos, aunque también curativos durante los primeros días la enfermedad del mildiu vid, protegiendo los nuevos órganos formados por el crecimiento de las plantas después del tratamiento.

- El periodo es aproximadamente 12 a 14 días.
- Crea resistencias, por lo que hay que limitar los tratamientos.
- Dentro de los productos sistémicos tenemos el benalaxil, fosetil-al, iprovalicarb, melalaxil M o metalaxil. (Barber, Vidal, V. 2022)

1.12 Ingredientes activos en fungicidas

Los ingredientes activos son los químicos en los productos pesticidas que matan, controlan o repelen plagas. Por ejemplo, los ingredientes activos en un herbicida son el (los) ingrediente(s) que matan las malas hierbas. A menudo, los ingredientes activos constituyen la menor parte de todo el producto. Las etiquetas de los pesticidas incluyen el nombre de cada ingrediente activo y su concentración en el producto.

- El mismo ingrediente activo puede encontrarse en cientos de productos plaguicidas con nombres diferentes.
- Los productos de marcas similares pueden tener diferentes ingredientes activos.
- Los productos con el mismo nombre e ingrediente(s) activo(s) pueden tener diferentes concentraciones.
- Algunos ingredientes activos trabajan contra una amplia gama de plagas. Otros son más específicos, matando sólo ciertas cosas.
- Hay familias de ingredientes activos que trabajan en la misma forma básica. El uso de ingredientes activos de diferentes familias químicas puede retrasar el desarrollo de la resistencia a los plaguicidas. (NPIC, 2015)

Según la invención, pueden tratarse todas las plantas y partes de planta. Por plantas se entiende, a este respecto, todas las plantas y poblaciones de plantas como plantas silvestres deseadas y no deseadas o plantas de cultivo (incluyendo plantas de cultivo de aparición natural). Las plantas de cultivo pueden ser plantas que pueden obtenerse mediante procedimientos de cultivo y optimización convencionales o mediante procedimientos biotecnológicos y de ingeniería genética o combinaciones de estos procedimientos, incluyendo las plantas transgénicas e incluyendo las variedades de plantas protegibles por el derecho de protección de variedades o las variedades de

plantas no protegibles. Por partes de planta debe entenderse todas las partes y órganos de planta aéreos y subterráneos, como brote, hoja, flor y raíz, indicándose por ejemplo hojas, agujas, tallos, troncos, flores, cuerpos frutales, frutos y semillas, así como raíces, tubérculos y rizomas. Pertenecen también a las partes de planta productos de cosecha, así como material de propagación vegetativa y generativa, por ejemplo, esquejes, tubérculos, rizomas, acodos y semillas.

El tratamiento según la invención de plantas y partes de planta con los principios activos se realiza directamente o mediante acción sobre su entorno, hábitat o espacio de almacenamiento según procedimientos de tratamiento habituales, por ejemplo, mediante inmersión, pulverización, vaporización, nebulización, dispersión, extensión, y en material de reproducción, particularmente en semillas, además mediante envolturas de una o varias capas. (España, 2008)

La combinación de principios activos según la invención puede transferirse a las formulaciones habituales, como soluciones, emulsiones, suspensiones, polvos, espumas, pastas, gránulos, aerosoles, encapsulaciones finas en sustancias poliméricas y en sustancias de revestimiento para semillas, así como formulaciones ULV.

Estas formulaciones se preparan de modo conocido, por ejemplo, mediante mezclado de los principios activos o combinaciones de principios activos con agentes extensores, es decir, disolventes líquidos, gases licuados mantenidos a presión y/o vehículos sólidos, eventualmente usando agentes tensioactivos, es decir, agentes emulsionantes y/o dispersantes y/o agentes espumantes. En el caso de empleo de agua como agente extensor, pueden usarse también, por ejemplo, disolventes orgánicos como disolventes auxiliares. Como disolventes líquidos se tienen esencialmente en cuenta: compuestos aromáticos como xileno, tolueno o alquilnaftalenos, compuestos aromáticos clorados o hidrocarburos alifáticos clorados como clorobenzenos, cloroetilenos o cloruro de metileno, hidrocarburos alifáticos como ciclohexano o parafinas, por ejemplo, fracciones de petróleo, alcoholes como butanol o glicol, así como sus éteres y ésteres, cetonas como acetona, metiletilcetona, metilisobutilcetona o ciclohexanona, disolventes polares fuertes como dimetilformamida y dimetilsulfóxido, así como agua.

Por agentes extensores o vehículos en forma de gas licuado se entienden aquellos líquidos que a temperatura normal y presión normal tienen forma de gas, por ejemplo, gases impulsores de aerosoles como butano, propano, nitrógeno y dióxido de carbono. Como vehículos sólidos se tienen en cuenta: por ejemplo, polvos de roca naturales como caolín, arcillas, talco, creta, cuarzo, atapulgita, montmorillonita o tierra de diatomeas, y polvos de roca sintéticos como sílice de alta dispersión, óxido de aluminio y silicatos. Como vehículos sólidos para gránulos se tienen en cuenta, por ejemplo, rocas fracturadas y fraccionadas naturales como calcita, mármol, piedra pómez, sepiolita, dolomita, así como gránulos sintéticos de polvos inorgánicos y orgánicos, así como gránulos de material orgánico como serrín, cortezas de coco, mazorcas de maíz y tallos de tabaco. Como agentes emulsionantes y/o espumantes se tienen en cuenta, por ejemplo, emulsionantes no ionogénicos y aniónicos como polioxietileno-éster de ácido graso, polioxietileno-éter de alcohol graso, por ejemplo, alquilarilpoliglicoléter, sulfonatos de alquilo, sulfatos de alquilo, sulfonatos de arilo, así como hidrolizados de albúmina. Como dispersantes se tienen en cuenta, por ejemplo, lejías de lignina-sulfito y metilcelulosa. (España, 2008)

1.12.1 Ingrediente activo individual

Los "activos individuales" en fungicidas son los ingredientes activos, las sustancias químicas que se encargan de controlar o eliminar los hongos patógenos. Cada producto fungicida contiene uno o más ingredientes activos (como azufre, cobre, o triazoles), los cuales se mezclan con ingredientes inertes que mejoran la formulación y aplicación del producto.

Los ingredientes activos son los componentes del fungicida que tienen una acción biológica sobre el hongo. Son las moléculas que matan, controlan o repelen los hongos que causan enfermedades en las plantas, también deben estar especificados en la etiqueta del producto, junto con su porcentaje en peso, para que los usuarios sepan qué sustancia están aplicando. (EPA, 2025)

1.12.2 Importancia de conocerlos

Entender el ingrediente activo ayuda a rotar fungicidas con diferentes mecanismos de acción, evitando la aparición de hongos resistentes a un mismo compuesto y también es fundamental la compatibilidad al mezclar fungicidas para asegurar que los diferentes ingredientes activos sean compatibles y seguros de usar juntos. (España, 2008)

1.12.3 Ingredientes activos combinados

Los fungicidas con ingredientes activos combinados contienen dos o más sustancias químicas responsables del efecto biológico (fungicida) en el mismo producto, con el objetivo de mejorar la protección de los cultivos al ampliar el espectro de acción, aumentar la potencia, y prevenir o retrasar el desarrollo de resistencia de los hongos a los fungicidas. Estas combinaciones pueden ser formuladas para actuar de diferentes maneras, como mediante la combinación de ingredientes con mecanismos de acción distintos que actúan de forma complementaria. (GCM, 2021)

1.12.3.1 Ventajas de combinar fungicidas

1.12.3.1.1 Alcance de más patógenos

Una de las ventajas para el control de enfermedades de combinar fungicidas en una sola formulación es ampliar el espectro de actividad del tratamiento; es decir, alcanzar más patógenos objetivos con una sola aplicación. El espectro de actividad de cualquier compuesto lo definen primero los fabricantes en experimentos de laboratorio e invernadero, luego lo verifican en ensayos de campo y, finalmente, lo prueban en instalaciones comerciales. (campos de golf)

Cuando la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. registra fungicidas, las enfermedades a las que se dirigen se detallan en las etiquetas del producto.

Una segunda ventaja es el aumento de la potencia del tratamiento, un beneficio que influye tanto directa como indirectamente en el control de la enfermedad. Desde una perspectiva directa, dos ingredientes activos tienen mayor probabilidad de eliminar el patógeno objetivo que cada uno por separado. (GCM, 2021)

1.12.3.1.2 Beneficios indirectos de la combinación de fungicidas para el control de enfermedades

Los beneficios indirectos de aumentar la potencia del tratamiento se relacionan con el manejo de la resistencia a los fungicidas. El aumento de la resistencia se debe a dos factores: la presión selectiva y la mutación. La combinación de fungicidas puede limitar la exposición a cada ingrediente activo (depende de la separación de los ingredientes activos en el espacio y el tiempo), reduciendo así la presión selectiva de las cepas patógenas resistentes a cada fungicida.

También sabemos que la rotación de fungicidas (evitar fungicidas con los mismos códigos FRAC en aplicaciones sucesivas) reduce la presión selectiva de cepas resistentes. Considerando el amplio arsenal de fungicidas registrados para su uso contra enfermedades con alto riesgo de resistencia (por ejemplo, antracnosis, mancha dólar y tizón por *Microdochium*), el uso de productos combinados dentro de una rotación eficaz ofrece una estrategia viable para el manejo de la resistencia.

Además, la mayor eficacia, incluso con concentraciones de fungicidas más bajas, puede reducir el riesgo de mutación hacia la resistencia. Aunque se ha pasado por alto durante mucho tiempo, existe amplia evidencia de que las células fúngicas mutan bajo estrés. Las concentraciones subletales constituyen un nivel de estrés que provocará todo tipo de mutaciones, incluidas las que provocan insensibilidad a los fungicidas. Si la combinación de fungicidas aumenta la mortalidad en las células expuestas a concentraciones subletales, se reducirá la frecuencia de mutaciones. (GCM, 2021)

En resumen, los fabricantes de fungicidas registran fungicidas combinados para optimizar la formulación de dos o más ingredientes activos. Estos fungicidas combinados amplían el espectro de acción y aumentan la potencia de cada tratamiento. Esta mayor potencia reduce aún más las poblaciones de patógenos, lo que prolonga el control. También reduce el riesgo de resistencia a fungicidas individuales o a clases de fungicidas, y puede disminuir la mutación inducida por estrés entre los supervivientes. (GCM, 2021)

1.13 Control orgánico

1.13.1 Caldo bordelés

Es una combinación de sulfato cúprico y cal hidratada. (Carlos O. 2020)

El Caldo Bordelés es un fungicida y bactericida tradicional a base de sulfato de cobre y cal hidratada, que se utiliza para proteger las plantas contra diversas enfermedades fúngicas (como el mildiu) y bacterianas, así como para prevenir el ataque de algunos insectos. Originado en la región de Burdeos, Francia, es una alternativa económica, amigable con el medio ambiente y apta para cultivos orgánicos, que se adhiere a la superficie de la planta y actúa como una capa protectora. (CERESTIA, 2022)

1.13.1.1 Historia

Fue inventado por los viñateros de la región de Bordeaux en Francia y conocida localmente como Bouillie Bordelaise. (Carlos, O. 2020)

Fue el primer fungicida reportado en la historia, cuando en Francia un campesino fumigó los bordes de un viñedo para que los caminantes no las consiguiesen, comprobando que el área donde estaba fumigando las plantas se encontraban más sanas, desde entonces se llamó caldo bordelés (los bordes del camino). (Tamayo, P. , 2016)

1.13.1.2 Composición

Se elabora mezclando sulfato de cobre con cal hidratada (o cal apagada) en agua. La cal ayuda a ajustar el pH de la solución a un nivel neutro o ligeramente alcalino (entre 6 y 7.5), lo que aumenta la eficacia del cobre como fungicida. (CERESTIA, 2022)

1.13.1.3 Usos

Es utilizado para la prevención y control de enfermedades que son causadas por hongos como Antracnosis y Mildiu en el tallo, hojas y frutos en el cultivo de hortalizas, frutales y ornamentales. (Tamayo, P. 2016)

El caldo bordelés tiene ningún efecto curativo solo impide que los hongos se desarrollen en otras partes de la planta o del cultivo.

Tiene resistencia al lavado por lluvias y se fija fuertemente a la superficie de las plantas después de secarse.

