

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES NATIVOS (MEN) EN
EL CONTROL DE TIZONES EN EL CULTIVO DE PAPA (*SOLANUM*
TUBEROSUM L.)**

por

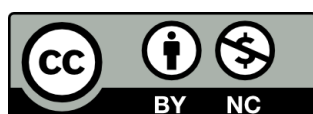
Guillermo PAROLI MISLEJ

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO
URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**”.



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Paula Colnago

Co director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Victoria Moreira

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Elisa Silvera

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Scarlato

Ing. Agr. (Dra.) Paula Colnago

Fecha:

10 de octubre de 2025

Estudiante:

Guillermo Paroli Mislej

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres Sandra y Fernando por siempre haber confiado en mí, por su amor y apoyo incondicional; A mis hermanos Carolina y Federico por ser mis compañeros de la vida; A mi compañera Ana por elegir compartir su vida conmigo, creer en mí, y estar siempre a mi lado; A mis abuelos Ildis, Virginia, Alfredo y Juan, por su amor y enseñanzas que siempre voy a recordar; A mis sobrinas Josefina y Maite que están en mi corazón; A toda mi familia que siempre me ayudó y estuvo ahí apoyando; A mis amigos que siempre han dado una palabra de aliento. A mis perras Thai y Morena fieles compañeras de tardes y noches de estudio.

De todos ustedes he aprendido algo que me hace ser lo que hoy soy.

Gracias a todos por ser parte de mí.

Tabla de Contenido

Página de aprobación	3
Agradecimientos	4
Lista de Figuras y Tablas.....	7
Resumen	8
Summary	9
1 Introducción.....	10
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo general.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 Revisión bibliográfica.....	12
3.1 Caracterización del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.): importancia económica y distribución.....	12
3.2 El cultivo de papa en Uruguay	13
3.2.1 Cultivares utilizados en Uruguay	14
3.2.1.1 Características de la variedad INIA Arequita.....	15
3.2.1.2 Características de la variedad INIA Guaviyú.....	15
3.3 Principales enfermedades foliares del cultivo de papa.....	15
3.3.1 Tizón tardío (Phytophthora infestans)	15
3.3.1.1 Síntomas	16
3.3.1.2 Ciclo de la enfermedad	16
3.3.2 Tizón temprano (Alternaria spp.)	18
3.3.2.1 Síntomas	18
3.3.2.2 Ciclo de la enfermedad	19
3.4 Manejo sanitario de enfermedades en el cultivo de papa	21
3.4.1 Mecanismos de control en producción convencional.....	21
3.4.2 Manejo de tizones: Estrategias de manejo en producción convencional....	21
3.4.2.1 Tizón tardío (Phytophthora infestans)	21
3.4.2.2 Tizón temprano (Alternaria spp.)	22
3.4.3 Problemas con el uso de productos químicos en la producción de alimentos	23
3.4.3.1 Problemas ambientales	23
3.4.3.2 Riesgos en la salud de los trabajadores rurales y de los consumidores finales	23
3.5 Estrategias alternativas para el control de enfermedades.	24
3.5.1 Bioinsumos en el cultivo de Papa.....	24

3.6	Microorganismos eficientes nativos (MEN) y Microorganismo Efectivos (EM)	25
3.6.1	Definición y composición.....	25
3.6.2	Mecanismos de acción y usos en la protección vegetal.....	26
4	Materiales y métodos.....	29
4.1	Ubicación del experimento.....	29
4.2	Tratamientos evaluados, diseño, instalación y manejo	29
4.3	Variables evaluadas.....	32
4.3.1	Emergencia y número de tallos	32
4.3.2	Cuantificación de enfermedades foliares.....	32
4.3.3	Medidas de Producción y Rendimiento.....	32
4.4	Variables climáticas.....	32
4.5	Análisis estadístico.....	33
5	Resultados	34
5.1	Caracterización climática de la estación de crecimiento	34
5.1.1	Precipitaciones.....	34
5.1.2	Temperatura.....	34
5.1.3	Humedad Relativa	35
5.2	Emergencia y tallos por planta.....	36
5.3	Evolución de las enfermedades foliares.....	36
5.3.1	Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	36
5.3.2	Tizón temprano (<i>Alternaria</i> spp.)	38
5.4	Rendimientos.....	40
6	Discusión.....	43
6.1	Efecto de los microorganismos eficientes nativos sobre el control del tizón tardío y tizón temprano.....	43
6.2	Impacto del manejo sanitario sobre el rendimiento	45
7	Conclusiones.....	46
8	Consideraciones para futuros ensayos	47
9	Referencias bibliográficas.....	48
10	Anexos.....	54

Lista de Figuras y Tablas

Tabla 1 Manejo del cultivo	30
Tabla 2 Caracterización de MEN utilizados correspondientes a la Cooperativa Entrebichitos	31
Tabla 3 Proporción de incidencia de tizón tardío según fecha de evaluación	37
Tabla 4 Proporción de incidencia de tizón tardío según tratamiento para el promedio de todas las fechas evaluadas	37
Tabla 5 AUDPC de severidad de tizón tardío en hoja por tratamiento	38
Tabla 6 Proporción de incidencia de tizón temprano según fecha de evaluación	39
Tabla 7 AUDPC de tizón tardío en hoja por tratamiento	40
Tabla 8 Rendimientos del cultivo por tratamiento en Kg/ha.....	41
Tabla 9 Pesos promedio de los tubérculos (g) según tratamiento	41
Figura 1 Producción mundial de papa en 2020	13
Figura 2 Síntomas de tizón tardío.....	16
Figura 3 Ciclo de Tizón Tardío causado por <i>Phytophthora infestans</i> en papa.....	18
Figura 4 Síntomas de tizón temprano en hoja y tubérculo	19
Figura 5 Ciclo de Tizón temprano causado por <i>Alternaria</i> spp. en papa	20
Figura 6 Croquis del ensayo	31
Figura 7 Precipitaciones mensuales del período 01/marzo-30/junio 2024 y marzo-junio 2014-2024.....	34
Figura 8 Temperaturas promedio en el período 01/marzo-30/junio 2024 y marzo-junio período 2014-2024.....	35
Figura 9 Porcentaje de humedad relativa (HR%) en el período 01/marzo-14/junio 2024	36
Figura 10 Análisis de componentes principales	42

Resumen

En Uruguay el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es el rubro hortícola más importante de acuerdo al valor bruto de producción y a su consumo. Es afectado por diversas enfermedades, siendo el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y el tizón temprano (*Alternaria* spp.) las más importantes debido a las pérdidas económicas que ocasionan. Para su control se utilizan aplicaciones frecuentes de fungicidas químicos que presentan efectos secundarios tanto en el ambiente como en la salud de los aplicadores y consumidores.

El objetivo de esta tesis fue determinar la efectividad de la aplicación de MEN (Microorganismos Eficientes Nativos) en el control de enfermedades foliares en el cultivo de papa.

El experimento se llevó a cabo en el Centro Regional Sur (CRS) Facultad de Agronomía (FAgro) de la Universidad de la República (UDELAR), en condiciones de campo sobre la variedad de papa INIA Arequita. Se utilizaron cuatro tratamientos, T1 en que se aplicaron MEN a [10%], T2 con aplicación de MEN a [15%], T3 con aplicación de MEN a [10%] combinado con fungicidas químicos cuando las condiciones ambientales eran favorables para el desarrollo de las enfermedades, y T0 tratamiento testigo donde se asperjó únicamente agua. Todos los tratamientos fueron aplicados al follaje.

Los resultados reflejaron que las aplicaciones de MEN presentan eficacia en el control de ambas enfermedades al inicio de las epidemias. Además, el tratamiento que combinó MEN y fungicidas (T3) logró la mayor reducción de la cantidad de enfermedad y peso promedio de tubérculos un 30% superior al del tratamiento control. Si bien más estudios son necesarios, según nuestros hallazgos las aplicaciones con MEN podrían incorporarse en una estrategia de manejo integrado para el control de tizón tardío y temprano en el cultivo de papa.

Palabras clave: *Phytophthora infestans*, *Alternaria* spp., control biológico, control integrado

Summary

Potato is the most important vegetable crop in Uruguay in terms of gross production value and per capita consumption. It is affected by several diseases, among which late blight (*Phytophthora infestans*) and early blight (*Alternaria* spp.) are the most important, as they cause severe economic losses. Frequent agrochemical applications are used for their control, which have negative impacts on the environment and human health.

The objective of this thesis was to determine the effectiveness of applying MEN (Native Efficient Microorganisms) to control foliar diseases in potato crops.

The experiment was conducted at the South Regional Centre (CRS) of the Facultad de Agronomía, Universidad de la República, in an open-field crop using the INIA Arequita variety. Four treatments were applied: MEN 10% (T1), MEN 15% (T2), MEN 10% + agrochemicals when weather conditions favored the epidemic (T3), and a control plot (T0) sprayed with water. All treatments were applied to the foliage.

The results showed that MEN application was effective in reducing both diseases at the beginning of the epidemic. The treatment combining fungicides with MEN achieved the greatest reduction and produced tuber weights on average 30% higher than the control plot. Although further studies are necessary, these results suggest that MEN application could be incorporated into an integrated disease management strategy for late and early blight.

Keywords: *Phytophthora infestans*, *Alternaria* spp., biological control, integrated control

1 Introducción

En la actualidad el modelo de producción hortícola está basado en un paquete productivo que supone un uso intensivo de insumos químicos externos para mantener los niveles de producción, esto ocurre por las altas exigencias de calidad de los mercados y la necesidad constante de aumentos de rendimientos de los productores.

La aplicación de agroquímicos para el control de enfermedades interfiere con la biología natural de los suelos causando un empobrecimiento de los biosistemas, teniendo efectos negativos sobre la flora y fauna no blanco, ocasionando la disminución del control natural de patógenos, el incremento de poblaciones de plagas por la falta de enemigos naturales (Badii & Landeros, 2007), y la disminución en los procesos de ciclado de nutrientes.

Sumado a esto, el uso inadecuado de fungicidas con el mismo principio activo puede generar la aparición de razas resistentes de patógenos, perdiéndose la efectividad para su control en el transcurso de pocos ciclos productivos (Pérez & Forbes, 2010).

Este tipo de producción trae consigo algunos riesgos como pueden ser la contaminación de recursos hídricos superficiales y no superficiales, aire, y suelos, por el uso incorrecto o excesivo de químicos, y por la deriva que puede ocurrir. Asimismo, los agroquímicos utilizados en la producción convencional pueden provocar problemas de salud en los trabajadores que los utilizan y los consumidores finales (Badii & Landeros, 2007; Cárcamo, 2020).

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Uruguay es el cultivo hortícola de mayor relevancia de acuerdo al área cultivada (4000 ha anuales) y volumen de producción (80000 Mg/año) (Vilaró & González, 2017), y es uno de lo que presenta reportes de mayor intensidad en el uso de químicos para el control fitosanitario, principalmente para enfermedades foliares causadas por hongos. En este contexto surge la necesidad de búsqueda de estrategias de manejo alternativas, que sean sostenibles para la protección de cultivos, que contemplen aspectos ambientales y que respeten la integridad de las personas y animales.