Se utiliza principalmente para controlar los hongos en la mayoría de las plantas, especialmente en hongos de la viña. Este fungicida ha estado en uso por más de un siglo y sigue utilizándose. (Carlos, O. 2017)

1.13.1.4 Preparación del caldo bordelés

Para fabricar caldo bordelés al 1%, necesita los siguientes ingredientes:

- 1 kilogramo de cal viva o hidratada (óxido de calcio o hidróxido de calcio)
- 1 kilogramo de sulfato de cobre.
- 1 recipiente de plástico con capacidad de 100 litros.
- 1 balde pequeño de plástico con capacidad de 20 litros.
- 1 bastón de madera para revolver la mezcla.
- 1 machete para probar la acidez del caldo.
- 100 litros de agua.

1.13.1.5 Forma de preparación

1. Disolver el sulfato de cobre en un recipiente individual (preferiblemente en agua caliente) se disuelve más rápido y mejor.
2. Adicionar el sulfato de cobre sobre la cal previamente disuelta teniendo cuidado porque hay aumento de temperatura y se pueden generar gases tóxicos.
3. Revolver y revisar el PH antes de la aplicación.
4. Se aplica en forma de aspersión con bombas de espalda

1.13.1.6 Para tener en cuenta

1. Se deben usar recipientes plásticos nunca metálicos (se corroen)
2. Verificar el PH de resolución con papel indicador (PH ideal de 6 a 7). También puede verificarse con un machete si al introducir se oxida, debe agregarse más cal a la mezcla para neutralizarlo.
3. Preparar al momento de aplicación ya que con el tiempo pierde sus propiedades adhesivas y puede causar daños.
4. No aplica en almácigos ni en etapa de florecencia.
5. No existe dosis únicas se debe experimentar con creatividad comando muchas posibilidades

1.13.1.7 Caldo bordelés ecológico

A pesar de ser apto para agricultura ecológica, si no se aplica correctamente el cobre puede lixiviarse y contaminar corrientes de agua. (Carlos, O., 2017)

1.13.2 Extractos vegetales como fungicidas

1.13.2.1 Cola de caballo como fungicida

Si se debe hablar de una planta potente contra las enfermedades fúngicas, esa es la cola de caballo. *Equisetum arvense*. Y esta propiedad se la debemos a que es una excelente planta para acumular sílice en sus tejidos, en forma de ácido silícico.

Lo que hace que esta planta sea única contra las enfermedades fúngicas es que tiene un excelente contenido en sílice. Y aunque se dice que las plantas requieren 16 micronutrientes, aunque en realidad son muchos más, pero dentro de estos 16, el sílice ocupa un lugar bastante importante. (La Tanina, 2022)

La cola de caballo se utiliza como fungicida que, a diferencia de los insecticidas, se utiliza como tratamiento para combatir los hongos. Su alto contenido de sílice y la presencia de una saponina tóxica para los hongos conocida como Equisetonina son las principales propiedades que radican en la mayoría de los casos estas enfermedades

como la Roya (heridas y agujeros en las hojas), Oídio (polvo blanco sobre las hojas), Mildiu (manchas blanquecinas en el envés de las hojas) entre otros.

Su uso se recomienda como preventivo, para evitar la posible proliferación de hongos en las plantas, como curativo, eliminando los hongos una vez instalados. (PURPLANT, 2021)

Funciones del Sílice en las plantas

Por un lado, el sílice interviene en la estructura celular de las plantas, como sería en las paredes celulares vegetales, las ceras o las cutículas y eso representa la primera barrera física de protección de una planta contra el ataque de un hongo.

Al reforzar estas estructuras ya podemos conseguir un gran resultado cuando nuestras plantas sean atacadas. Además de eso el sílice tiene otro plano de acción, que es la de ayudar a desencadenar toda una serie de mecanismos bioquímicos que se activan dentro de la planta en cadena una vez que la primera célula ha sido atacada.

A parte de mejorar el mecanismo de defensa de la planta, el sílice también actúa como medio protector contra los ataques de hongos.

Los hongos viven bien en condiciones de alta humedad y el sílice es un gran secante. Si se realiza correctamente la extracción, podemos tener altas concentraciones de sílice en nuestro preparado que al aplicarlas sobre el hongo instalado podrían frenar su crecimiento o incluso llegar a matarlo. (La Tanina, 2022)

1.13.2.2 Ajo como fungicida

El ajo contiene azufre y alicina, estos dos compuestos que actúan como fungicidas naturales los cuales pueden eliminar en tiempo récord las bacterias.

Una vez que aparece la enfermedad, lo común es que recurramos a todos los costosos pesticidas, que alejaran no solo a los hongos, sino también a los insectos y bacterias. Pero debido a su alto contenido en químicos, a la vez que parecen tratarlas, también están dañándolas.

Existen muchas formas de realizarlo, tanto solo como con otros ingredientes, pero en todos ellos actúa en tiempo récord y no solo consigue eliminar los hongos, también podemos prevenir su aparición.

Además de ser considerado un pesticida ecológico, que colabora con el cuidado del medioambiente debido a que no se realiza con productos tóxicos ni químicos, también es muy sencillo de preparar y muy efectivo para combatir hongos. (El español, 2024)

Ventajas del uso de productos naturales frente al uso de productos químicos

- Adaptación al posible nuevo marco legislativo en lo referente al uso de productos de síntesis. A corto plazo será necesario reducir el uso de pesticidas químicos debido al impacto medioambiental y por resultar nocivos para la salud.
- Cultivos más sostenibles, al evitar el uso total o parcial de sustancias químicas.
- Los productos biológicos no generan residuos químicos en el producto final, disminuyendo así el impacto sobre la salud humana y el medio ambiente.
- Medios de producción sostenibles de bajo coste.
- Podemos elaborarlos nosotros mismos, con productos presentes o cultivados en nuestras huertas o jardines, sin depender de terceros. (El retiro, 2020)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODO

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

El ensayo se realizó en la comunidad el Portillo perteneciente a la provincia Cercado del departamento de Tarija a 5 km de la ciudad capital.

2.1.1 Ubicación geográfica

El trabajo se realizó en el departamento de Tarija que se ubica en el extremo Sur del país, entre los paralelos 20° 53' 00" y 22° 52' 30" de Latitud Sur y entre los meridianos 65° 25' 48" y 62° 15' 34" de Longitud Oeste a una altura de 1.866 metros sobre el nivel del mar, caracterizada por ser una región productora de uva y durazno.



2.1.2 Topografía

La topografía de Tarija Cercado es variada, dominada por el Valle Central de Tarija, una zona de valles templados y llanuras donde se asienta la ciudad capital, y se eleva hacia las serranías subandinas en sus zonas norte y oeste, que presentan una topografía más accidentada con valles angostos y pendientes más pronunciadas.

2.1.2.1 Características principales

Valles Templados y Llanuras: La zona central de Cercado, donde se encuentra la ciudad de Tarija, se caracteriza por tener un relieve suave, ideal para la agricultura y los asentamientos humanos.

Serranías Subandinas: Al norte y oeste, el territorio presenta una serie de serranías que son parte de la zona subandina. Estas áreas son más accidentadas, con valles estrechos.

Altitud Variable: La altitud en la región es baja, con una altitud mínima de 1.260 m.s.n.m. en el Valle Central y un punto de altitud máxima en las zonas de serranía que pueden alcanzar hasta los 4.300 m.s.n.m.

Pendientes: Las pendientes son suaves en las zonas bajas y más altas en la parte de las serranías, lo que permite diferentes usos del suelo.

2.2 CARACTERÍSTICAS AGROPECUARIAS

2.2.1 Clima

En Tarija, los veranos son largos, calurosos, mojados y mayormente nublados y los inviernos son cortos, frescos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 29 °C.

En base a la puntuación de turismo, las mejores épocas del año para visitar Tarija para actividades de tiempo caluroso son desde finales de febrero hasta principios de mayo y desde principios de septiembre hasta finales de diciembre.

Tabla 3
Temperaturas generales registradas en Tarija

Temperaturas	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Max media	23,9	25,2	26,1	27,4	27,4	27,4	27,0	26,8	26,3	25,2	24,9	23,9	26,0
Mim media	2,3	4,2	7,6	11,2	12,9	13,9	14,2	13,8	13,2	10,6	6,0	2,5	9,4
Media ambiente	13,1	14,9	16,9	19,3	20,1	20,7	20,6	20,3	19,8	18,1	15,4	13,2	17,7
Max absoluta	36,0	36,5	39,0	39,3	37,8	38,8	36,0	37,4	37,0	37,3	36,2	34,2	39,3
Mim absoluta	-7,8	-9,5	-4,2	1,0	3,0	5,0	6,0	4,0	5,0	5,0	-3,0	-7,7	-9,5

Fuente: Tarija (Universidad)

2.2.2 Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Tarija varía considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 4,1 meses, de 20 de noviembre a 24 de marzo, con una probabilidad de más del 40 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Tarija es enero, con un promedio de 19,1 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 7,9 meses, del 24 de marzo al 20 de noviembre. El mes con menos días mojados en Tarija es junio, con un promedio de 5,6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Tarija es enero, con un promedio de 19,1 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia.

Tabla 4

Precipitaciones generales registradas en Tarija

Precipitación	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Pptn (mm)	0,6	2,1	7,0	33,1	68,9	123,9	136,4	117,1	81,3	22,7	2,4	0,8	596,4
Pptn (Max) en 24 hrs	20,0	34,0	23,0	59,0	74,0	106,6	97,8	74,7	83,3	43,0	25,6	22,0	106,0

Fuente: Tarija (Universidad)

2.2.3 Humedad

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Tarija, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año.

Tabla 5

Humedad general en (%) registrada en Tarija

Humedad	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Hum relativa (%)	50	48	48	52	57	62	66	68	67	64	57	51	58

Fuente: Tarija (Universidad)

2.2.4 Vegetación en la comunidad El Portillo

En la comunidad El Portillo existe diversa vegetación como ser cultivada, hortalizas y frutales. En el siguiente cuadro se puede ver algunos ejemplos de cada uno.

Tabla 6

Caracterización general de la vegetación predominante en la comunidad El Portillo.

Cultivada	Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.
	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L.
	Maíz	<i>Zea mays</i> L.
	Arveja	<i>Pisum sativum</i> L.
Hortalizas	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
	Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.
Frutales	Durazno	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch
	Uvas	<i>Vitis vinifera</i> L.
	Higo	<i>Ficus carica</i> L.

Fuente: Elaboración propia con base en IPNI (2024) y WFO (2024).

2.2.5 Suelos

El suelo tiene varias características particulares, derivadas de su geografía, clima y uso humano. Pero teniendo en cuenta comentarios de algunos productores de la zona podemos tener una idea de cómo sería el suelo en la comunidad El Portillo y se ve reflejado en el siguiente cuadro.

Tabla 7

Descripción general de los suelos predominantes en la comunidad El Portillo.

Textura / Profundidad	Drenaje	Fertilidad / pH
Franco limo/arcillo-arenoso, moderada-profunda	Bien a moderadamente bien, con áreas imperfectas	Nutrientes/materia orgánica bajos, pH $\approx$ 6–8
Franco arcillo-arenoso, moderada-profunda	Similar al anterior	Similar, con pedregosidad variable

Fuente: Elaboración propia, basada en datos técnicos de la comunidad El Portillo.

2.3 MATERIALES

2.3.1 Material vegetal

El material vegetal utilizado en el presente estudio correspondió a plantas de vid (*Vitis vinifera* L.), variedad Tannat, establecidas en un viñedo comercial de la comunidad El Portillo, departamento de Tarija.

La variedad Tannat se caracteriza por su vigor medio–alto, buena adaptación a condiciones templadas y potencial enológico destacado. Presenta susceptibilidad moderada al mildiu (*Plasmopara viticola*) bajo condiciones de alta humedad relativa y precipitaciones frecuentes.

2.3.2 Productos fitosanitarios utilizados

Para la ejecución del ensayo se emplearon fungicidas de diferente naturaleza química, correspondientes a los tratamientos evaluados.

2.3.2.1 Fungicidas de contacto y sistémicos

Se utilizaron productos comerciales cuyos ingredientes activos incluyeron:

- Mancozeb
- Dimetomorph
- Metalaxyl
- Cymoxanil
- Propamocarb
- Metalaxyl - M

Estos ingredientes activos pertenecen a distintos grupos químicos y modos de acción, lo cual permitió implementar estrategias de rotación orientadas a reducir el riesgo de resistencia del patógeno.

2.3.2.2 Productos orgánicos

En el tratamiento orgánico se utilizaron:

- Caldo bordelés (mezcla de sulfato de cobre y cal viva)
- Extracto de ajo
- Decocción de cola de caballo

Estos productos fueron preparados en campo siguiendo proporciones estandarizadas para su aplicación preventiva.

2.3.3 Materiales de campo

- | | |
|--------------------|----------------------|
| • Cal viva | • Machete |
| • Sulfato de cobre | • Turril de 200 L |
| • Cola de caballo | • Balde de 20 L |
| • Ajo | • Mochila fumigadora |
| • Colador | • Libreta de campo |

2.3.4 Material de gabinete

- Tabla de registros
- Computadora, material de escritorio, calculadora.
- Programa Excel

2.4 MÉTODOS

2.4.1 Diseño experimental

En el trabajo propuesto se empleó un ensayo con bloques al azar, con 4 tratamientos 5 repeticiones, con un total de 20 unidades experimentales.

2.4.1.1 Modelo aditivo lineal

Para el análisis de las variables incidencia, severidad, eficacia y fitotoxicidad, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con fines comparativos entre tratamientos, utilizando el siguiente modelo aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + E_{ij}$$

Y_{ij} = Valor observado

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento

β_j = Efecto del bloque

E_{ij} = Error experimental

2.4.1.2 Comparación de medias

Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0,05$).

2.5 Descripción de las estrategias fungicidas

Las estrategias evaluadas se diferenciaron en el tipo de producto utilizado y el enfoque de manejo:

Tratamiento T1 – Testigo productor

Corresponde al manejo convencional realizado según el criterio práctico del productor. Incluyó aplicaciones de fungicidas cúpricos y sistémicos empleados habitualmente en la zona, aplicados en función de la experiencia del viticultor y de las condiciones climáticas observadas.

Tratamiento T2 – Estrategia de rotación de fungicidas orgánicos

Basado en aplicaciones de caldo bordelés y extractos vegetales (ajo y cola de caballo), con un enfoque preventivo y limitando el número de aplicaciones cúpricas para evitar fitotoxicidad y acumulación excesiva de cobre.

Tratamiento T3 – Estrategia de rotación de ingredientes activos individuales

Este tratamiento correspondió a una estrategia de control basada en la rotación de ingredientes activos aplicados de forma individual (un solo ingrediente activo por producto, sin mezclas formuladas), alternando modos de acción a lo largo del ciclo del

cultivo. El objetivo de esta estrategia fue reducir la presión de selección sobre el patógeno y disminuir el riesgo de desarrollo de resistencia, manteniendo un control sanitario sostenido bajo condiciones favorables para el mildiu. Las aplicaciones se programaron según el cronograma del ensayo y la evolución epidemiológica de la enfermedad.

Tratamiento T4 – Estrategia de rotación de ingredientes activos combinados

Este tratamiento consistió en una estrategia de control basada en la rotación de productos formulados con combinaciones de ingredientes activos (mezclas comerciales), alternando dichas combinaciones entre aplicaciones. El objetivo fue aprovechar la acción complementaria de ingredientes activos con diferentes mecanismos (por ejemplo, componente sistémico/penetrante + componente de contacto), y al mismo tiempo reducir el riesgo de resistencia mediante la alternancia de combinaciones a lo largo del ciclo. Esta estrategia busca un control más estable del mildiu, especialmente en periodos de alta presión epidemiológica.

2.5.1 Productos utilizados y dosis

Las aplicaciones se realizaron con un volumen de aspersión aproximado de 200 L/ha.

2.5.1.1 Productos aplicados, ingrediente activo, dosis y número de aplicaciones por tratamiento

Tratamiento T1 – Testigo productor (manejo convencional)

Tabla 8

Productos aplicados en el tratamiento T1 (testigo productor).

Producto	Ingrediente activo	Formulación	Dosis	Nº aplicaciones	Observación
Caldo bordelés	Cobre	Polvo (mezcla)	1 kg sulfato + 1 kg cal / 100 L	2	Fungicida cúprico preventivo
IRON 72	Cymoxanil + Mancozeb	WP	1,5–2,5 kg/ha	3	Acción sistémica y de contacto
Fitoklin	Metalaxyl	WP	0,30 – 0,35 Kg/ha	3	Control sistémico

Fechas de aplicación: 15/10/2025, 10/11/2025, 25/11/2025, 07/12/2025, 20/12/2025, 27/12/2025, 05/01/2026 y 15/01/2026 (ver detalle en Tabla 12).

Nota:

Este tratamiento correspondió al manejo convencional del agricultor, en el cual no se implementó una estrategia de rotación de fungicidas. Las aplicaciones se efectuaron de manera continua, de acuerdo con las prácticas habituales del productor.

Tratamiento T2 – Estrategia de rotación de fungicidas orgánicos

Tabla 9

Productos aplicados en el tratamiento T2 (rotación de fungicidas orgánicos).

Producto	Ingrediente activo / Componente	Dosis estandarizada	Nº aplicaciones	Observación
Extractos vegetales	Alicina (ajo) + Sílice (cola de caballo)	Mezcla 1:2:7	3	Alternativa preventiva
Caldo bordelés	Cobre	Proporción 1:1:100	3	Limitado por riesgo de fitotoxicidad

Fechas de aplicación: 15/10/2025, 15/11/2025, 07/12/2025, 20/12/2025, 27/12/2025 y 07/01/2026 (ver detalle en Tabla 12).

Tratamiento T3 – Estrategia de rotación de ingredientes activos individuales

Tabla 10

Productos aplicados en el tratamiento T3 (rotación de ingredientes activos individuales).

Producto	Ingrediente activo	Formulación	Dosis	Nº aplicaciones	Observación
ACROTECH 25	Dimetomorph	WP	1,5–2,0 kg/ha	3	Control sistémico
Fitoklin	Metalaxyl	WP	0,30 – 0,35 Kg/ha	3	Control sistémico
PROTECUR 72.2 SL	Propamocarb	SL (líquido)	1,5 L/ha	2	Control sistémico

Fechas de aplicación: 15/10/2025, 10/11/2025, 25/11/2025, 07/12/2025, 20/12/2025, 27/12/2025, 05/01/2026 y 15/01/2026 (ver detalle en Tabla 12).

Tratamiento T4 – Estrategia de rotación de ingredientes activos combinados

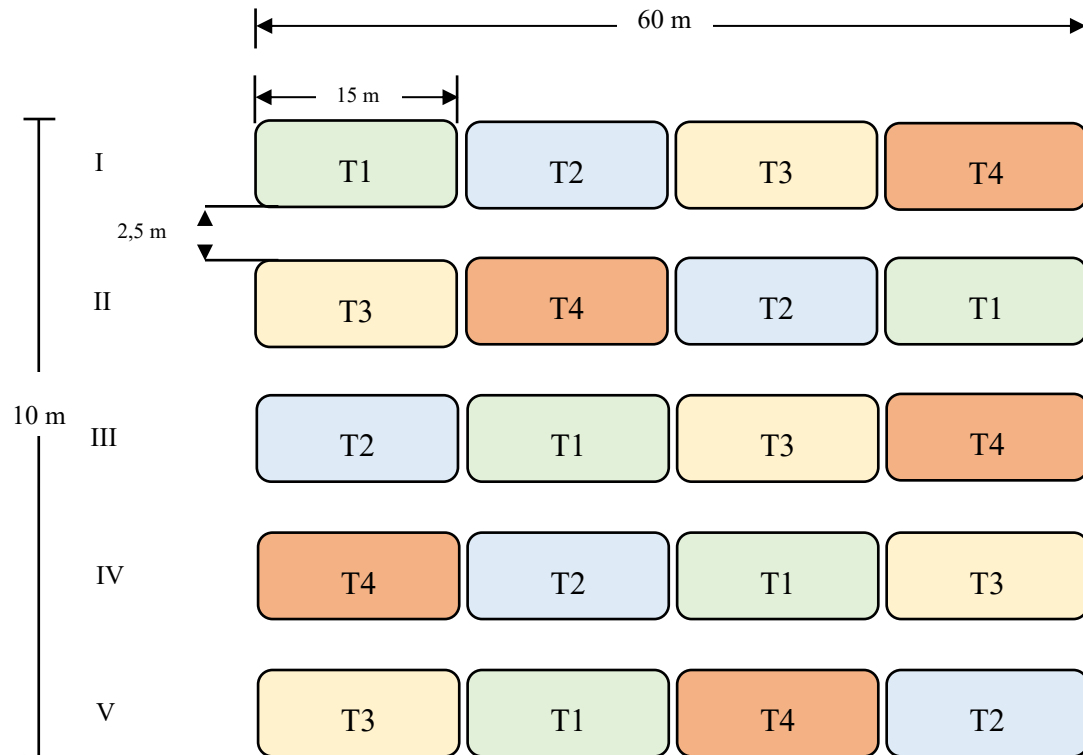
Tabla 11

Productos aplicados en el tratamiento T4 (rotación de ingredientes activos combinados).

Producto	Ingrediente activo	Formulación	Dosis	Nº aplicaciones	Observación
CURAMOR	Mancozeb + Dimetomorph	WP	750–900 g/200 L	3	Preventivo + Controlador
Ridomil Gold	Mancozeb + Metalaxyl -M	WP	2 kg/ha	2	Preventivo + Controlador
IRON 72	Mancozeb + Cymoxanil	WP	1,5–2,5 kg/ha	3	Preventivo + Controlador

Fechas de aplicación: 15/10/2025, 10/11/2025, 25/11/2025, 07/12/2025, 20/12/2025, 27/12/2025, 05/01/2026 y 15/01/2026 (ver detalle en Tabla 12).

2.6 Diseño de campo de las parcelas experimentales



2.6.1 Dimensiones de la unidad experimental

- Área total del campo experimental: 600 m²
- Área de la unidad experimental: 37,5 m²
- Largo de la unidad experimental: 15 m
- Ancho de la unidad experimental: 2,5 m
- Números de bloques (repeticiones): 5
- N° plantas por unidad experimental: 15
- Distanciamiento entre plantas: 1 m
- N° de tratamientos: 4

2.7 Metodología de campo

2.7.1 Método experimental

El ensayo se desarrolló en la Comunidad El Portillo donde fue evaluada el control del mildiu en una plantación de uva de la variedad Tannat con más de 7 años. Para lo cual se aplicaron 3 estrategias de rotación de fungicidas y un testigo con 5 repeticiones teniendo un total de 20 unidades experimentales, teniendo como único factor de estudio las estrategias fúngicas en la variedad de vid Tannat.

Esto incluyo 4 tratamientos:

- T1: Testigo productor (manejo convencional)
- T2: Estrategia de rotación de fungicidas orgánicos
- T3: Estrategia de rotación de ingredientes activos individuales
- T4: Estrategia de rotación de ingredientes activos combinados

El tratamiento T1 fue considerado como testigo productor, representando el manejo habitual realizado por el viticultor, basado en su experiencia y prácticas tradicionales de la zona. Los tratamientos T2, T3 y T4 constituyeron las tres estrategias experimentales evaluadas.

2.7.2 Preparación de fungicidas orgánicos

El caldo bordelés fue preparado en proporción 1:1:100 (1 kg de sulfato de cobre y 1 kg de cal viva por cada 100 L de agua), asegurando la disolución previa del sulfato de cobre antes de su incorporación a la solución alcalina.

Los extractos vegetales fueron preparados mediante:

- Decocción de cola de caballo (100 g/5 L de agua).
- Extracto acuoso de ajo (100 g/L).

La mezcla final aplicada correspondió a la proporción 1:2:7 (ajo: cola de caballo: agua).

2.7.3 Programa de aplicaciones

Las aplicaciones iniciaron en prefloración y continuaron durante el ciclo productivo con intervalos aproximados de 10 a 14 días, ajustándose según las condiciones climáticas y la presión epidemiológica observada.

El número total de aplicaciones fue:

- T1: 8 aplicaciones
- T2: 6 aplicaciones
- T3: 8 aplicaciones
- T4: 8 aplicaciones

El tratamiento T2 presentó un menor número de aplicaciones debido a que su estrategia se basó principalmente en el uso de caldo bordelés (cobre), cuya aplicación reiterada puede provocar efectos fitotóxicos y acumulación del metal en el tejido vegetal.

El cronograma de aplicaciones fungicidas se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12

Cronograma general de aplicaciones fungicidas y fase fenológica de la vid durante el ensayo.