En este trabajo se estudió la eficacia de los Microorganismos Eficientes Nativos (MEN) en el control de las dos enfermedades foliares más importantes del cultivo, el tizón tardío y el tizón temprano de la papa causadas por los patógenos *Phytophthora infestans* y *Alternaria* spp. respectivamente. Cabe destacar que se trata de una tecnología incipiente en el país, cuya aplicación es cada vez mayor por los productores nacionales, por lo que es necesario ajustar dosis y frecuencias de aplicación, y a su vez determinar su efectividad en el campo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar la efectividad de la aplicación de MEN en el control de enfermedades foliares en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la efectividad de aplicaciones de MEN mediante incidencia y severidad de tizón temprano (*Alternaria* spp.) y tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en un ciclo de otoño en Canelones.
2. Evaluar el impacto del uso de MEN en el rendimiento y la calidad del cultivo de papa en función de las distintas estrategias de control de enfermedades utilizadas.

3 Revisión bibliográfica

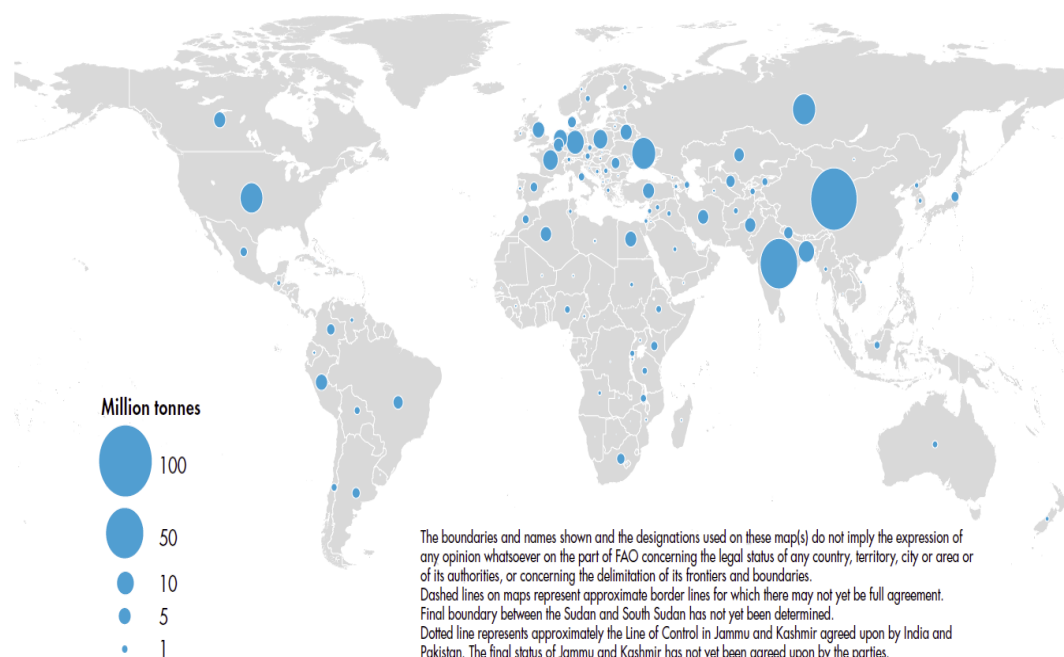
3.1 Caracterización del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.): importancia económica y distribución

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) tiene sus orígenes en América del Sur, más específicamente en la zona andina, existiendo más de 7.000 variedades. Algunas son silvestres y no tienen fines comestibles, pero presentan relevancia a nivel mundial por ser fuente de recursos de diversidad genética utilizadas para estudiar posibles resistencias a plagas y enfermedades, y características variables de la planta como pueden ser adaptación a distintos ambientes y climas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

El cultivo se encuentra extendido a nivel mundial debido a su gran versatilidad para crecer en variados ambientes, su excelente capacidad de producir alimento para la población y su alto valor nutricional (Çalışkan et al., 2023).

Es el tercer cultivo más importante a nivel mundial, detrás del arroz (*Oryza sativa* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L.), siendo el primer cultivo no cerealero del mundo en importancia (Raymundo & Asseng, 2023). La producción mundial ronda los 376 millones de toneladas anuales (Raymundo & Asseng, 2023) y es producida en 150 países con una superficie cultivada de 20 millones de hectáreas.

Según mencionan Raymundo y Asseng (2023) China es el principal productor con un 22% de la producción mundial (Figura 1), siguiéndole en orden de importancia: India, Ucrania, Rusia y Estados Unidos (FAO, 2022, como se cita en Çalışkan et al., 2023). La producción se encuentra en proceso de cambio, variando desde los países desarrollados hacia los países menos desarrollados (FAO, 2022, como se cita en Çalışkan et al., 2023), registrándose los mayores aumentos a niveles productivos en Asia y África, siguiéndole América del Sur y Central y Oceanía. En lo que respecta al área destinada al cultivo, África y Asia registran aumentos progresivos en superficie cultivada desde los años 60 hasta la actualidad. En América del Sur y Central y Oceanía el área se mantiene relativamente estable, mientras que en Europa se presentan descensos desde los años 1960 y en Estados Unidos se presentan descensos desde los años 2000 (FAO, 2022, como se cita en Çalışkan et al., 2023).

Figura 1*Producción mundial de papa en 2020*

Nota. Tomado de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2022).

3.2 El cultivo de papa en Uruguay

En Uruguay, el cultivo de papa es el que reviste mayor importancia del rubro hortícola, tanto en lo que respecta a superficie cultivada, como en el valor y volúmenes de producción (Vilaró & González, 2017). La producción nacional permite abastecer el mercado interno, aunque se realizan importaciones en años particulares en los que su oferta se ve comprometida con el fin de cubrir las demandas. Estas importaciones provienen generalmente de países de la región, siendo el 74% proveniente de Brasil en los últimos 10 años (CPA Ferrere, 2023) e ingresando principalmente entre los meses de febrero a abril y de setiembre diciembre (Observatorio Granjero, 2023).

Según lo expuesto por Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2023) el área destinada al cultivo presenta un descenso desde los años 2000, pasando de 10.913 hectáreas sembradas en la zafra 2001/2002 a una superficie de 3.002 hectáreas cultivadas en la temporada 2022/2023. A pesar de ello, la reducción en la producción no es correlativa con la reducción en el área cultivada, ya que habiéndose reducido un 72% el área sembrada, el volumen de producción ha disminuido un 52% desde la zafra 2001/2002 hasta la zafra a la zafra 2022/2023. Esto se debe a los aumentos en rendimientos por hectárea que se han producido en el sector y que han sido generados por la intensificación productiva. Los rendimientos pasaron de 14,9 t/ha en la zafra 2001/2002 a 19,3 t/ha en la zafra 2022/2023 (DIEA, 2023). Uno de los cambios más significativos fue la generalización del riego. En la zafra de otoño de 2023, el 81% se realizó bajo riego (DIEA, 2023) y el 96% en la zafra de primavera 2023/2024 (DIEA, 2024). En el Uruguay existen 3 zonas principales donde se produce el cultivo de papa: la zona sur, en donde se

concentra el mayor porcentaje de la producción del país (92%) y que comprende los departamentos de Canelones, Montevideo, Colonia, Florida, Soriano y San José (DIEA, 2023), siendo este último el de mayor relevancia productiva. En segundo lugar, se encuentra la zona este con un 8% de la producción nacional, la cual, gracias a su cercanía a zonas costeras, tiene una menor amplitud térmica que el resto del país lo que le permite extender el período de producción. Por último, la zona norte, que aporta un 1% de la producción, donde las temperaturas más cálidas le posibilitan realizar ciclos de producción corridos en fecha respecto a la zona sur, posibilitando abastecer al mercado local de papa nueva en momentos donde la zona sur aún no tiene su producción disponible (Vilaró & González, 2017).

Por motivos climáticos, la papa en Uruguay se cultiva en 2 ciclos productivos, uno de otoño y uno de primavera (Vilaró & González, 2017), con una duración estimada de 4 meses cada uno. El largo de estos ciclos se encuentra limitado por las temperaturas, siendo el comienzo de las heladas el principal factor limitante de la duración del cultivo de otoño y las altas temperaturas a inicios del verano las del ciclo de primavera.

En la zona sur, el ciclo de cultivo de otoño se extiende desde mediados de enero hasta el comienzo de las primeras heladas (mayo o junio), y el cultivo de primavera se realiza desde el mes de agosto (fin de últimas heladas) hasta diciembre (Ackermann & Díaz, 2022).

En cuanto al mercado interno, la producción según variedades indica que en Uruguay los consumidores eligen para el consumo principalmente papa de piel rosada, siendo la proporción de un 85-90% de este color contra el restante 10-15 % de papa de piel blanca, sobre la que se puede mencionar que progresivamente ocupa una mayor parte del mercado (DIEA, 2023).

La papa nacional producida tiene como destino principal la venta para su consumo en fresco en el mercado interno, siendo las exportaciones y lo destinado a industrias poco relevantes en función de la producción total (Vilaró & González, 2017).

3.2.1 Cultivares utilizados en Uruguay

En Uruguay, las variedades utilizadas son predominantemente de origen extranjero. En la zafra de otoño de 2023, las cinco principales variedades utilizadas para la siembra fueron Red Magic con un 26% del área, Rudolph con un 18%, siguiéndoles Chieftain y Seven Four Seven con un 7% del área, y las variedades Cerata, Camel y Memphis con un 6% cada una. Las variedades Red Magic y Rudolph produjeron el 46% de la producción nacional en dicho ciclo lo que hace notar su relevancia en el país. Las variedades principales sembradas en la zafra de primavera 2023/2024 no se concentraron en igual medida que en la de otoño 2023, destacándose como la variedad más sembrada Red Magic con un 25% del área, siguiéndole en porcentaje Memphis con un 10%, Romántica con un 9%, Zinared y Chieftain con un 8% y Arequita con un 6% del área (DIEA, 2023). De las variedades cultivadas en estos ciclos, solo Arequita es un cultivar nacional. En menor escala se cultiva también la variedad Guaviyú, fundamentalmente en sistemas de producción familiar (Colnago et al., 2019).

3.2.1.1 Características de la variedad INIA Arequita

La variedad Arequita utilizada en este ensayo es un tipo de papa de piel lisa y roja, con pulpa color crema pálida y forma oval alargada. Tiene un ciclo de producción entre los 100 y los 120 días, pudiéndose efectuar cosechas de forma anticipada entre los 90 y los 100 días. Es recomendada para su cultivo tanto en ciclos de otoño como de primavera, con un potencial productivo que se encuentra entre las 40 y 50 ton/ha en cualquiera de los ciclos mencionados. Presenta una dormición de 80-90 días y es tolerante a las sequías (Vilaró & González, 2017).