Aplicaciones	Fecha	Fase fenológica aproximada	T1	T2	T3	T4
1	15/10/2025	Prefloración	✓	✓	✓	✓
2	10/11/2025	Cuajado	✓		✓	✓
2 (T2)	15/11/2025	Cuajado		✓		
3	25/11/2025	Desarrollo de racimo	✓		✓	✓
3 (T2)	07/12/2025	Desarrollo de racimo		✓		
4	07/12/2025	Desarrollo de racimo	✓		✓	✓
4 (T2)	20/12/2025	Alta presión epidemiológica		✓		
5	20/12/2025	Alta presión epidemiológica	✓		✓	✓
5 (T2)	27/12/2025	Alta presión epidemiológica		✓		
6	27/12/2025	Alta presión epidemiológica	✓		✓	✓
6 (T2)	07/01/2026	Envero inicial		✓		
7	05/01/2026	Envero	✓		✓	✓
8	15/01/2026	Envero avanzado	✓		✓	✓

2.7.4 Desarrollo fenológico del cultivo

El desarrollo fenológico de la vid (*Vitis vinifera* L., variedad Tannat) durante el periodo experimental permitió contextualizar el momento oportuno de las aplicaciones fungicidas y la evolución epidemiológica del mildiu.

Las principales fases fenológicas registradas fueron:

- Inicio de brotación: 15 de septiembre de 2025
- Prefloración: 03 de octubre de 2025
- Floración: 22 de octubre de 2025
- Cuajado: 10 de noviembre de 2025
- Envero: 02 de enero de 2026
- Maduración: 01 de febrero de 2026

Estas etapas son consideradas críticas para la infección por *Plasmopara viticola*, especialmente durante prefloración, floración y cuajado, debido a la alta susceptibilidad del tejido joven.

2.7.5 Condiciones epidemiológicas y climáticas

2.7.5.1 Caracterización de los factores climáticos

Las condiciones climáticas registradas durante el periodo de evaluación favorecieron el desarrollo del mildiu, principalmente por la presencia de humedad relativa elevada y precipitaciones intermitentes.

Durante los meses de octubre y noviembre se observaron condiciones predisponentes para infecciones primarias. A partir de mediados de diciembre hasta finales de enero se registró una mayor frecuencia de lluvias, con eventos que oscilaron entre una y dos precipitaciones semanales, generando un ambiente altamente favorable para infecciones secundarias.

2.7.5.2 Comportamiento climático mensual

Tabla 13

Condiciones climáticas registradas

Mes	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación	Condiciones epidemiológicas
Octubre	18–22	60–75	Moderada	Inicio de condiciones predisponentes
Noviembre	20–24	65–80	Moderada	Aparición de primeros síntomas
Diciembre	22–26	70–85	Alta	Mayor presión de mildiu
Enero	23–27	70–90	Alta y frecuente	Persistencia de infecciones secundarias

Fuente: Elaboración propia, con base en datos del SENAMHI Bolivia (2025-2026)

2.7.6 Seguimiento y evaluación del mildiu

El seguimiento del mildiu se realizó mediante observaciones periódicas en campo, registrando la aparición de síntomas y relacionándolos con las condiciones climáticas y el estado fenológico del cultivo.

La primera manifestación visible del mildiu vellosa en hojas se registró durante el mes de noviembre, coincidiendo con condiciones de alta humedad ambiental.

Las variables evaluadas fueron:

- Incidencia (%)
- Severidad (%)
- Eficacia (%)
- Fitotoxicidad

Las evaluaciones se realizaron en plantas previamente seleccionadas dentro de cada unidad experimental.

Tabla 14

Relación clima – desarrollo del mildiu

Mes	Condiciones ambientales predominantes	Comportamiento del mildiu
Octubre	Precipitación baja a moderada, humedad media	Ausencia de síntomas
Noviembre	Incremento de precipitación y humedad relativa	Aparición de los primeros síntomas (inicio de infección)
Diciembre	Alta precipitación y elevada humedad	Incremento progresivo de la incidencia y severidad foliar
Enero	Humedad elevada y condiciones favorables persistentes	Máxima severidad; transición del daño de hojas hacia racimos

Fuente: Elaboración propia

Durante el mes de diciembre se registró el mayor nivel de presión del mildiu, debido a la combinación de temperaturas favorables y elevada humedad relativa. En este periodo se intensificaron las aplicaciones en los tratamientos T1, T3 y T4.

Si bien el control del mildiu vellosa en hojas fue satisfactorio en los tratamientos con mayor número de aplicaciones, se observaron síntomas de mildiu larvado en racimos en algunos casos, lo que indica la ocurrencia de infecciones secundarias favorecidas por las condiciones climáticas predominantes.

La diferencia en el número de aplicaciones entre tratamientos influyó tanto en el desempeño sanitario como en el análisis económico posterior.

2.7.7 Confirmación Fitopatológica Del Agente Causal



2.7.7.1 Análisis macroscópico de las muestras (Imagen A)

Las hojas de vid (*Vitis vinifera* L.) recolectadas en campo presentaban sintomatología compatible con infección por mildiu. En el análisis macroscópico del envés foliar (Imagen A), se observó:

- Presencia de eflorescencia blanquecina de aspecto veloso.
- Colonización predominante en el envés.
- Zonas de clorosis en correspondencia con las áreas infectadas.
- Inicio de necrosis en sectores avanzados.

La delimitación angular constituye un rasgo distintivo del mildiu, ya que el desarrollo del patógeno se restringe inicialmente por el sistema vascular de la hoja, generando manchas poligonales características.

La eflorescencia visible corresponde a la emergencia de estructuras reproductivas a través de los estomas, fenómeno típico en infecciones por oomicetos obligados.

El estado observado indica que la enfermedad se encontraba en fase esporulante activa, condición epidemiológicamente relevante debido a su capacidad de generar infecciones secundarias.

2.7.7.2 Análisis microscópico (Imagen B)

El examen microscópico de la muestra permitió identificar estructuras morfológicas diagnósticas.

Se observaron:

- Esporangióforos hialinos, erectos y bien diferenciados.
- Ramificación dicotómica repetitiva en ángulo agudo.
- Terminaciones en forma ligeramente ensanchada.
- Esporangios ovoides a elipsoides dispuestos en los extremos de las ramificaciones.
- Ausencia de conidios en cadenas

La ramificación dicotómica sucesiva de los esporangióforos es un carácter morfológico clave para la identificación de *Plasmopara viticola*, diferenciándolo de otros patógenos foliares de la vid.

Los esporangios observados presentan morfología compatible con estructuras destinadas a la liberación de zoosporas bajo condiciones de humedad libre, lo que confirma la naturaleza oomicética del agente causal.

La abundancia de esporangios indica una elevada carga de inóculo secundario en el momento del muestreo.

2.7.7.3 Diagnóstico definitivo

La correlación entre:

- Sintomatología angular típica
- Esporulación en envés
- Esporangióforos dicotómicos
- Esporangios terminales ovoides

Permite confirmar la presencia del agente causal *Plasmopara viticola* causante del mildiu de la vid.

El diagnóstico se sustenta en criterios morfológicos ampliamente descritos en literatura fitopatológica para la identificación de oomicetos del orden Peronosporales.

2.7.7.4 Implicancias epidemiológicas dentro del sistema productivo

La detección de esporulación activa sugiere que durante el periodo evaluado se presentaron condiciones ambientales favorables para el desarrollo del patógeno, particularmente:

- Humedad relativa elevada.
- Presencia de agua libre sobre superficie foliar.
- Temperaturas moderadas.

El mildiu es una enfermedad policíclica, lo que significa que puede completar múltiples ciclos infecciosos en una misma temporada. La presencia de esporangios indica que el viñedo se encontraba en fase de infección secundaria, aumentando exponencialmente el riesgo de epidemia si no se implementan medidas de control oportunas.

2.7.7.5 Relevancia para el estudio de rotación de fungicidas

La confirmación de *Plasmopara viticola* valida la aplicación técnica del presente estudio, orientado a la evaluación de estrategias de rotación de fungicidas.

La presencia comprobada del patógeno en fase activa permite evaluar de manera objetiva la eficacia de los tratamientos aplicados y su impacto sobre la reducción de incidencia y severidad.

2.7.7.6 Conclusión técnica del análisis de laboratorio

El análisis macroscópico y microscópico realizado en el Laboratorio de Fitopatología de la UAJMS permitió confirmar la presencia de *Plasmopara viticola* en hojas de vid muestreadas. Las características morfológicas observadas corresponden al agente causal del mildiu.

El patógeno se encontraba en fase de esporulación activa, lo que representa una condición epidemiológica de alto riesgo y justifica la implementación de estrategias de manejo basadas en rotación de fungicidas con diferente mecanismo de acción.

2.7.8 Manejo agronómico complementario

Previo al establecimiento del ensayo se realizó preparación del terreno y mantenimiento general del viñedo. Las prácticas de fertilización, control de malezas e insectos fueron uniformes en todos los tratamientos, a fin de garantizar que las diferencias observadas correspondieran exclusivamente a las estrategias fungicidas evaluadas.

2.7.9 Registro fotográfico

Se realizó un registro fotográfico del periodo de desarrollo del cultivo, síntomas del mildiu, aplicaciones de los tratamientos como evidencia visual del experimento que se encuentran en la parte de anexo.

2.7.10 Caracterización físico-química del suelo del área experimental

Con el propósito de caracterizar las condiciones edáficas del área experimental, se realizó un análisis físico-químico del suelo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

Propiedades físico-químicas del suelo del área experimental

Parámetro	Unidad	Valor	Clasificación
pH (1:2,5)	—	8,46	Alcalino fuerte
Conductividad eléctrica (CE)	mmhos/cm	0,081	Normal (no salino)
Materia orgánica	%	3,29	Baja
Nitrógeno total	%	0,085	Bajo
Fósforo (Olsen)	mg/kg	36,36	Alto
Potasio intercambiable	mg/kg	198,80	Alto
Arena	%	34,00	—
Limo	%	33,39	—
Arcilla	%	32,61	—
Clase textural	—	Franco arcillosa	Textura equilibrada
Densidad aparente	g/cm ³	1,37	Adecuada

Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (2025).

Los resultados evidencian que el suelo presenta textura franco arcillosa, ausencia de problemas de salinidad y niveles adecuados de fósforo y potasio. Sin embargo, el pH alcalino constituye el principal factor limitante potencial en términos de disponibilidad de micronutrientes.

2.7.10.1 Muestreo y procedencia del análisis

Con el propósito de caracterizar las condiciones edáficas del área experimental, se realizó un análisis físico-químico del suelo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

La muestra fue tomada a una profundidad de 20 cm, correspondiente a la zona superficial donde se concentra una parte importante de la actividad radicular y de absorción de nutrientes en el cultivo de la vid. El análisis fue procesado entre el 22 y 29 de octubre de 2025.

2.7.10.2 Propiedades químicas del suelo

Reacción del suelo (pH)

El suelo presentó un valor de $\text{pH} = 8,46$, clasificado como de alcalinidad fuerte.

Este nivel de alcalinidad puede influir en la disponibilidad de ciertos micronutrientes esenciales, especialmente hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn), los cuales tienden a disminuir su solubilidad en condiciones alcalinas. En vid, esta situación puede predisponer a la aparición de clorosis férrica en determinados momentos del ciclo vegetativo, particularmente en variedades sensibles.

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica registrada fue de 0,081 mmhos/cm, clasificada como normal.

Este resultado indica que el suelo no presenta problemas de salinidad, lo cual es favorable para el cultivo de la vid, ya que niveles elevados de sales pueden afectar el crecimiento radicular y reducir la absorción de agua.

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica fue de 3,29%, clasificado por el laboratorio como bajo.

La materia orgánica cumple un rol fundamental en la estructura del suelo, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. En sistemas vitícolas, niveles bajos pueden limitar la actividad biológica del suelo y reducir su capacidad de amortiguación nutricional, por lo que resulta recomendable implementar prácticas de mejora gradual, como incorporación de compost o cobertura vegetal.

2.7.10.3 Macronutrientes del suelo**Nitrógeno total**

El nitrógeno total fue de 0,085%, clasificado como bajo.

El nitrógeno es un elemento clave para el crecimiento vegetativo, sin embargo, en vid debe manejarse cuidadosamente, ya que excesos pueden incrementar el vigor y predisponer al desarrollo de enfermedades fúngicas al generar microclimas húmedos en el follaje.