En cuanto a su comportamiento sanitario, se trata de una variedad resistente al *Potato Virus Y* (PVY) y al tizón temprano de la papa (*Alternaria* spp.), siendo susceptible al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), sarna común (*Streptomyces* spp.) y *Potato Leafroll Virus* (PLRV) (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], s.f.b).

3.2.1.2 Características de la variedad INIA Guaviyú

El cultivar Guaviyú, que fue sembrado en los bordes del ensayo realizado, es un tipo de papa de piel y pulpa color crema, con superficie lisa. Es una variedad recomendada para la siembra tanto en el ciclo de otoño como en el de primavera, siendo su hábito de crecimiento del tipo semi-erecto y presentando un follaje medianamente vigoroso que cubre bien el suelo. Algunas de las características que presenta respecto a su comportamiento sanitario son la tolerancia a ambos tizones y PLRV, su resistencia a PVY y Sarna Común (*Streptomyces* spp.) (INIA, s.f.c).

3.3 Principales enfermedades foliares del cultivo de papa

Según menciona Tsrer (2023) el tizón tardío es la enfermedad más devastadora del cultivo, ocasionando pérdidas productivas del 16% en el cultivo a nivel mundial, con sus consiguientes pérdidas económicas (Haverkort, 2009). En tanto, el tizón temprano es también considera una enfermedad de importancia pudiendo causar pérdidas productivas de entre el 5 y el 40% a nivel mundial (Tsrer, 2023), siendo las zonas templadas y tropicales las regiones más afectadas (Van der Waals et al., 2001). Asimismo, Rotem (1994, como se cita en Van der Waals et al., 2001) menciona que en el caso del tizón temprano muchas veces no se condicen las pérdidas de follaje con las pérdidas en rendimiento, ya que las mayores pérdidas foliares se dan hacia el final del ciclo productivo, momento en el que los tubérculos ya se han desarrollado y en que la planta ya ha alcanzado gran parte de su producción final.

Por su relevancia económica a nivel nacional e internacional, y su frecuencia de aparición en el cultivo, las enfermedades foliares que se van a abordar en este trabajo son el tizón tardío y el tizón temprano de la papa.

3.3.1 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Esta enfermedad es causada por un Oomycete perteneciente al grupo de los pseudohongos, y al igual que el tizón temprano afecta a la papa, al tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y otras solanáceas. Se reproduce tanto de manera sexual (formando oosporas) como asexual (germinación de esporangios y de zoosporas), siendo esta última la forma más común a nivel mundial (Acuña et al., 2021a).

3.3.1.1 Síntomas

El patógeno puede infectar en cualquier etapa de desarrollo del cultivo afectando todas las partes de la planta (Acuña et al., 2021a).

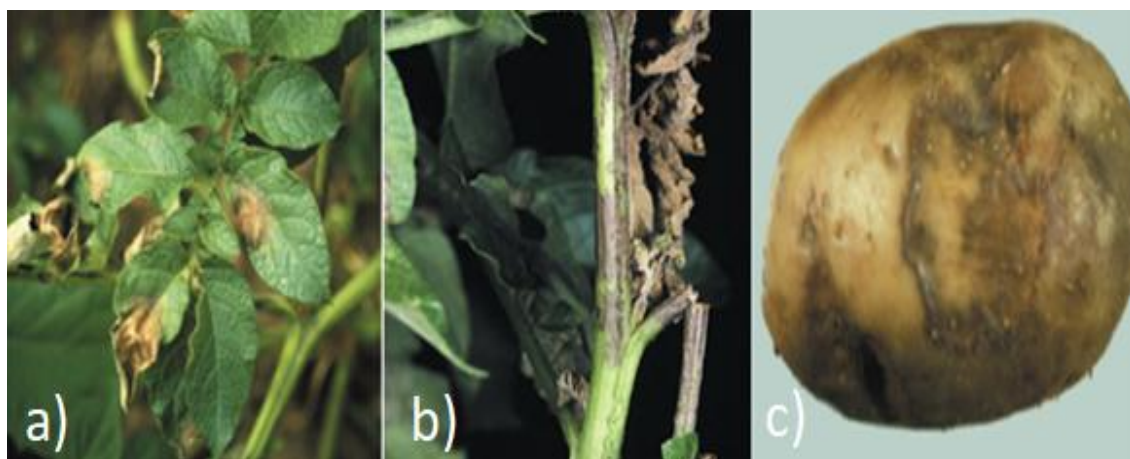
En las hojas produce manchas de color café, de aspecto húmedo y blando no limitadas por nervaduras foliares, de forma irregular, con la presencia de un halo clorótico que las rodea (figura 2a). En casos de alta humedad relativa puede visualizarse en el envés de las hojas el signo blanquecino característico de la enfermedad que corresponde a los esporangios y esporangióforos (Acuña et al., 2021a). Los síntomas de manchas con aspecto húmedo pasan a ser de manchas secas y quebradizas de color café en condiciones de baja humedad relativa (Acuña et al., 2021a).

En los tallos, los síntomas son similares a los de las hojas, se presentan como manchas necróticas de color café oscuro que pueden afectar pequeñas porciones o gran parte de estos (figura 2b). Una vez que la enfermedad ha avanzado y logra colonizar todo el diámetro de un tallo, este se vuelve quebradizo y susceptible a daños mecánicos que puedan ser causados por el clima, operarios o maquinaria. En tallos, al igual que en hojas, puede presentarse el signo de color blanquecino (Acuña et al., 2021a).

En los tubérculos, los síntomas que se presentan son lesiones de color marrón irregular, pudiendo penetrar hacia el interior desde algunos milímetros hasta 3 cm (Acuña et al., 2021a) (figura 2c). Los tubérculos infectados pueden no presentar síntomas a campo, pero sí presentarlos durante el almacenamiento, donde no se produce el contagio de la enfermedad entre ellos, pero sí ocurre el contagio de enfermedades de hongos o bacterias que acompañan al tizón tardío e infectan en simultáneo a los tubérculos, provocando pudriciones húmedas (Acuña et al., 2021a).

Figura 2

Síntomas de tizón tardío



Nota. Síntomas en a) hoja, b) tallo, c) tubérculo. Adaptado de Wale et al. (2008).

3.3.1.2 Ciclo de la enfermedad

Es una enfermedad policíclica que debido a su alta tasa de reproducción y su diseminación por corrientes de aire, puede causar la destrucción de un cultivo entero en el lapso de una semana bajo condiciones ambientales propicias (Acuña et al., 2021a).

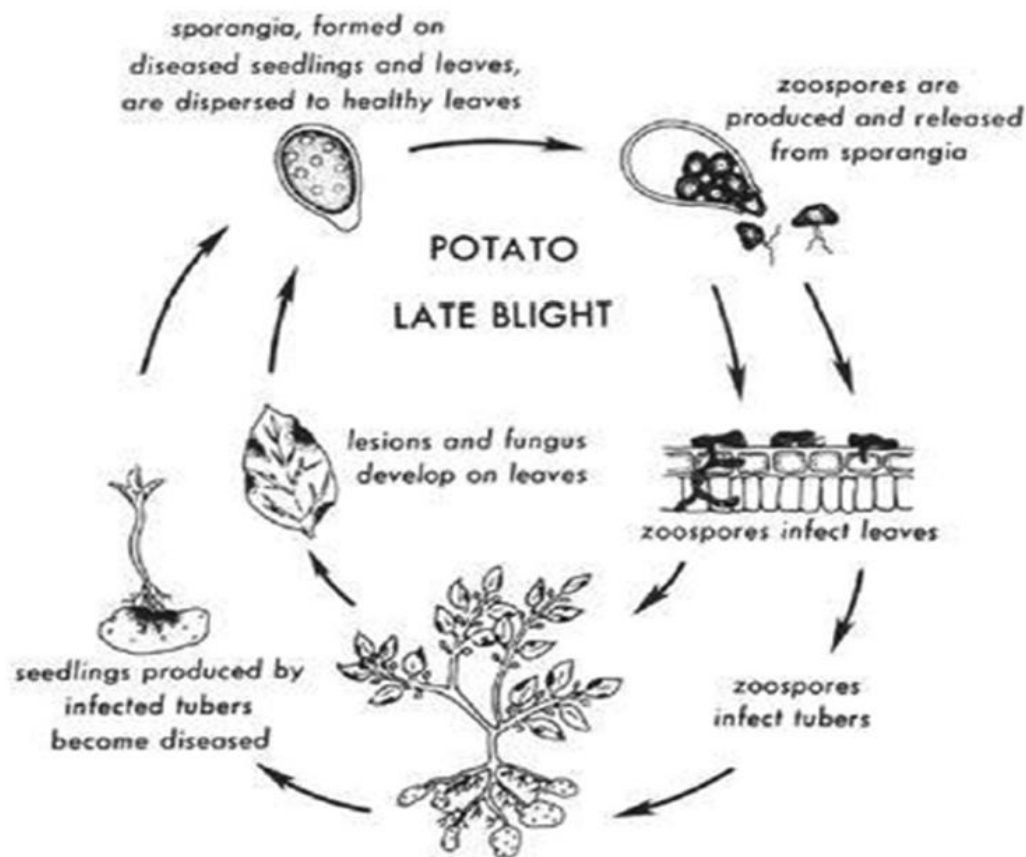
Es un parásito obligado que sobrevive como micelio en tubérculos infectados, o en plantas espontáneas (guachas) que quedaron en el campo de cultivos anteriores (Figura 3). También puede sobrevivir por medio de las oosporas por largos períodos a bajas temperaturas (Agrios, 2007), aunque en Uruguay las oosporas aún no se han observado. En condiciones ambientales propicias los esporangios pueden germinar por sí mismos, o pueden liberar zoosporas (cada esporangio contiene entre 3 y 8, o a veces más) que se diseminan por corrientes de viento y por agua alcanzando las hojas o tallos de otras plantas (Agrios, 2007). Ingresa a la planta por medio de estomas, penetrando intercelularmente, alimentándose por vía de haustorios y matando a las células de la planta (Agrios, 2007). Los esporangios desarrollados en la parte aérea de la planta pueden pasar al suelo e infectar a los tubérculos ingresando por lenticelas o heridas si estos se encuentran sobre la superficie (Aglave, 2019).

Las condiciones favorables para su desarrollo son humedades relativas superiores al 80%, temperaturas entre 15°C y 25°C, y agua libre para la germinación de las zoosporas, siendo que la temperatura óptima es de 21°C luego de ocurrida la infección (Acuña et al., 2021a). Los esporangios pueden permanecer viables entre 3 y 6 horas a humedades menores al 80% (Agrios, 2007), y las zoosporas mueren luego de unas horas expuestas a temperatura ambiente (Acuña et al., 2021a).

Climas secos detienen el avance de la enfermedad y temperaturas mayores a 30°C inhiben su desarrollo sin matar al hongo, permaneciendo éste latente a la espera de que ocurran las condiciones ambientales óptimas para retomar su actividad (Agrios, 2007).