Fósforo disponible

El fósforo (Olsen) registró un valor de 36,36 mg/kg, clasificado como alto.

Este nivel es favorable para el desarrollo radicular y procesos fisiológicos asociados a floración y cuajado, etapas críticas para la producción vitícola.

Potasio intercambiable

El potasio presentó un valor de 198,80 mg/kg, también clasificado como alto.

El potasio es esencial para el llenado de bayas, regulación osmótica y maduración del fruto, por lo que su disponibilidad adecuada contribuye positivamente al rendimiento y calidad productiva.

2.7.10.4 Propiedades físicas del suelo

Textura

El suelo presentó una composición de:

- Arena: 34,00%
- Limo: 33,39%
- Arcilla: 32,61%

Lo que corresponde a una clase textural Franco Arcillosa, según el informe de laboratorio.

Esta textura es considerada equilibrada para vid, ya que permite una adecuada retención de agua y nutrientes, manteniendo al mismo tiempo una estructura favorable para el desarrollo radicular.

Densidad aparente

La densidad aparente fue de 1,37 g/cm³, considerada dentro de un rango ideal.

Este valor sugiere que el suelo no presenta compactación excesiva, favoreciendo la aireación y penetración de raíces, condiciones importantes para un viñedo en producción.

2.7.10.5 Interpretación agronómica general

En conjunto, el suelo del área experimental presenta condiciones adecuadas para el cultivo de la vid, destacando la ausencia de salinidad, una textura franco arcillosa favorable y niveles altos de fósforo y potasio.

No obstante, el pH fuertemente alcalino constituye el principal factor limitante potencial, debido a su influencia sobre la disponibilidad de micronutrientes. Asimismo, los niveles bajos de nitrógeno y materia orgánica sugieren la necesidad de un manejo nutricional equilibrado y prácticas orientadas a mejorar la fertilidad biológica del suelo.

Estas características edáficas deben considerarse como parte del contexto agronómico en la interpretación de la respuesta sanitaria y productiva del cultivo frente a las estrategias fungicidas evaluadas.

2.8 VARIABLES DE RESPUESTA

Con el propósito de evaluar el efecto de las estrategias fungicidas sobre el control del mildiu (*Plasmopara viticola*) en el cultivo de la vid, se consideraron las siguientes variables de respuesta:

2.8.1 Incidencia de mildiu (%)

La incidencia se determinó como el porcentaje de unidades evaluadas que presentaron síntomas visibles de mildiu, expresando la presencia o ausencia de la enfermedad.

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades afectadas}}{N^{\circ} \text{ de unidades evaluadas}} * 100$$

Las evaluaciones se realizaron de manera periódica durante el ciclo del cultivo, considerando hojas y/o brotes representativos dentro de cada unidad experimental.

2.8.2 Severidad del mildiu

La severidad se definió como el grado de daño causado por el patógeno en el tejido foliar o los racimos, expresado como porcentaje del área afectada.

Para su evaluación se utilizó una escala diagramática de cinco categorías:

Tabla 16

Escala diagramática utilizada para la evaluación de severidad del mildiu en vid.

Escala	Descripción del daño
1	Sin síntomas visibles
2	6–20 % del área foliar afectada
3	21–40 % del área foliar afectada
4	41–60 % del área foliar afectada
5	Más del 60 % del área foliar afectada

Fuente: Adaptado de la metodología de Townsend y Heuberger (1943)

La severidad promedio por tratamiento se utilizó posteriormente para el cálculo de la eficacia fungicida.

2.8.3 Índice de eficacia (%)

La eficacia se determinó como el porcentaje de reducción de la severidad del mildiu en cada tratamiento respecto al testigo productor (T1).

Se calculó mediante la fórmula:

$$Eficiencia (\%) = \left(\frac{S_c - S_t}{S_c} \right) * 100$$

Donde:

S_c = Severidad promedio en el testigo productor

S_t = Severidad promedio en el tratamiento evaluado

Valores positivos indican reducción del daño respecto al testigo, mientras que valores negativos pueden presentarse cuando la severidad del tratamiento supera a la del testigo.

2.8.4 Síntomas de fitotoxicidad

Presencia de quemaduras foliares o estrés visible.

La fitotoxicidad se evaluó con el fin de determinar posibles efectos adversos derivados de la aplicación de fungicidas.

Se empleó la siguiente escala visual:

Tabla 17

Escala visual empleada para la evaluación de fitotoxicidad en vid (0–5).

Escala	Descripción
0	Sin daño visible
1	Leve clorosis o manchas ligeras
2	Clorosis moderada o leve necrosis
3	Necrosis moderada
4	Necrosis severa o deformación foliar
5	Daño severo generalizado

Fuente: Adaptado de la escala de evaluación visual de fitotoxicidad de la EWRS".

2.8.5 Análisis económico

El análisis económico se realizó considerando los costos directos para el cultivo de vid bajo cada tratamiento evaluado. Se incluyeron los costos de insumos fitosanitarios, fertilización, control de plagas, mano de obra y uso de maquinaria.

Los costos de los tratamientos (fungicidas) fueron estimados en función de las dosis comerciales, número de aplicaciones y precios de mercado de los insumos utilizados. En el caso de los fungicidas orgánicos, se consideró un volumen de aplicación de 200

L/ha, equivalente a 10 mochilas de 20 L, lo que permitió estandarizar los cálculos entre tratamientos.

El costo total por tratamiento se determinó mediante la siguiente expresión:

$$CT = CD$$

2.8.5.1 Costo Directo Total (CD)

Para los costos directos se calculó en función de la siguiente fórmula:

$$CD = MO + INS + MQ$$

Donde:

- MO = Mano de obra
- INS = Insumos (incluye CP + fertilizantes + insecticidas)
- MQ = Maquinaria

2.8.5.2 Ingreso bruto

El ingreso bruto se calculó como el producto del rendimiento del cultivo por el precio de venta en el mercado:

$$IB = R * P$$

Donde:

- IB = Ingreso bruto (Bs/ha)
- R = Rendimiento (kg/ha o qq/ha)
- P = Precio del producto en el mercado (Bs/kg o Bs/qq)

2.8.5.3 Costo de Producción (CP)

El costo de producción se decidió por los insumos fitosanitarios de cada tratamiento.

$$CP = \sum \text{Costos de insumos fitosanitarios}$$

2.8.5.4 Ingreso neto

El ingreso neto es el resultado del ingreso bruto menos el costo total:

$$IN = IB - CT$$

Donde:

- IN = Ingreso neto (Bs/ha)
- CT = Costos total (incluye insumos fitosanitarios, mano de obra y transporte)

2.8.5.5 Relación beneficio/costo

La relación beneficio/costo se calculó mediante:

$$B/C = \frac{IB}{CT}$$

La interpretación de este indicador es la siguiente:

- $B/C > 1 \rightarrow$ Actividad rentable
- $B/C = 1 \rightarrow$ Punto de equilibrio
- $B/C < 1 \rightarrow$ Actividad no rentable

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Porcentaje de incidencia de mildiu en vid

La incidencia final se registró el 29 de noviembre del 2025, cuando la enfermedad alcanzó una expresión suficiente en el follaje, permitiendo discriminar el efecto de los tratamientos antes de la intensificación del daño en etapas posteriores.

Tabla 18

Porcentaje de la incidencia del mildiu en la vid.

Tratamientos	Repeticiones					Total	Media
	I	II	III	IV	V		
T1	33,33	75,00	16,67	33,33	25,00	183,33	36,7
T2	75,00	25,00	16,67	33,33	66,67	216,67	43,3
T3	66,67	83,33	41,67	91,67	58,33	341,67	68,33
T4	91,67	58,33	58,33	41,67	83,33	333,33	66,67

Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Análisis de varianza

Tabla 19

Análisis de varianza para la incidencia del mildiu (%) en vid.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Tratamiento	3	3899	1299,8	2,61	3,24	5,29
Error	16	7972	498,3			
Total	19	11871				

Fuente: Elaboración propia

No existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la incidencia del mildiu.

El análisis de varianza para la variable incidencia de mildiu mostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 2,61 < F_{t0.05} = 3,24$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que las estrategias de rotación de fungicidas evaluadas no tuvieron un efecto diferencial sobre la incidencia de la enfermedad.

3.1.2 Prueba de Tukey y una confianza de 95% o 5%

Tabla 20

Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$) para la incidencia del mildiu (%) según tratamiento aplicado.

Tratamientos de estudio	N	Media	Agrupación
T3	5	68,33	A
T4	5	66,67	A
T2	5	43,3	A
T1	5	36,7	A

Fuente: Elaboración propia

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidad confirmó los resultados obtenidos en el ANOVA, ya que todos los tratamientos fueron agrupados dentro del mismo grupo estadístico (A). Las medias de incidencia obtenidas fueron de 68,33 % para el tratamiento T3, 66,67 % para T4, 43,3 % para T2 y 36,7 % para T1.

La asignación de la misma letra a todos los tratamientos indica que no existen diferencias significativas entre las medias, es decir, que las diferencias numéricas observadas no superan el rango mínimo significativo establecido por la prueba de Tukey. Aunque se observa una tendencia a menores valores de incidencia en el tratamiento T1 y mayores en T3 y T4, dichas diferencias no pueden ser consideradas estadísticamente confiables bajo el nivel de significancia empleado.

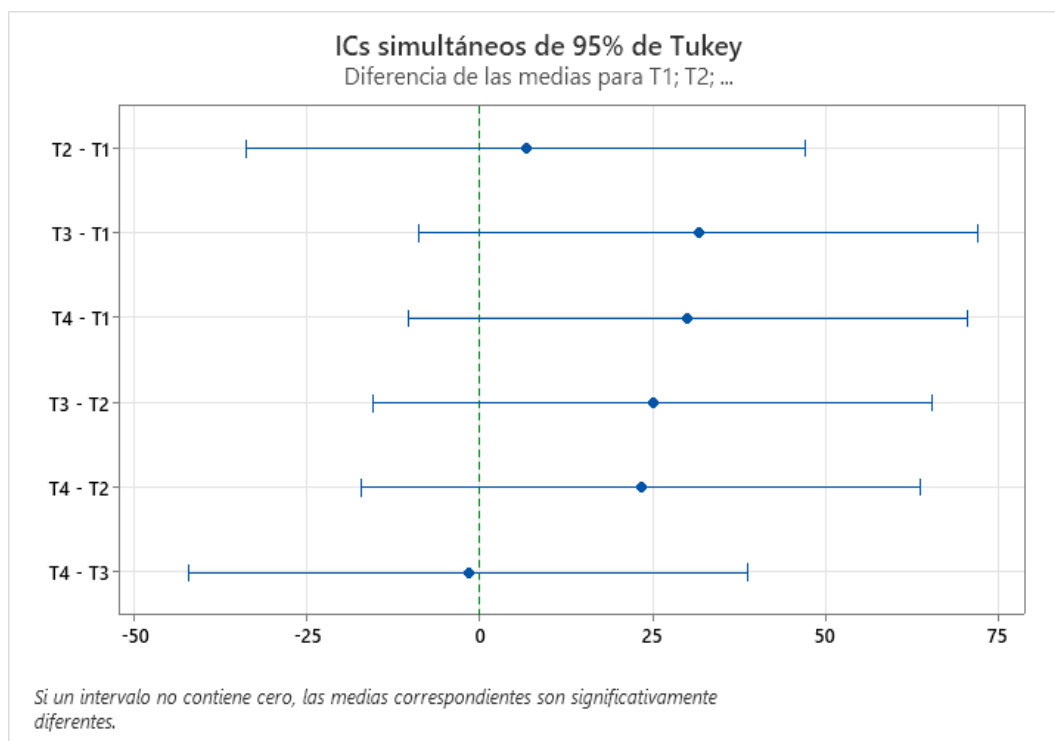


Gráfico 1. Intervalos de confianza simultáneos (Tukey, 95%) para la incidencia del mildiu (%) en vid.

La gráfica de intervalos de confianza simultáneos permite comparar todas las medias de los tratamientos considerando el ajuste estadístico correspondiente a comparaciones múltiples. En esta gráfica se observa nuevamente que los intervalos de confianza se superponen ampliamente, lo que confirma que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Este resultado es coherente con la asignación de una única letra en la prueba de Tukey y refuerza la conclusión de que, bajo las condiciones del ensayo, las estrategias de rotación de fungicidas no generaron efectos diferenciados sobre la incidencia del mildiu.