Figura 3

Ciclo de Tizón Tardío causado por *Phytophthora infestans* en papa



Nota. Tomado de Aglave (2019).

3.3.2 Tizón temprano (*Alternaria* spp.)

El tizón temprano es causado por varias especies del género *Alternaria*, siendo la principal especie que lo produce *Alternaria solani* (Ivanović et al., 2022). Existen reportes a nivel mundial que informan sobre otras especies como *Alternaria grandis* Simmons que se reportó afectando cultivos en Brasil (Rodrigues et al., 2010), *Alternaria potentia* y *Alternaria grandis* sobre las cuales se registró su ataque en Serbia (Ivanović et al., 2022). La especie *Alternaria alternata* causante de la enfermedad denominada punteado café, también se encuentra relacionada, presentando síntomas similares a los de tizón temprano (Acuña et al., 2021b). Es común encontrar varias especies en simultáneo provocando la infección (Ivanović et al., 2022) conformando un complejo de especies de *Alternaria* spp. causantes de la enfermedad (Einspanier et al., 2022).

Esta enfermedad en particular afecta tanto al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) como de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y otras solanáceas (Acuña et al., 2021b).

3.3.2.1 Síntomas

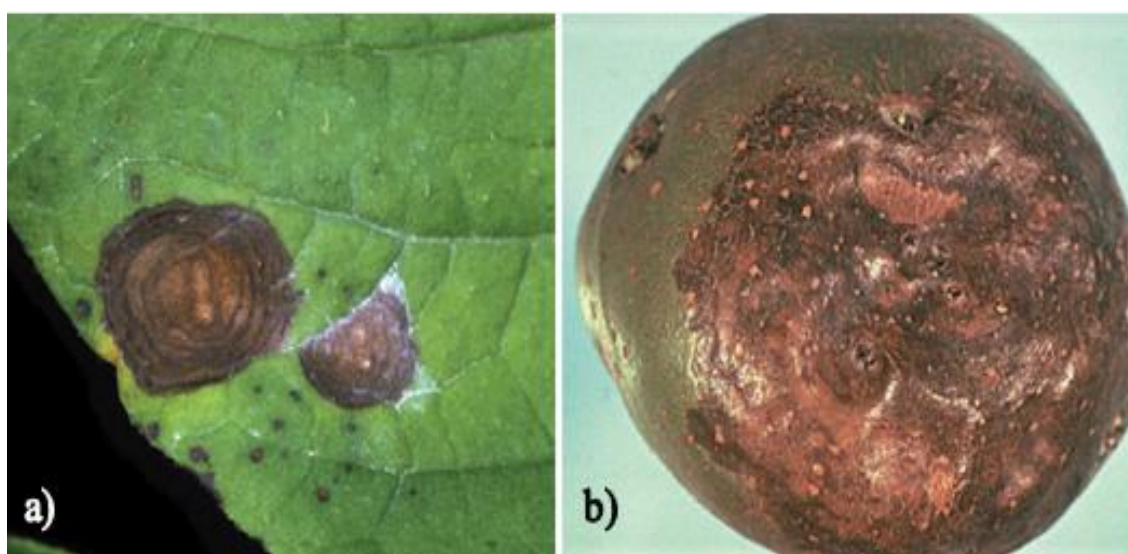
El tizón temprano infecta a los cultivos una vez que han alcanzado la madurez en sus tejidos, siendo estos más susceptibles que los tejidos jóvenes de la planta en los que existe una resistencia temporal a esta enfermedad (Adolf et al., 2020). Los síntomas iniciales se observan en las hojas más viejas (zona basal de la planta) extendiéndose luego

a toda la planta (hacia la zona apical) (Acuña et al., 2021b). Pueden causar defoliación en la planta avanzando de manera progresiva, produciendo manchas necróticas en las hojas, de variados tamaños (entre 3 y 12 mm) que respetan las nervaduras, con anillos concéntricos los cuales se encuentran rodeados por un halo clorótico externamente (Figura 4a) (Acuña et al., 2021b). Estas manchas a medida que ocurre la evolución de la enfermedad pueden converger, conformando manchas de mayor tamaño. Debido a la defoliación y al gran tamaño que pueden alcanzar las manchas, puede verse limitada la capacidad fotosintética de la planta (Acuña et al., 2021b).

En los casos en que exista alta cantidad de inóculo en el suelo, pueden presentarse síntomas en los tubérculos durante el período de almacenamiento, teniendo como vía de ingreso heridas que hayan sido provocadas durante la cosecha. Los síntomas característicos en tubérculos son manchas hundidas de color café en la piel, de apariencia seca, alcanzando el interior de los tubérculos hasta 2 o 3 centímetros de profundidad (Figura 4b). Es una pudrición con aspecto seco, duro y de coloración marrón (Acuña et al., 2021b). En Uruguay hasta el momento solo se ha visto *Alternaria* spp. afectando el follaje del cultivo de papa.

Figura 4

Síntomas de tizón temprano en hoja y tubérculo



Nota. a) Síntomas en hoja. b) Síntomas en tubérculo. Adaptado de Wale et al. (2008).

3.3.2.2 Ciclo de la enfermedad

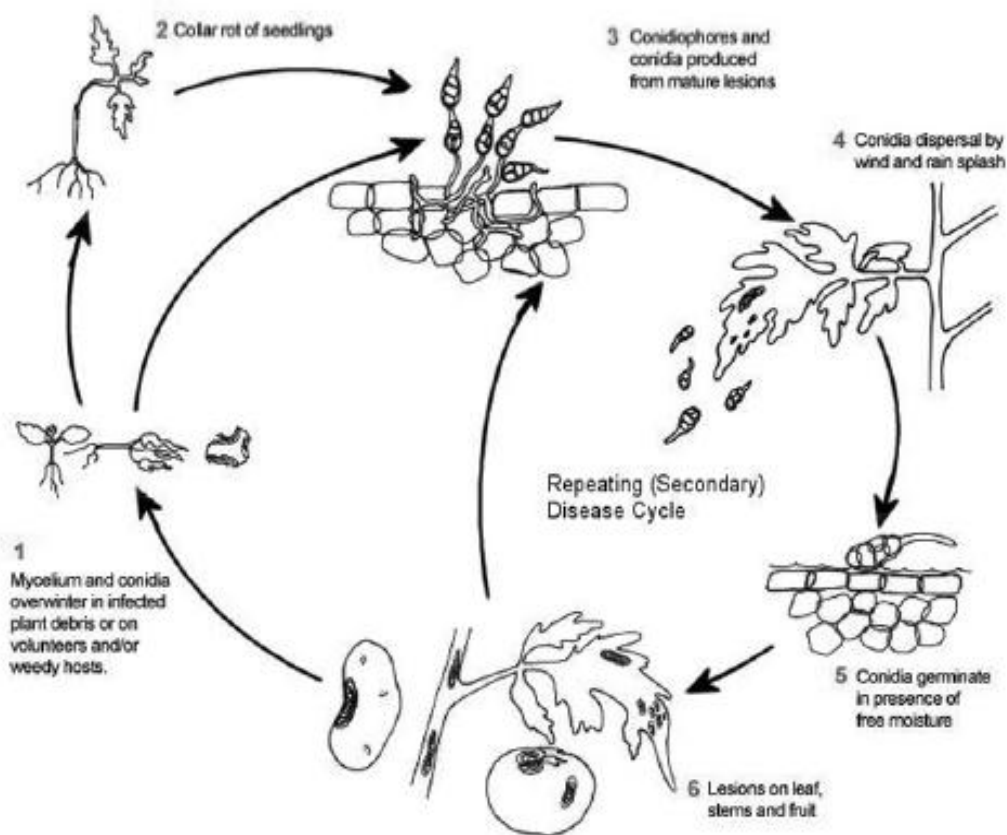
Se propaga de manera asexual, ya que se desconoce su fase sexual, dispersándose principalmente por corrientes de aire (Acuña et al., 2021b), por lo que los conidios pueden provenir tanto de predios vecinos como de donde se encuentre instalado el cultivo (Figura 5). Weisz et al. (1994, como se cita en Jindo et al., 2021) informan que las esporas de *A. solani* pueden dispersarse hasta una distancia de aproximadamente 400 metros, no siendo relevantes la cantidad de esporas a partir de los 600 metros, clasificándose en esporas de tamaño grande (80 micrómetros de largo x 30 de ancho). Por el contrario, *A. alternata* tiene una dispersión 7 veces mayor debido a sus esporas más livianas de dimensiones de 30 micrómetros de largo x 10 de ancho (Acuña et al., 2021b). Para su infección, las

esporas requieren de agua libre, alta humedad relativa en el ambiente, y temperaturas cercanas a los 25 °C (Acuña et al., 2021b), apareciendo la infección luego de un período de entre 4 y 6 horas en condiciones de hoja mojada (Tsrör, 2023). Condiciones ambientales alternadas de humedad y sequía promueven que la enfermedad se desarrolle con mayor velocidad (Acuña et al., 2021b). Está demostrado que *A. solani* produce una mayor cantidad de esporas en condiciones alternadas de humedad y sequía, siendo que es un hongo que puede sobrevivir a condiciones de baja humedad relativa (Jindo et al., 2021).

Puede sobrevivir como micelio por algunos años en el suelo (Tsrör, 2023) o como conidios tanto en el suelo, tubérculos infectados, o en restos de plantas infectadas, pudiendo ser estos la fuente de infección primaria de la enfermedad en el cultivo. Los conidios pueden permanecer viables en las hojas durante 8 semanas a la espera de condiciones climáticas adecuadas para infectar los tejidos (Acuña et al., 2021b). Una vez infectada la planta y con los síntomas visibles, se producen nuevas esporas dentro de las manchas de las hojas, siendo esta la fuente de inóculo secundario, lo que le confiere la calidad de enfermedad policíclica, pudiendo ser también fuente de inóculo inicial de otros cultivos cercanos (Aglave, 2019).

Figura 5

Ciclo de Tizón temprano causado por Alternaria spp. en papa



Nota. Tomado de Aglave (2019).

3.4 Manejo sanitario de enfermedades en el cultivo de papa

3.4.1 Mecanismos de control en producción convencional

La producción de papa está basada en un alto uso de insumos, particularmente para el control de enfermedades y plagas para los que se realizan numerosas aplicaciones de agroquímicos. Si bien son utilizadas prácticas culturales para la disminución de su incidencia y severidad, en promedio se realizan 10 aplicaciones de fungicidas por ciclo productivo, las que sumadas al uso de fertilizantes de origen sintético y a otros químicos utilizados para el control de insectos plaga y malezas componen el 18% de los costos totales de producción (Millán et al., 2020).

El tizón tardío y temprano son las enfermedades para las cuales se destina mayor cantidad de recursos durante la producción de papa (Millán et al., 2020), cobrando la primera mayor relevancia en cultivos de otoño y la segunda en los ciclos de primavera. Si bien en la actualidad ambas enfermedades se encuentran controladas esto se logra por al alto número de aplicaciones de fungicidas, lo que se traduce posteriormente en problemas ambientales y de salud de los trabajadores rurales, por lo que es necesario plantearse como objetivo a corto o mediano plazo el de la transición hacia un tipo de producción que sea más sostenible.

3.4.2 Manejo de tizones: Estrategias de manejo en producción convencional

3.4.2.1 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

En la actualidad suelen ser utilizadas para su control prácticas de manejo integrado que combinan varias prácticas para prevenir la infección del patógeno. A nivel productivo se promueve el uso de variedades resistentes o tolerantes a la enfermedad junto con el control cultural y biológico, siendo también utilizada la aplicación de fungicidas de origen químico (Pérez & Forbes, 2010).

Normalmente los fungicidas utilizados para el control de *P. infestans* son los de contacto con una estrategia de aplicación preventiva, aplicados al follaje previo a que ocurran las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de la enfermedad. Si bien estos fungicidas presentan bajo riesgo de generar resistencia por actuar en varios sitios del patógeno, no protegen a los nuevos brotes de las plantas y son lavados por las precipitaciones, haciéndolos perder su efectividad en la prevención (Pérez & Forbes, 2010). Esta situación lleva a que los productores deban realizar aplicaciones químicas asiduamente aumentando sus costos de producción y generando impactos negativos en el ambiente. Algunos ejemplos de este tipo de fungicidas son los pertenecientes al grupo químico de los Ditiocarbamatos como el principio activo Mancozeb, o productos que poseen cobre en su composición (Pérez & Forbes, 2010). Cuando las estrategias preventivas no resultan efectivas y comienzan a manifestarse síntomas de la enfermedad normalmente se recurre al uso de fungicidas sistémicos. La aplicación repetida del mismo principio activo implica un alto riesgo de generar resistencia en el patógeno debido a que actúan en un único sitio de acción (Pérez & Forbes, 2010), pudiéndose perder la efectividad en el control en un corto período de tiempo. Uno de los principios activos que son ejemplo de esto es el Metalaxil perteneciente al grupo químico de las Fenilamidas-

Acilalaninas, sobre el que existen reportes de generación de resistencia a nivel mundial (Pérez & Forbes, 2010).

Como estrategia complementaria al control químico, se tiende a utilizar variedades que presenten resistencia al patógeno (Pérez & Forbes, 2010). Sin embargo, los cultivares con resistencia cualitativa son los menos estudiados dada su corta duración en el tiempo. En cambio, se han reportado cultivares con resistencia cuantitativa que permiten reducir los costos de aplicaciones de agroquímicos en más de un 60% (Muñoz et al., 2019).

3.4.2.2 Tizón temprano (*Alternaria* spp.)

En la actualidad, para el control del tizón temprano se combina la aplicación de fungicidas químicos con prácticas culturales que reduzcan el inóculo inicial del suelo, junto con el uso de cultivares con menor susceptibilidad a la enfermedad (Adolf et al., 2020).

La reducción del inóculo inicial cobra relevancia ya que su forma de sobrevivencia es en plantas voluntarias, en restos de cultivos o en tubérculos infectados utilizados para semilla (Adolf et al., 2020).

No se conocen variedades que presenten resistencia completa al tizón temprano de la papa, pero sí existen algunos cultivares que presentan una menor susceptibilidad (Aglave, 2019). Töfoli et al. (2015) mencionan algunos cultivares que presentarían algún tipo de resistencia a la enfermedad como Ibituacú, Aracy, Aracy Ruiva, Éden entre otros.

Según indican Johanson y Thurston (1990) los cultivares con ciclo de madurez temprana son más susceptibles al progreso de la enfermedad que los de madurez tardía, no existiendo diferencias en su incidencia. A medida que las plantas envejecen, se hacen más susceptibles al ataque del patógeno, de lo que se deduce la existencia de algún tipo de resistencia asociada a la juvenilidad de la planta (Aglave, 2019). Por esto, es fundamental orientar las estrategias de control de la enfermedad en etapas de crecimiento de tubérculos donde los daños foliares producirán mayores pérdidas de rendimiento en comparación con infecciones más tardías en la temporada (Yellareddygar et al., 2016).

Para su prevención son utilizados fungicidas de manera preventiva, siendo algunos de estos los mismos que los recomendados para el tizón tardío (Aglave, 2019). Ejemplos de estos pueden ser el principio activo Mancozeb perteneciente al grupo químico de los ditiocarbamatos y el Clorotalonil del grupo químico de los cloronitrilos, ambos fungicidas de contacto utilizados en estrategias de acción preventiva. El objetivo es evitar la ocurrencia de infecciones mediante aplicaciones regulares, generalmente cada 7 a 10 días (Adolf et al., 2020).

Una vez ocurrida la infección, los fungicidas más utilizados para su control son los pertenecientes al grupo químico de las estrobilurinas (Adolf et al., 2020), los cuales frecuentemente son combinados o usados en rotación con principios activos del grupo de las carboxamidas. A pesar de tener un modo de acción similar los fungicidas de estos grupos no presentan resistencia cruzada (Adolf et al., 2020), sin embargo, por su acción en un único sitio de acción presentan un alto riesgo de generación de resistencia (Adolf

et al., 2020), existiendo reportes a nivel mundial que confirman la aparición de resistencia en *A. solani* y *A. alternata* hacia el grupo químico de las estrobilurinas (Aglave, 2019; Töfoli et al., 2015). Existen estudios en cultivo de papa donde se encontraron tolerancias de *A. alternata* hacia el principio activo difenoconazol (Yang et al., 2019).

3.4.3 Problemas con el uso de productos químicos en la producción de alimentos

3.4.3.1 Problemas ambientales

Los productos fitosanitarios poseen variadas formas de acción, distintos niveles de toxicidad y diversas composiciones por existir variados grupos químicos que los conforman, cuyas características pueden ser muy diferentes. Algunos son solubles en agua o solubles en lípidos, otros se asocian a las partículas del suelo y otros son móviles en este. Su persistencia en el ambiente es variable, pudiendo ser degradados por diferentes vías como la química, biológica o por acción de la luz (Badii & Landeros, 2007).

Los fungicidas se han encontrado como fuentes de contaminación de diversos recursos, dentro de los cuales están comprendidos los hídricos (superficiales y subterráneos) a los que acceden por aplicación directa, provenientes de la erosión del suelo, o por las precipitaciones ocurridas (Badii & Landeros, 2007). Los recursos edáficos, cuya contaminación ocurre debido a que existen agroquímicos que por la polaridad de sus moléculas pueden adherirse a las partículas del suelo, pudiendo persistir durante años e interactuando con el medio hasta ser degradados, lo cual depende de la vida media que tenga el producto y de la asiduidad en su aplicación (Badii & Landeros, 2007).

Los ecosistemas también pueden verse alterados debido a los efectos nocivos que ejercen sobre animales como mamíferos, peces, insectos, y por su afectación a la microbiota del suelo (Badii & Landeros, 2007). Los agroquímicos han provocado la modificación de los ecosistemas, generando desbalances ecológicos y pérdidas de biodiversidad debido a que, por su falta de selectividad, tienen efecto sobre los organismos benéficos no blancos que cumplen funciones relevantes en el control biológico de plagas y enfermedades, provocando el aumento de relevancia de plagas secundarias (Badii & Landeros, 2007).

Asimismo, su aplicación desmedida, repetitiva y con falta de regulación ha provocado la evolución de las poblaciones de patógenos y de insectos plaga, produciendo la aparición de razas resistentes a muchos de los principios activos utilizados (Badii & Landeros, 2007).

3.4.3.2 Riesgos en la salud de los trabajadores rurales y de los consumidores finales

Existen evidencias que vinculan el uso de agroquímicos con la aparición de enfermedades como cáncer, disfunción reproductiva, diabetes, supresión del sistema inmunológico, dermatitis y otras, pudiendo llegar a causar la muerte (Badii & Landeros, 2007).

Las principales vías por las que los trabajadores rurales se encuentran expuestos a los agroquímicos son la exposición dérmica, la inhalación o la ingestión. La intoxicación

puede ser del tipo severa, la que ocurre por la exposición a productos químicos muy tóxicos por un corto lapso de tiempo, o una intoxicación del tipo crónica, que ocurre por una exposición a niveles relativamente bajos de un químico por un largo período de tiempo en dosis que no son letales en el corto plazo (Badii & Landeros, 2007). Maroni et al. (1999, como se cita en Badii & Landeros, 2007) mencionan que las formas de exposición de los consumidores a los agroquímicos pueden ocurrir tanto por deriva, como también encontrarse en el agua para consumo o en los alimentos, habiéndose documentado su presencia en estos dos últimos. Los agroquímicos en los alimentos pueden provenir de la aplicación directa o de la acumulación de residuos ocurrida a lo largo de las cadenas tróficas (Badii & Landeros, 2007).

3.5 Estrategias alternativas para el control de enfermedades.

Una alternativa al control químico de enfermedades es el uso de bioinsumos (Altier et al., 2020). Se trata de productos de origen biológico que están definidos como “todo producto que consista en el propio organismo, sea de origen o adopte mecanismos de animales, vegetales o microorganismos, destinado a ser utilizado en la producción animal, vegetal y fúngica” (Ley n° 20.212, 2023, artículo 237).

Estos tienen acción benéfica sobre el estado sanitario o de nutrición de las plantas, gracias al control de enfermedades, plagas, y a la mejora en la disponibilidad de nutrientes que provocan. Comprenden bioplaguicidas o biofertilizantes que protegen a las plantas por distintos mecanismos, como ser parasitismo, competencia o antibiosis frente a patógenos y plagas, o induciendo al vegetal a la generación de resistencia (Altier et al., 2023). Están integrados por hongos, bacterias o virus; enemigos naturales de los insectos plagas que efectúan su control mediante tácticas como, por ejemplo, la depredación o la parasitación; y compuestos botánicos derivados de extractos vegetales (Anfuso et al., 2023).

Existen numerosas evidencias que demuestran resultados de la efectividad de la aplicación de bioinsumos en el control de enfermedades y plagas en diferentes cultivos, así como en la mejora del crecimiento de las plantas. Los modos de acción son muy amplios y variados, difiriendo según cuál sea el compuesto, insecto o microorganismo al que se haga referencia.

3.5.1 Bioinsumos en el cultivo de Papa.

Se han demostrado los efectos benéficos que poseen múltiples bioinsumos en el cultivo de papa, tanto para el control de enfermedades como por las mejoras que provocan en el crecimiento del cultivo. Uno de los más estudiados es el hongo perteneciente al género *Trichoderma* que posee efectos de control frente a un gran número de patógenos, existiendo varias especies con efectos positivos.