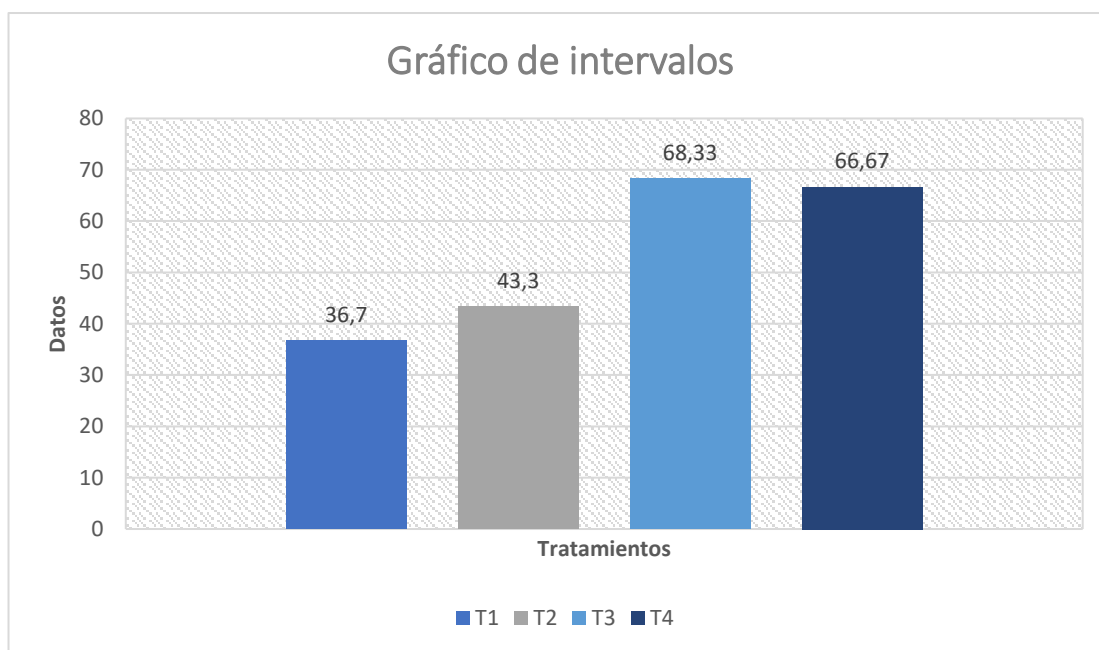


Gráfico 2. Intervalos para la incidencia del mildiu (%).

La gráfica de intervalos correspondiente a la variable incidencia del mildiu muestra las medias de cada tratamiento acompañadas de sus respectivos intervalos de confianza. En dicha gráfica se observa un alto grado de superposición entre los intervalos, lo cual indica que las medias no se diferencian estadísticamente entre sí.

3.1.3 Interpretación

Desde un punto de vista agronómico, los resultados sugieren que la incidencia del mildiu estuvo fuertemente influenciada por factores ambientales y epidemiológicos, tales como la humedad relativa, la precipitación y la dinámica natural del patógeno. La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos indica que, durante el período evaluado, ninguna de las estrategias logró reducir de manera consistente la proporción de plantas afectadas.

3.2 Porcentaje de severidad foliar causada por mildiu

La severidad del mildiu se registró el 16 de enero del 2026 finalizando el programa de aplicaciones fúngicas, en una fase en la que el daño foliar alcanzó un nivel suficiente para discriminar diferencias entre tratamientos. Esta evaluación se realizó antes de la

cosecha, permitiendo calcular el efecto de las estrategias de control sobre el desarrollo de la enfermedad.

Tabla 21

Porcentaje de la severidad.

Tratamientos	Repeticiones					Total	Media
	I	II	III	IV	V		
T1	60	50	35	40	25	210	42
T2	60	60	30	50	40	240	48
T3	40	30	10	20	10	110	22
T4	50	40	30	30	20	170	34

Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Análisis de varianza

Tabla 22

Análisis de varianza para la severidad del mildiu (%).

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Tratamiento	3	1895	631,7	3,87	3,24	5,29
Error	16	2610	163,1			
Total	19	4505				

Fuente: Elaboración propia

Existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en la severidad del mildiu.

El análisis de varianza para la variable severidad del mildiu evidenció diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 3,87 > F_{t0.05} = 3,24$), por lo que se rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Sin embargo, al nivel del 1% no se detectaron diferencias significativas ($F_c < F_{t0.01} = 5,29$). Esto indica que las

estrategias de rotación de fungicidas influyeron en la reducción de la severidad de la enfermedad.

3.2.2 Prueba de Tukey y una confianza de 95% o 5%

Tabla 23

Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$) para severidad del mildiu (%).

Tratamientos de estudio	N	Media	Agrupación
T2	5	48	A
T1	5	42	A - B
T4	5	34	A - B
T3	5	22	B

Fuente: Elaboración propia

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % permitió establecer diferencias específicas entre tratamientos. El tratamiento T2 presentó la mayor severidad promedio con 48 %, ubicándose en el grupo estadístico A. En contraste, el tratamiento T3 registró el valor más bajo con 22 %, siendo asignado al grupo B, lo que indica una reducción significativa del daño foliar respecto al tratamiento con mayor severidad.

Los tratamientos T1 (42 %) y T4 (34 %) se ubicaron en el grupo intermedio A–B, lo que significa que no difieren estadísticamente ni de T2 ni de T3. Este comportamiento intermedio sugiere que dichas estrategias mostraron un efecto parcial, reduciendo la severidad en comparación con el tratamiento más afectado, aunque sin lograr una separación estadística clara.

La distribución de letras asignadas refleja que el principal contraste significativo se da entre T2 y T3, mientras que los tratamientos intermedios no permiten definir una superioridad absoluta.

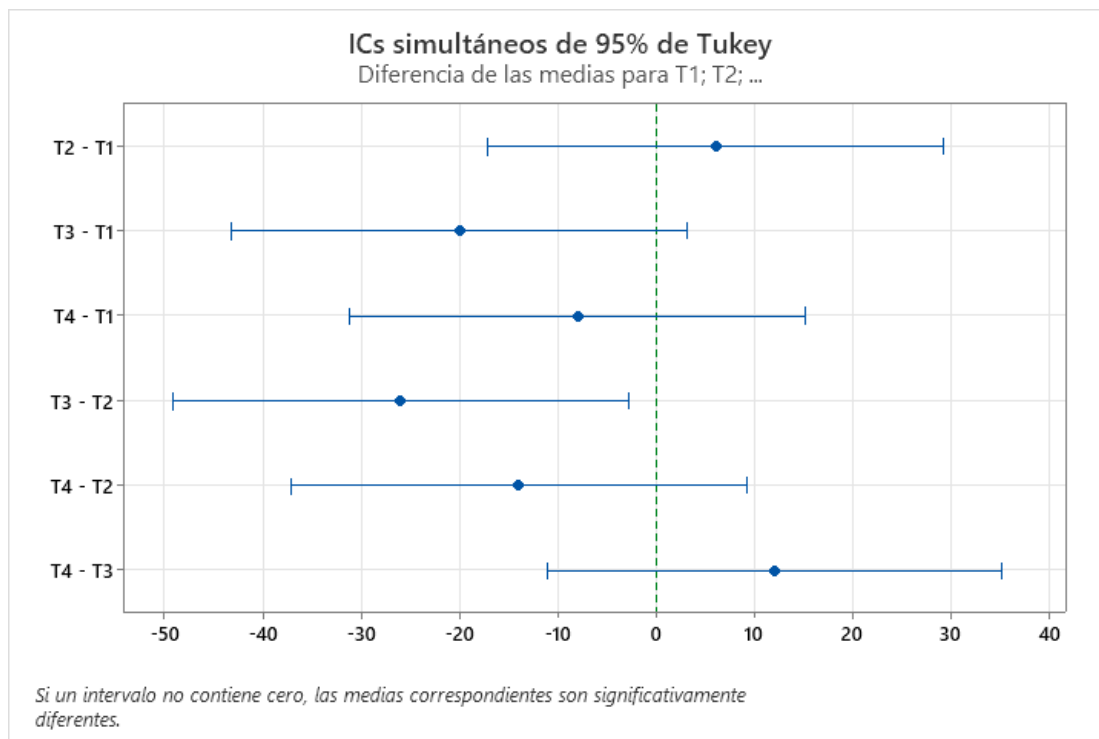


Gráfico 3. Intervalos de confianza simultáneos (Tukey, 95%) para severidad del mildiu (%) en vid.

En la gráfica de intervalos de confianza simultáneos, que incorpora el ajuste por comparaciones múltiples, se confirma que el tratamiento T3 se diferencia del tratamiento T2 al no existir una superposición completa de sus intervalos. Esto respalda estadísticamente la reducción significativa de severidad lograda por T3.

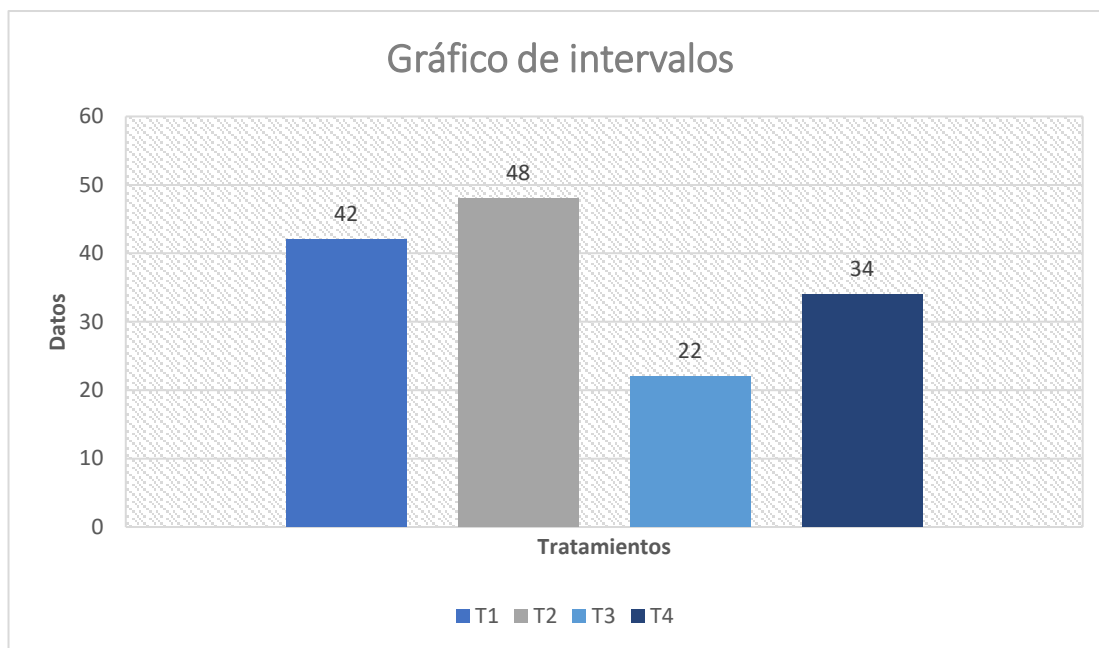


Gráfico 4. Intervalos para la severidad del mildiu (%) en función de los tratamientos evaluados.

La gráfica de intervalos para la severidad se observa que el tratamiento T2 se sitúa en el rango superior, mientras que T3 se desplaza hacia valores inferiores. La menor superposición entre los intervalos de estos tratamientos coincide con la diferencia significativa detectada mediante Tukey.

Por otro lado, los tratamientos T1 y T4 presentan intervalos que se superponen tanto con el grupo de alta severidad como con el de baja severidad, lo que explica su clasificación estadística como intermedios.

3.2.3 Interpretación

Desde un enfoque agronómico, la severidad del mildiu resultó ser una variable sensible para discriminar el desempeño de las estrategias evaluadas. Aunque todos los tratamientos estuvieron expuestos a condiciones similares de infección, la estrategia representada por T3 logró limitar significativamente el avance del daño foliar, manteniendo la severidad en niveles inferiores.

En cambio, el tratamiento T2 presentó los valores más altos de severidad, lo que sugiere un menor nivel de protección o persistencia frente al patógeno. Los tratamientos T1 y T4 mostraron un comportamiento intermedio, indicando una capacidad parcial de reducción del daño, pero sin una diferenciación estadística concluyente respecto a los extremos.