Según estudios realizados por Faberi et al. (2022) *Trichoderma harzianum* compete con *Alternaria* spp. por espacio y nutrientes disminuyendo los niveles de enfermedad in vivo. Se demostró en estudios in vitro que las especies de *Trichoderma* poseen propiedades antibióticas con acción antifúngica, y capacidad de producir compuestos volátiles que ejercen efectos inhibidores del crecimiento en *Alternaria* spp.

También fue probada la disminución en la incidencia de *A. solani* y *A. alternata* en el cultivo de papa en parcelas donde fue aplicado *T. harzianum*, disminuyéndose el progreso de la enfermedad y obteniéndose efectos de protección similares a los que se obtuvieron con la aplicación de fungicidas de síntesis química (Faber et al., 2022).

Investigaciones muestran resultados in vitro de porcentajes entre 83% y 87% de inhibición de *P. infestans*, y aumentos en el tamaño de plantas de papa al aplicárseles distintos consorcios de especies de Trichoderma (Bustamante, 2015).

El género *Bacillus* destaca por su eficacia como agente de biocontrol para gestionar enfermedades fúngicas como el tizón tardío (*P. infestans*) y el tizón temprano (*Alternaria* spp.). Un claro ejemplo es el estudio de Kim et al. (2021), que demostró que la cepa AFB2-2 de *Bacillus velezensis* suprimió eficazmente el desarrollo del tizón tardío en tomate, alcanzando una reducción del 84% en la severidad de la enfermedad en condiciones de invernadero. Este control se atribuye principalmente a los metabolitos antifúngicos producidos por la bacteria y a su capacidad para inducir resistencia sistémica en la planta.

Asimismo, Bai et al. (2023) demostraron en sus estudios en laboratorio que la cepa HN-Q-8 de esta especie tiene efectos que inducen a las plantas de papa a activar sus mecanismos de defensa contra *A. Solani*, teniendo a su vez efectos promotores del crecimiento en las plantas. Dicho género de bacterias es utilizado para el control de la Sarna Negra de la papa (*Rhizoctonia solani*) (Asaturova et al., 2021). Otra especie del género con reportes de efectos antagonistas sobre *P. infestans* es *Bacillus subtilis*. Alfiky et al. (2022) en sus estudios en laboratorio mencionan que el principal efecto de la cepa EG21 de dicho género se encuentra dado por los metabolitos que produce y no por la acción de las bacterias en sí mismas. Otros autores como Kumbar et al. (2019) hacen mención el efecto de control en esta enfermedad tanto in vitro como a campo que tiene este género.

Yanes y Bajsa (2016) mencionan la utilización *Pseudomonas fluorescens*, por sus capacidades antibióticas, gracias a que inducen la generación de resistencia en las plantas, y a su efectiva competencia por recursos con los patógenos, cumpliendo también el rol de disponibilizadoras de nutrientes en el suelo. Un ejemplo es el control de la Sarna común de la papa (*Streptomyces scabies*) mediante la utilización de *Pseudomonas fluorescens*, la que actúa reduciendo la expresión del compuesto Taxtomina A (fitotoxina producida por *Streptomyces* spp.), disminuyendo así su virulencia, aunque sin disminuir su población en el suelo, logrando aumentos del 46% en el peso de tubérculos (Arseneault et al., 2015).

3.6 Microorganismos eficientes nativos (MEN) y Microorganismo Efectivos (EM)

3.6.1 Definición y composición

Los MEN en Uruguay pueden catalogarse como la adaptación de la tecnología de Microorganismos Efectivos (EM) a las condiciones ambientales del país, ya que para su elaboración se recolectan microorganismos nativos uruguayos de los suelos, los que son

seleccionados según sus aptitudes y reproducidos con el fin de aprovechar al máximo sus capacidades (Echeverri-borda et al., 2022).

Los EM fueron descubiertos por el profesor Teruo Higa de la universidad de Ryukyus, Japón (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2009). Son un grupo compuesto por 4 tipos de microorganismos, bacterias, hongos, actinobacterias y levaduras, integrados por más de 15 especies distintas que conviven en sinergia aportando beneficios en varios terrenos como la agricultura, descontaminación de recursos hídricos y mejoras en la salud de los animales (Lázaro, 2014). Son promotores del crecimiento vegetal utilizando como sustrato exudados de raíces, materia orgánica, y compuestos producidos por ellos mismos, aceleran la descomposición de la materia orgánica, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y efectúan el control de patógenos, entre otras de sus tantas capacidades y usos (BID, 2009).

Según Lázaro (2014), en su descripción de los EM, cada microorganismo o grupo de ellos provee distintos beneficios individuales, viéndose estos aumentados por la interacción que ocurre entre sí.

Las bacterias ácido lácticas aceleran la descomposición de la materia orgánica produciendo ácido láctico utilizando como sustrato los productos de las levaduras y otros microorganismos del complejo, con la capacidad de disminuir la aparición de patógenos por la acción esterilizante del ácido láctico (Lázaro, 2014). Las levaduras son hongos unicelulares productores de enzimas, hormonas y compuestos químicos (metabolitos) que son utilizados por los demás microorganismos del conjunto, así como por otros microorganismos del suelo y por las plantas. Producen sustancias antimicrobiales que permiten el control de patógenos. Los hongos filamentosos son descomponedores de la materia orgánica y son capaces de producir sustancias antibióticas que limitan el crecimiento de patógenos, siendo los principales géneros *Penicillium* y *Aspergillus*. Por último, las actinobacterias que se encuentran entre la clasificación de hongo y bacteria, poseen la capacidad de producir compuestos antimicrobianos con efecto supresor de patógenos utilizando la materia orgánica presente y compuestos de otros microorganismos del complejo como sustrato (Lázaro, 2014).

Los EM no poseen efectos negativos hacia la salud humana, animal o hacia el medio ambiente, siendo un producto natural sin modificaciones genéticas (BID, 2009).

3.6.2 Mecanismos de acción y usos en la protección vegetal

Su aplicación en los cultivos debe efectuarse periódicamente a fin de aumentar su población en el medio, ya que al ingresar a un nuevo ambiente compiten con los microorganismos autóctonos presentes. Está recomendado que en suelos se apliquen en dosis del 10% con asiduidad quincenal, utilizándolos de manera preventiva para lograr un mejor efecto en la protección de los cultivos (BID, 2009). Las dosis aplicadas pueden disminuir con el tiempo y finalmente cesar sus aplicaciones siempre y cuando se adicione materia orgánica al suelo que actúe como sustrato para su funcionamiento, ya que van colonizando el medio progresivamente. El tiempo que puede demandarles establecerse en

el suelo dependerá del tipo de suelo y de las condiciones ambientales, siendo suficiente para algunos casos una única aplicación y varias para otros (Higa & Parr, 1994).

Su aplicación foliar también es utilizada a modo preventivo para el control de enfermedades en dosis recomendadas de 2% de EM diluidos en agua sin cloro, con aplicaciones semanales, promoviendo el desarrollo de hongos entomopatógenos y agentes de control biológico (BID, 2009).

Según lo publicado por el BID (2009) una aplicación excesiva tanto en dosis como en frecuencia no genera repercusiones negativas para los cultivos ni para el suelo.

En lo referido a la compatibilidad de los microorganismos del suelo con la aplicación de agroquímicos, existen estudios que mencionan que algunos químicos poseen impactos negativos sobre la biología del suelo, otros no influyen en ella y otros la benefician por su aporte de carbono y nitrógeno al suelo. Los principios activos Benomil, Captan y Clorotalonil (fungicidas) tienen efecto inhibitorio en los microorganismos del suelo, aunque también pueden promover el crecimiento en otros microorganismos (Chaves-Bedoya et al., 2013). Por otro lado, Cuervo (2007, como se cita en Castañeda et al., 2024) indica que el glifosato tiene un impacto negativo principalmente sobre bacterias, pero también sobre actinobacterias y hongos. De esto se desprende que los agroquímicos influyen en la composición de las poblaciones de microorganismos que habitan los suelos, modificando la cantidad de especies presentes y sus proporciones dentro de la comunidad.

Tanto los EM como los MEN, por ser microorganismos compuestos por bacterias, hongos filamentosos, levaduras y actinobacterias que habitan los suelos pueden verse afectados por el uso de agroquímicos.

Los EM han sido probados como promotores del crecimiento vegetal. Calero et al. (2019) midieron la influencia de la aplicación de EM a las semillas previo a la siembra junto con aplicaciones foliares de EM en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a campo, donde encontraron incrementos en los valores de diámetro de tallo, altura de plántula, número de hojas por planta y número de plantas germinadas por m².

En estudios efectuados en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) por Pimentel (2016) se probó que la aplicación de EM vía foliar al 10% combinado con 30 ton/ha de bokashi aumenta los rendimientos totales por superficie y los rendimientos en tubérculos de primera categoría, aumenta el peso promedio de tubérculos y la altura de plantas, de manera significativa en función del tratamiento control sin aplicaciones y de otros tratamientos en que se aplicaron por separado EM y bokashi.

Castellanos et al. (2020) probaron la efectividad para controlar severidad de *Botrytis cinerea* (moho gris), *Mycosphaerella fragariae* (Tul.) Lindau (viruela), y *Xanthomonas fragariae* (mancha angular de la hoja) en el cultivo de frutilla mediante la aplicación por aspersión de microorganismos de Montaña (un tipo de EM con microorganismos adaptados de la región), diferenciándose estos significativamente de los resultados obtenidos con la aplicación de principios activos de origen químico.

Los MEN, según lo informado por Piedrabuena (2003, como se cita en Flores et al., 2013) modifican la micro y macro flora de los suelos y promueven el equilibrio natural de estos, convirtiéndolos en suelos supresores de enfermedades que inhiben el crecimiento de patógenos.

También se ha buscado determinar la compatibilidad del uso de EM en conjunto con otros microorganismos benéficos conocidos. Como ejemplo de esto Flores et al. (2013) estudiaron la eficacia de la aplicación de EM junto con el hongo *Trichoderma* spp. y compost en el control de la incidencia de los patógenos *Sclerotium rolfsi* y *Fusarium* spp. en el cultivo de pimentón (*Capsicum annum*), donde se reportó su efectividad disminuyendo la incidencia de ambas enfermedades, siendo sus valores de 5% y 6% respectivamente en los tratamientos donde se aplicó EM junto a *Trichoderma* spp. y compost, y 22% en el tratamiento control.

Esta variedad de estudios demuestra varios de los beneficios que tienen los MEN para los vegetales y para la agricultura, surgiendo como una alternativa a la producción convencional sobre la cual es interesante profundizar.

4 Materiales y métodos

4.1 Ubicación del experimento.

El estudio se realizó durante el ciclo de cultivo de papa de otoño entre el 1 de marzo y el 14 de junio de 2024 en las instalaciones del Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía (Fagro) de la Universidad de la República (UDELAR), ubicado en Camino Folle Km 35.500 en la localidad de Progreso, Canelones, Uruguay.

4.2 Tratamientos evaluados, diseño, instalación y manejo

El factor evaluado fue el producto aplicado para el control de tizones. Los tratamientos evaluados fueron:

- T0- tratamiento control, donde se aplicó únicamente agua en la misma frecuencia en que se efectuaron aplicaciones en los demás tratamientos.
- T1- tratamiento con aplicación periódica de MEN al 10 % vía foliar (Tabla 1)
- T2- tratamiento con aplicación periódica de MEN al 15% vía foliar (Tabla 1)
- T3- tratamiento con aplicación de MEN al 10% vía foliar y aplicación de fungicidas de origen químico según condiciones predisponentes para el desarrollo de las enfermedades (Tabla 1).

Se utilizó la variedad INIA Arequita. Se trataba de semilla básica en estado de brotación apical. El cultivo se sembró en canteros equipados cada uno con una cinta de riego por goteo (Anexo A). Los suelos donde se instaló el ensayo corresponden a Brunosoles (Anexo B). A su vez se realizó una fertilización de base de acuerdo con los requerimientos del cultivo (Tabla 1).

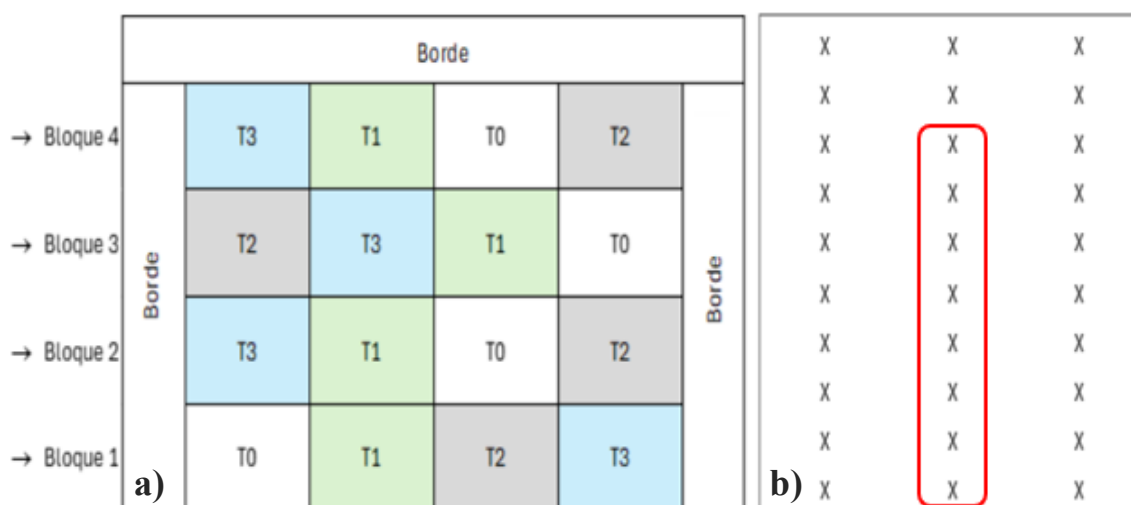
Durante el ciclo productivo fueron efectuadas 5 aplicaciones a cada uno de los tratamientos (Tabla 1). Este número es menor al que fue planificado inicialmente debido a que la frecuencia en la ocurrencia de precipitaciones impidió en más de una oportunidad el ingreso al cuadro. Las aplicaciones se realizaron con una pulverizadora de mochila, lo que permitió aleatorizar los tratamientos en cada bloque (bloques transversales a la dirección de los canteros) y aplicar de manera dirigida según tratamientos.

Tabla 1
Manejo del cultivo

Fecha	Tarea
01/03	Plantación y aplicación de fertilizante al surco (142kg/ha de 7/40 y 60 kg UREA de liberación lenta (46/0/0)
05/04	Aplicación Herbicidas: Irvix (P.A: Haloxifop-p-metil) (300 cc/100 l) + Sencor (P.A: Metribuzina) (130 cc/100 l)
	Primera aplicación de MEN al 10% a todos los tratamientos del ensayo
10/04	Segunda aplicación de MEN de acuerdo a tratamientos
	Tratamiento 3 (integrado) se aplica MEN a 10%
29/04	Tercera aplicación MEN según tratamiento
	Tratamiento 3 se aplica Mancozeb (600 g/100l) + Fanavid 85 (P.A: Oxiclورو de cobre) (600 g/100 l)
07/05	Cuarta aplicación MEN según tratamiento
	Tratamiento 3 se aplica Only (P.A: Cimoxanil) (30 cc/100l) + Fanavid 85 (P.A: Oxiclورو de cobre) (600 g/100 l)
10/05	Quinta aplicación MEN según tratamiento
	Tratamiento 3 se aplica Only (P.A: Cimoxanil) (30 cc/100l) + Fanavid 85 (P.A: Oxiclورو de cobre) (600 g/100 l)

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 bloques. Cada parcela en el bloque estuvo conformada por 3 canteros contiguos con 10 plantas cada uno (Figura 6b). El marco de plantación fue de 1,6 m * 0,2 m entre plantas, con separación de 1 metro entre bloques, resultando en una densidad de 3,13 plantas m⁻² (Figura 6b).

Figura 6
Croquis del ensayo



Nota. a) Ubicación de tratamientos. b) Disposición de plantas dentro de cada parcela. El recuadro rojo indica las plantas que fueron evaluadas para determinar incidencia y severidad de enfermedades y producción por planta.

Los microorganismos utilizados para este experimento fueron obtenidos de la Cooperativa Entrebichitos, quienes efectúan análisis periódicos de caracterización a sus lotes de MEN a fin de mantener estables las proporciones de microorganismos en su producto (Echeverriborda et al., 2022) (Tabla 2).

Tabla 2
Caracterización de MEN utilizados correspondientes a la Cooperativa Entrebichitos

Concentración MEN líquido	
Bacterias (UFC mL ⁻¹)	
Heterótrofas totales	2,1 x 10 ⁷
<i>Lactobacillus</i> spp.	9,3 x 10 ⁸
Actinobacterias	3,4 x 10 ⁸
Hongos	
Levaduras	5,1 x 10 ⁷
Hongos filamentosos	< 1,0 x 10 ³

Nota. Tabla extraída de Echeverriborda et al. (2022).

4.3 Variables evaluadas

4.3.1 Emergencia y número de tallos

El día 41 después de la siembra se relevó el número de plantas emergidas por parcela. En la misma fecha se contabilizaron y registraron los números de tallos por planta emergida.

Hasta dicho momento los tratamientos no habían sido asignados a las diferentes parcelas.

4.3.2 Cuantificación de enfermedades foliares

Las evaluaciones para la cuantificación de enfermedades de Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y temprano (*Alternaria* spp.) se realizaron sobre 8 plantas del cantero central de cada parcela.

Se evaluó incidencia y severidad de ambas enfermedades con frecuencia semanal desde el 19/04/2024 hasta el 24/05/2024. Para medir severidad en planta de *Phytophthora infestans* se utilizó la escala propuesta por Cruickshank et al. (1982), quienes efectuaron una representación gráfica de la escala de Malcolmson del año 1976 (Anexo C). Las observaciones se realizaron sobre el estrato medio y superior de la planta, seleccionando una hoja representativa del conjunto del estrato. Para medir severidad en hoja fue utilizada la escala de James (1971) (Anexo D). Para medir la severidad de *Alternaria* spp. se utilizó la escala de Duarte et al. (2013) (Anexo E). Con los datos de severidad se calculó el área debajo de la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) para ambas enfermedades.

4.3.3 Medidas de Producción y Rendimiento

Para determinar la producción por planta, se cosecharon y se pesaron los tubérculos de las 8 plantas del cantero central de cada parcela. Esto se realizó de forma manual y planta a planta a fin de tener la información diferenciada individualmente. Los tubérculos se clasificaron en 4 categorías en función de su peso; < 40g considerados descarte a nivel comercial, entre 40 y 80 g que se utiliza como tubérculo semilla en futuros cultivos, entre 81 y 200 g, y > 200 gramos, siendo estas 2 últimas categorías las que componen la producción con calidad comercial. También se clasificaron en la categoría descartes los tubérculos con defectos que impedían su comercialización por motivos de rajado, verdeado y ataques de plagas.

Se calculó para cada planta la producción total y comercial, el número total de tubérculos total y de calidad comercial y el peso promedio de tubérculos.

Se determinó el rendimiento total y comercial por parcela y por tratamiento.

4.4 Variables climáticas

Se relevaron datos de precipitaciones, humedad relativa y temperatura. Los datos presentados fueron obtenidos del Banco de Datos Agroclimáticos de INIA, correspondientes a la estación INIA Las Brujas por ser esta la más cercana al ensayo.

4.5 Análisis estadístico

La incidencia de *Phytophthora infestans* y *Alternaria* spp. se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados Mixtos asumiendo distribución binomial y función de enlace logit, incorporando efectos fijos de tratamiento, fecha y su interacción, y efectos aleatorios de bloque y parcela para modelar la variabilidad experimental. Los modelos fueron ajustados con el paquete glmmTMB, y la significancia de los efectos fijos se evaluó mediante análisis de varianza tipo II utilizando el paquete car. La validez de los modelos se verificó mediante gráficos de residuos frente a valores ajustados e histogramas generados con ggplot2, asegurando el cumplimiento de los supuestos sobre los residuos.

El Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC) para ambas enfermedades se analizó con GLMM utilizando una distribución binomial negativa (nbinom1) con enlace log para abordar la sobredispersión. Se incluyeron efectos fijos de tratamiento y día numérico (como factor), efectos aleatorios de bloque y la interacción bloque:tratamiento, junto con una fórmula de dispersión dependiente del tratamiento. La significancia se evaluó con análisis de varianza tipo II (car), y los supuestos del modelo se comprobaron mediante gráficos de residuos generados con ggplot2. Las comparaciones múltiples para incidencia y AUDPC se realizaron con la prueba de Tukey a través del paquete emmeans, generando medias marginales ajustadas con letras distintas para diferencias significativas ($p < 0.05$) mediante la función cld del paquete multcomp.

Para explorar las relaciones multivariadas entre variables de rendimiento (totales y relativos) y enfermedad, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con variables numéricas estandarizadas, utilizando la función prcomp. El PCA se aplicó por separado a conjuntos de datos de rendimientos totales y relativos combinados con variables de enfermedad, diferenciando por tratamiento, y se evaluó la contribución de las variables a los componentes principales. Los análisis se llevaron a cabo en R, empleando paquetes como glmmTMB, emmeans, multcomp, car, ggfortify y factoextra del software estadístico R.