Estos resultados destacan que, aun cuando la incidencia puede no diferenciar tratamientos de manera clara, la severidad permite evaluar con mayor precisión el impacto real del mildiu sobre el tejido foliar y, por tanto, sobre la capacidad productiva del cultivo.

3.3 Índice de eficacia de control del mildiu

La eficacia de control se calculó en función de la severidad observada en el tratamiento testigo y en los tratamientos fungicidas evaluados; en consecuencia, su determinación se realizó en la misma fecha de la evaluación final de severidad (16 de enero del 2026), debido a que constituye una variable derivada de esta.

Tabla 24
Índice de la eficacia del mildiu.

Tratamientos	Repeticiones					Total	Media
	I	II	III	IV	V		
T2	0,00	-20,00	14,29	-25,00	-60,00	-90,71	-18,14
T3	33,33	40,00	71,43	50,00	60,00	254,76	50,95
T4	16,67	20,00	14,29	25,00	20,00	95,95	19,19

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Análisis de varianza

Tabla 25

Análisis de varianza para la eficacia de control (%) del mildiu.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Tratamiento	2	11961	5980,6	17,16	3,59	6,93
Error	12	4181	348,4			
Total	14	16142				

Fuente: Elaboración propia

Existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la eficacia de control del mildiu.

El análisis de varianza para el índice de eficacia mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F_c = 17,16 > F_{t0.01} = 6,93$), por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Este resultado indica que, a diferencia de variables como incidencia, el índice de eficacia sí permitió discriminar de forma marcada el desempeño de los tratamientos, sugiriendo que las estrategias aplicadas no generaron respuestas equivalentes, sino contrastes importantes en el nivel de control alcanzado.

3.3.2 Prueba de Tukey y una confianza de 95% o 5%

Tabla 26

Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$) para la eficacia (%) de control del mildiu según tratamiento.

Tratamientos de estudio	N	Media	Agrupación
T3	5	50,95	A
T4	5	19,19	B
T2	5	-18,1	C

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Tukey al 5 % de probabilidad mostró una separación completa de los tratamientos en tres grupos estadísticos distintos, evidenciando diferencias consistentes en eficacia.

El tratamiento T3 presentó el valor más alto de eficacia con 50,95 %, ubicándose en el grupo A, lo que indica un desempeño significativamente superior en comparación con los demás tratamientos. Este resultado sugiere que la estrategia aplicada en T3 logró un control más efectivo del mildiu bajo las condiciones del ensayo.

El tratamiento T4 alcanzó una eficacia promedio de 19,19 %, asignándose al grupo estadístico B, mostrando un nivel intermedio de control. Si bien este tratamiento logró cierto grado de reducción relativa, su eficacia fue significativamente menor que la obtenida por T3.

Finalmente, el tratamiento T2 presentó un valor negativo de eficacia (−18,1 %), ubicándose en el grupo estadístico C, diferenciándose significativamente de los otros tratamientos. Este resultado indica que, en términos relativos, el tratamiento T2 no solo fue menos efectivo, sino que su comportamiento estuvo asociado a una mayor expresión de la enfermedad respecto al tratamiento de referencia utilizado en el cálculo.

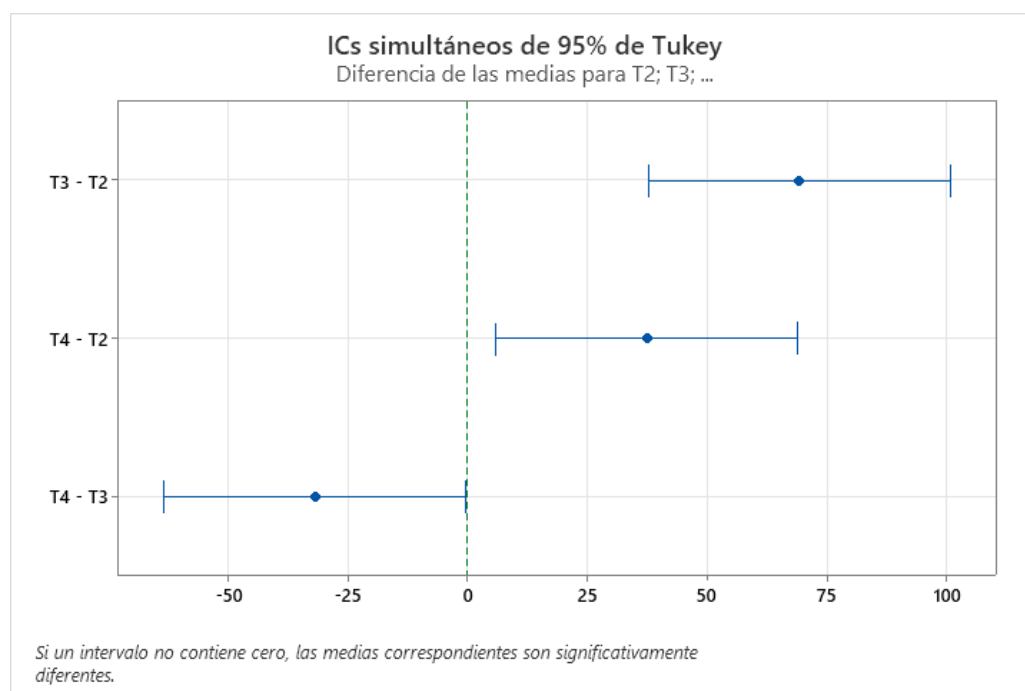


Gráfico 5. Intervalos de confianza simultáneos (Tukey, 95%) para la eficacia (%) de control del mildiu.

En la gráfica de intervalos de confianza simultáneos, se confirma que los tratamientos pertenecen a grupos estadísticos completamente diferenciados. Los intervalos correspondientes a T3, T4 y T2 no presentan superposición suficiente, lo que respalda la conclusión de que las estrategias evaluadas generaron respuestas significativamente distintas en términos de eficacia.

Esta representación aporta un soporte visual robusto para afirmar que el tratamiento T3 fue claramente más eficiente, mientras que T2 presentó el comportamiento menos favorable.

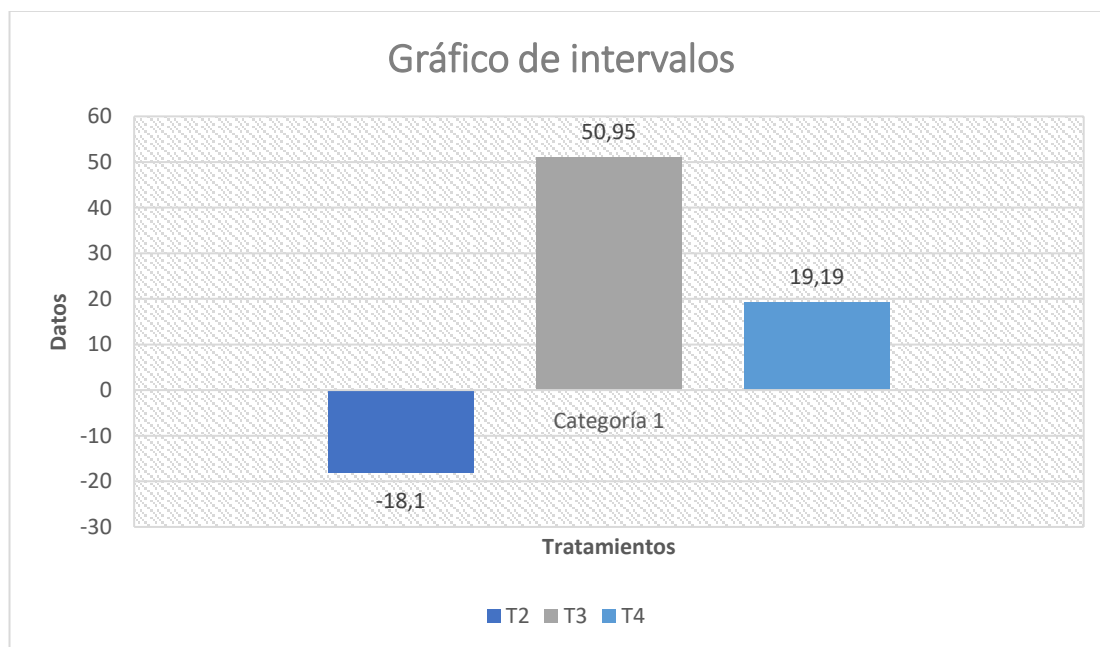


Gráfico 6. Intervalos para la eficacia de control (%) del mildiu en vid.

La gráfica de intervalos correspondiente al índice de eficacia permite visualizar de manera clara la magnitud de las diferencias entre estrategias. En dicha representación, el tratamiento T3 se ubica en el rango superior, con intervalos separados de los tratamientos T4 y T2, lo que confirma visualmente su superioridad estadística.

En cambio, T2 aparece desplazado hacia valores inferiores, incluso negativos, reflejando una respuesta desfavorable. La ausencia de superposición relevante entre los intervalos de los tratamientos refuerza la existencia de diferencias consistentes y coincide con la separación establecida por la prueba de Tukey.

3.3.3 Interpretación

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados, teniendo como resultado que el tratamiento T3 es el más eficiente en el control del mildiu, seguido por T4 y por último el T2.

El mayor nivel de eficacia en el tratamiento T3 puede decirse que fue gracias a la rotación de ingredientes activos individuales con acción sistémica y curativa, tales como dimetomorph (250 g/kg), metalaxyl (350 g/kg) y propamocarb (722 g/L). Estos ingredientes activos presentan control específico sobre el patógeno, permitiendo no solo prevenir la infección, sino que también detener el desarrollo del mildiu una vez establecido. Además, las concentraciones relativamente altas de estos ingredientes activos favorecen una mayor persistencia y efectividad en el control de la enfermedad.

En el tratamiento T4, basado en la rotación de ingredientes activos combinados, mostró una eficacia intermedia. En este caso, productos como mancozeb (600–640-640 g/kg), cymoxanil (80 g/kg), dimetomorph (90 g/kg), metalaxyl - M (40 g/kg) fueron utilizados en mezcla. Si bien esta estrategia combina dos ingredientes activos, una proporción importante de estos corresponde a fungicidas de tipo preventivo (Mancozeb), por lo cual actúa formando una barrera protectora pero no tiene acción curativa significativa. Esto explica por qué, a pesar de incluir múltiples ingredientes activos, su eficacia fue inferior a la del T3.

Por último, para el tratamiento T2, basado en la rotación de fungicidas orgánicos que serían los extractos vegetales (alicina + silicio) y caldo bordelés (cobre), presentó la menor eficacia. Esto se debe principalmente a que estos productos tienen un efecto mayormente preventivo, con limitada acción curativa. En condiciones de alta

incidencia de mildiu, su capacidad de control resulta insuficiente en comparación con fungicidas químicos sistémicos, lo que explica los bajos valores de eficacia obtenidos.

En general, los resultados indican que la eficacia en el control del mildiu está relacionada con el tipo de ingrediente activo, su concentración, la rotación y su modo de acción.

3.4 Fitotoxicidad asociada a tratamientos fungicidas

La fitotoxicidad se registró el 17 de enero del 2026, cuando los tratamientos ya habían sido aplicados en su totalidad, a su vez se realizó antes de la cosecha, evitando en lo posible la interferencia con síntomas severos ocasionados por la enfermedad.

Tabla 27

Datos registrados para la fitotoxicidad.

Tratamientos	Repeticiones					Total	Media
	I	II	III	IV	V		
T1	3	3	2	3	1	12	2,4
T2	3	2	2	2	2	11	2,2
T3	3	2	2	2	3	12	2,4
T4	3	3	3	3	3	15	3

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Análisis de varianza

Tabla 28

Análisis de varianza para fitotoxicidad en vid bajo estrategias fungicidas evaluadas.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Tratamiento	3	1,8	0,60	1,85	3,24	5,29
Error	16	5,2	0,33			
Total	19	7				

Fuente: Elaboración propia

No existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la fitotoxicidad.

El análisis de varianza para la variable fitotoxicidad indicó que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 1,85 < F_{t_{0.05}} = 3,24$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Esto sugiere que las estrategias de rotación de fungicidas no generaron efectos fitotóxicos diferenciales en el cultivo.

3.4.2 Prueba de Tukey y una confianza de 95% o 5%

Tabla 29

Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$) para fitotoxicidad según tratamiento aplicado.

Tratamientos de estudio	N	Media	Agrupación
T4	5	3	A
T3	5	2,4	A
T1	5	2,4	A
T2	5	2,2	A

Fuente: Elaboración propia

La prueba de comparación múltiple de Tukey confirmó la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos, ya que todos fueron asignados al mismo grupo estadístico (A). Las medias de fitotoxicidad variaron entre 2,2 y 3,0, correspondiendo el valor más alto al tratamiento T4 y el más bajo al tratamiento T2.

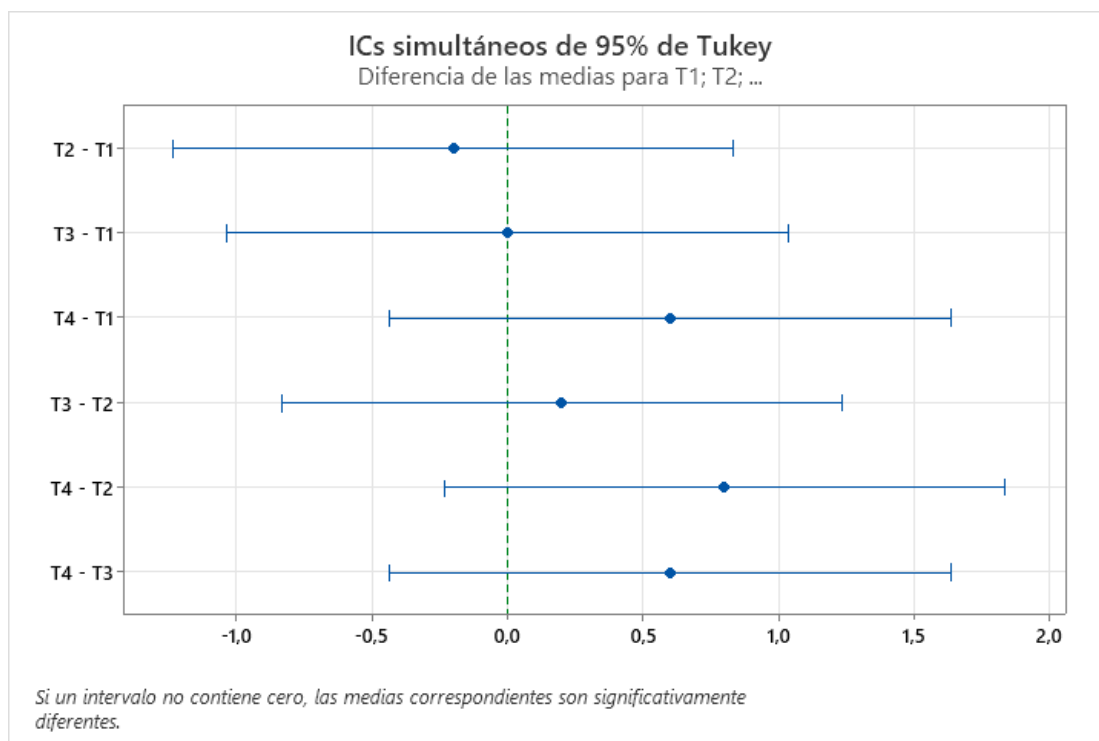


Gráfico 7. Intervalos de confianza simultáneos (Tukey, 95%) para fitotoxicidad en vid.

En la gráfica de intervalos de confianza simultáneos se observa nuevamente una marcada superposición entre los tratamientos, aun considerando el ajuste estadístico por comparaciones múltiples. Este comportamiento confirma que las medias de fitotoxicidad pertenecen a una misma población estadística y que no existen diferencias consistentes entre las estrategias evaluadas.

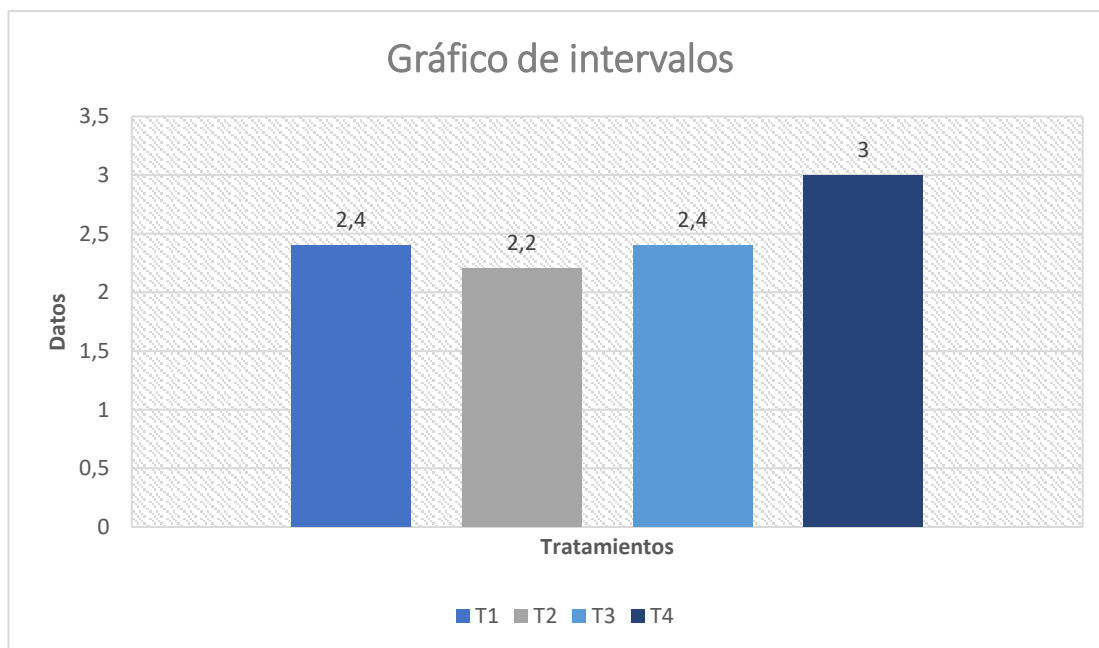


Gráfico 8. Intervalos para fitotoxicidad en función de los tratamientos evaluados.

La gráfica de intervalos correspondiente a la fitotoxicidad muestra medias cercanas entre sí, acompañadas de intervalos de confianza que se superponen ampliamente. La superposición de los intervalos indica que los niveles de fitotoxicidad se mantuvieron dentro de un rango similar para todos los tratamientos, sin evidenciar respuestas extremas o comportamientos atípicos asociados a algún fungicida en particular.

3.4.3 Interpretación

Desde una perspectiva agronómica, los resultados indican que ninguna de las estrategias de rotación de fungicidas evaluadas generó efectos fitotóxicos severos en el cultivo. Los valores promedio registrados corresponden a niveles bajos a moderados de fitotoxicidad, compatibles con síntomas leves, sin un impacto visible sobre el desarrollo general de las plantas.

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos sugiere que los fungicidas utilizados, así como las dosis y momentos de aplicación, fueron adecuadamente tolerados por el cultivo.

3.5 Análisis económico de las estrategias de control

El análisis económico se realizó considerando los costos directos para el cultivo de vid bajo cada tratamiento evaluado. Se incluyeron los costos de insumos fitosanitarios, fertilización, control de plagas, mano de obra y uso de maquinaria.

El ingreso bruto (IB) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$IB = R * P$$

donde:

- R = rendimiento por hectárea (kg/ha)
- P = precio de venta por kilogramo (Bs/kg)

El costo total considerado (CT) se obtuvo como:

$$CT = CD$$

El ingreso neto (IN) se calculó mediante:

$$IN = IB - CT$$

Asimismo, la relación beneficio/costo se estimó como:

$$B/C = \frac{IB}{CT}$$

3.5.1 Costos y resultados económicos por tratamiento

Tabla 30

Presupuesto comparativo de las estrategias fungicidas evaluadas.

Tratamiento	IB (Bs/ha)	CT (Bs/ha)	IN (Bs/ha)	B/C
T1	29089	21954	7135	1,3
T2	20362	20257	105	1,0
T3	43634	22281	21353	2,0
T4	37816	22422	15394	1,7

Bajo el rendimiento promedio comercial obtenido en la variedad Tannat, la mayoría de los tratamientos evaluados resultaron económicamente rentables ($B/C > 1$). El tratamiento T2 presentó una relación beneficio/costo igual a 1,0, lo que indica que se encuentra en el punto de equilibrio, sin generar beneficios económicos.

El tratamiento T3 presentó el mayor ingreso bruto de 43633 Bs/ha, lo que se vio reflejado también en el ingreso neto que fue el mayor con 21353 Bs/ha y la relación beneficio/costo más alta siendo 2,0. Estos resultados indican que por cada boliviano invertido en este tratamiento se obtiene un retorno de 2,0 Bs, mostrando una alta rentabilidad económica. Este comportamiento está relacionado con su mayor eficacia en el control del mildiu, lo que permitió obtener un mayor rendimiento comercial del cultivo.

El tratamiento T4 ocupó el segundo lugar en términos económicos, con un ingreso bruto de 37816 Bs/ha, un ingreso neto de 15394 Bs/ha y una relación B/C de 1,7. Este resultado es consistente con su buen desempeño en el control de la enfermedad, aunque ligeramente inferior al T3.

Por su parte, el tratamiento T1 presentó una rentabilidad intermedia, con un B/C de 1,3 y un ingreso neto de 7135 Bs/ha, lo que indica que si bien es rentable, su eficiencia económica es menor en comparación con T3 y T4. Esto puede estar asociado a un control moderado del mildiu, lo cual limitó el rendimiento alcanzado.

En contraste, el tratamiento T2, muestra un comportamiento económico mucho menos favorable, con un costo total de 20257 Bs/ha, un ingreso neto de apenas 105 Bs/ha y una relación B/C de 1,0. Este valor indica que el tratamiento se encuentra en el punto de equilibrio, donde los ingresos prácticamente igualan a los costos, sin generar ganancias reales. Este resultado refleja que, bajo las condiciones del ensayo, T2 no resulta económicamente rentable, lo cual es consistente con su bajo nivel de control del mildiu, afectando negativamente el rendimiento del cultivo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, aplicado al análisis de varianza y análisis económico correspondiente, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

La severidad de la enfermedad permitió diferenciar el efecto de las estrategias fungicidas aplicadas, evidenciando que los tratamientos con fungicidas con un solo ingrediente activo lograron una reducción más marcada del daño foliar en comparación con las demás.

La incidencia mostró un comportamiento menos diferenciador, lo cual sugiere que, aunque el patógeno estuvo presente en todos los tratamientos, la magnitud del daño fue influenciada principalmente por la estrategia de control aplicada.

La evaluación de la eficacia indicó que la estrategia basada en la rotación de ingredientes activos individuales (T3) presentó el mayor porcentaje de control, por el contrario, la estrategia de rotación de fungicidas orgánicos (T2), basada en caldo bordelés y extractos vegetales, mostró una menor eficiencia relativa.

El análisis de la relación beneficio/costo evidenció diferencias claras en la rentabilidad de las estrategias evaluadas. Los tratamientos T3, T4 y T1 presentaron valores de B/C superiores a 1, siendo económicamente rentables, mientras que T2 se ubicó en el punto de equilibrio ($B/C = 1,0$), sin generar beneficios.

El tratamiento T3 destacó como la alternativa más rentable, seguido de T4, lo cual se asocia a su mayor eficacia en el control del mildiu y al mayor rendimiento obtenido. En contraste, T2 mostró la menor rentabilidad debido a su menor nivel de control sanitario.

En general, se confirma que una mayor eficacia en el manejo del mildiu se traduce en mejores resultados económicos.

4.2 Recomendaciones

Considerando las conclusiones obtenidas del presente estudio se recomienda lo siguiente:

Se recomienda la implementación del tratamiento T3 como la estrategia más eficiente para el control del mildiu en vid, debido a su alta eficacia sanitaria y su mayor rentabilidad económica, evidenciada en la relación beneficio/costo.

El tratamiento T4 puede considerarse como una alternativa viable, ya que presenta un buen nivel de control de la enfermedad y una rentabilidad aceptable.

El tratamiento T1 puede ser utilizado bajo condiciones de presión moderada de la enfermedad; sin embargo, su menor eficiencia en comparación con T3 y T4 limita su recomendación.

No se recomienda el uso exclusivo del tratamiento T2 bajo condiciones de alta presión de mildiu, debido a su menor eficacia sanitaria y su limitada rentabilidad, al ubicarse en el punto de equilibrio económico.