5 Resultados

5.1 Caracterización climática de la estación de crecimiento

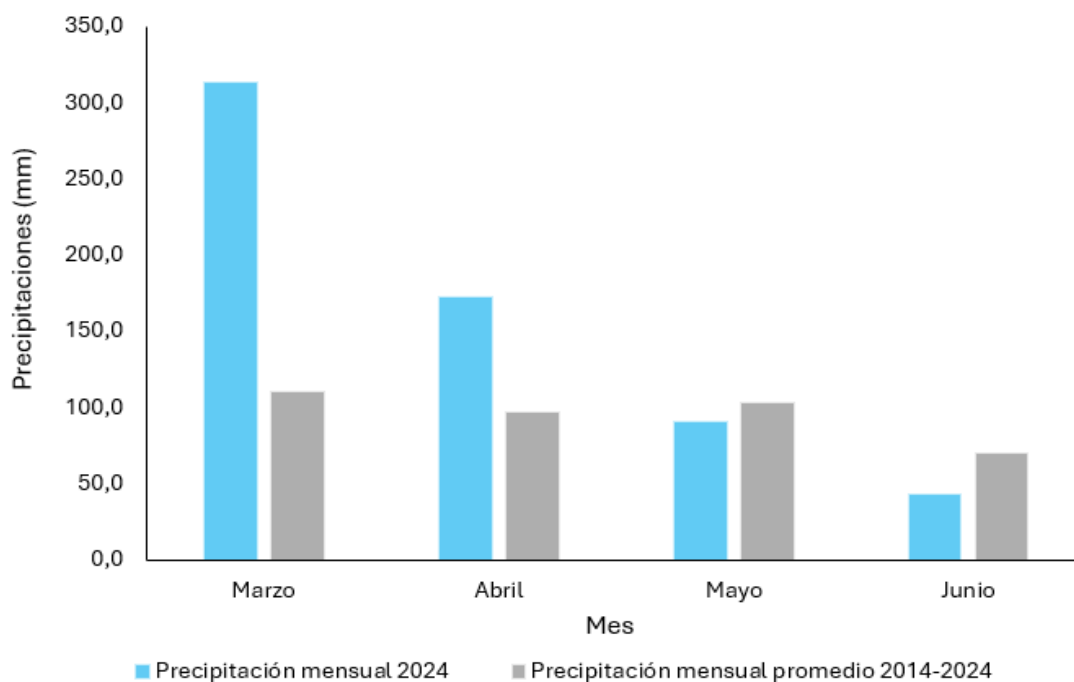
Se presentan las variables climáticas relevadas a fin de determinar si las condiciones climáticas ocurridas en el período en que se instaló el ensayo fueron propicias para el desarrollo de las enfermedades.

5.1.1 Precipitaciones

Las precipitaciones ocurridas en el mes de marzo fueron casi el triple que las del promedio de los últimos 11 años (período 2014-2024), y las registradas en abril fueron casi el doble. En el mes de mayo las precipitaciones de 2024 fueron similares que las del promedio 2014-2024, y en el mes de junio fueron 40% menor (Figura 7) (Anexo F).

Figura 7

Precipitaciones mensuales del período 01/marzo-30/junio 2024 y marzo-junio 2014-2024



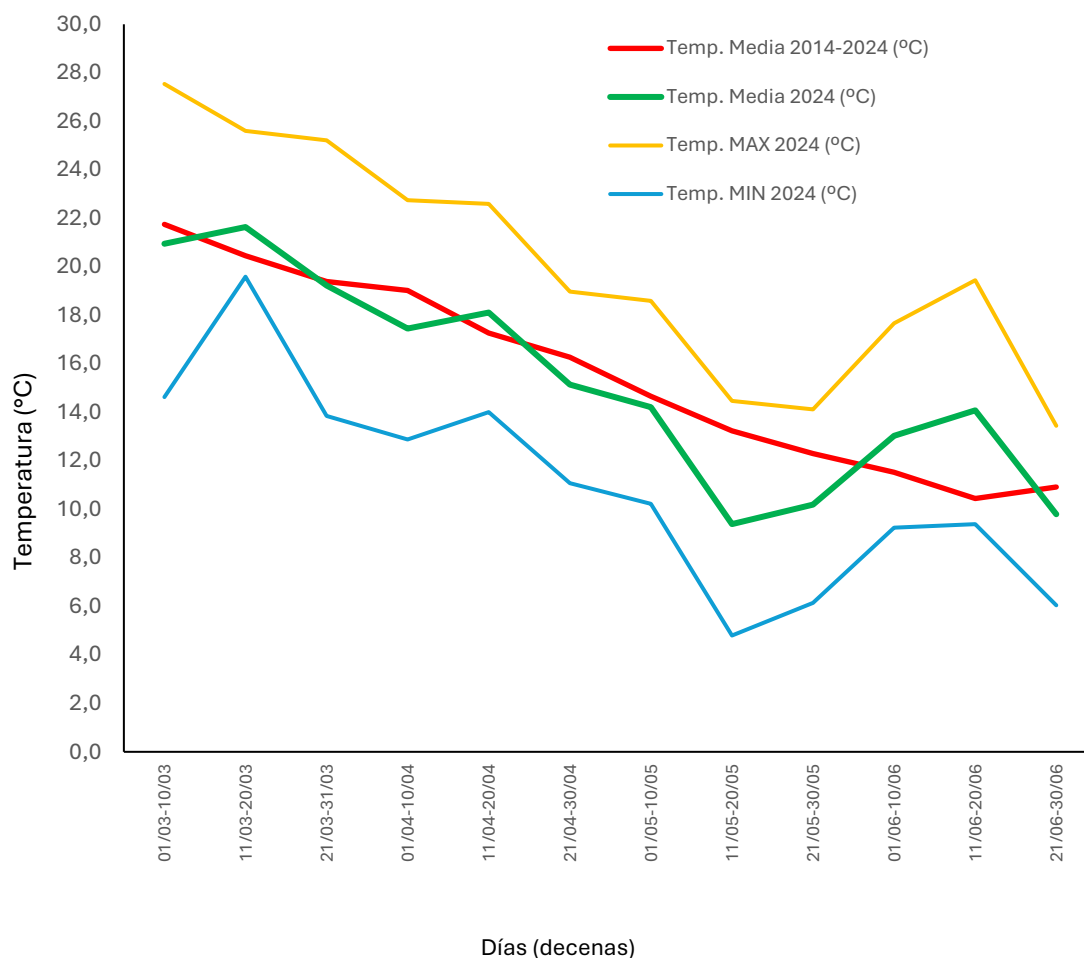
Nota. Adaptado de datos de banco de datos agroclimáticos de INIA (s.f.a).

5.1.2 Temperatura

En el mes de mayo (entre los días 12 y 27) se presentaron temperaturas menores respecto a las del histórico (2014-2024), y a mediados del mes de junio al momento en que se cosechó el cultivo se registraron temperaturas mayores a las históricas. En general las temperaturas medias ocurridas durante el ensayo no presentaron diferencias importantes con las temperaturas del período 2014-2024 (Figura 8).

Figura 8

Temperaturas promedio en el período 01/marzo-30/junio 2024 y marzo-junio período 2014-2024



Nota. Adaptado de datos de banco de datos agroclimáticos de INIA (s.f.a).

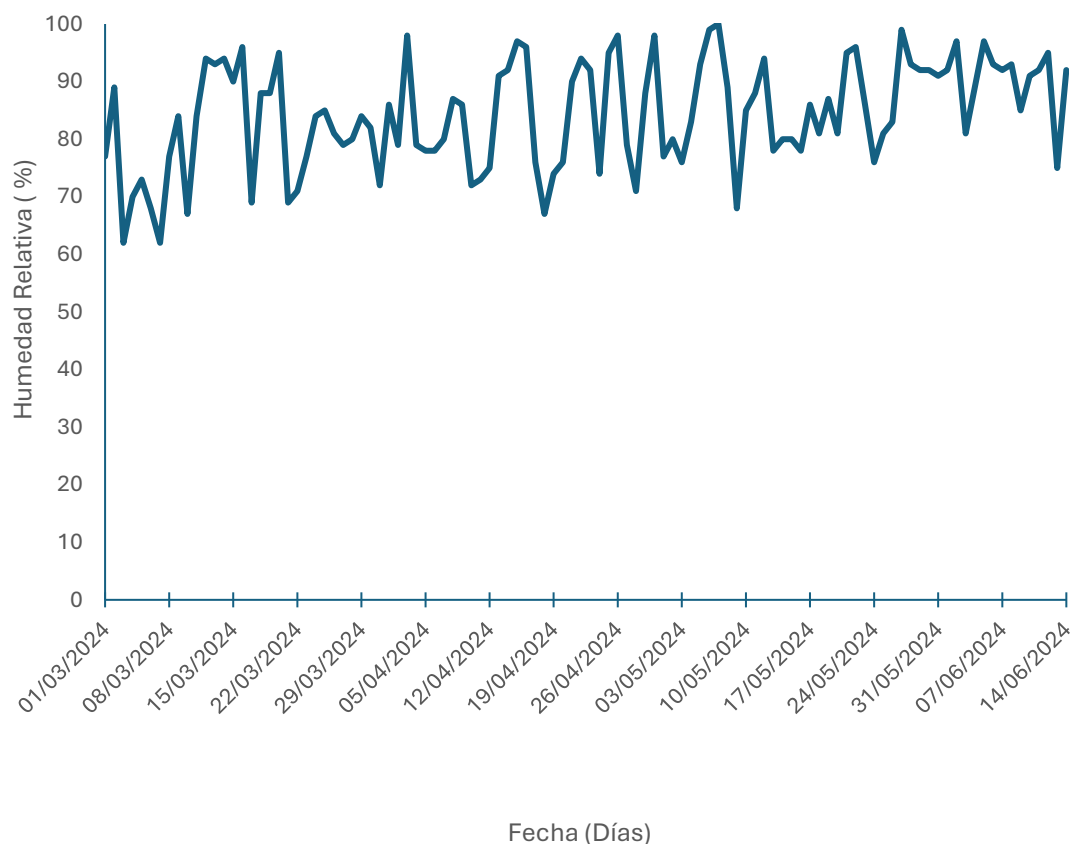
5.1.3 Humedad Relativa

La humedad relativa fue superior al 80% en gran parte de los días entre mediados de abril y finales de mayo, período en que se esperaba visualizar los síntomas de las enfermedades estudiadas (Figura 9).

Analizados los datos de precipitaciones, temperatura y humedad relativa en su conjunto las condiciones ambientales fueron propicias para el desarrollo de las dos enfermedades estudiadas. Esto se constató en campo con la aparición de ambas en el cultivo.

Figura 9

Porcentaje de humedad relativa (HR%) en el período 01/marzo-14/junio 2024



Nota. Adaptado de datos de banco de datos agroclimáticos de INIA (s.f.a).

5.2 Emergencia y tallos por planta

La emergencia de plantas se consideró a los 45 días de instalación. El ensayo presentó un 74% de emergencia de plantas y un promedio de 1,8 tallos por planta. El rango de tallos por planta fue entre 1 y 3, donde la mayoría de las plantas no alcanzó a tener 2 tallos, acorde a la edad fisiológica a la siembra.

5.3 Evolución de las enfermedades foliares

5.3.1 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Los síntomas de tizón tardío se manifestaron en el cultivo a partir de los 64 días después de la siembra.

Según el análisis estadístico para la variable incidencia existieron efectos significativos para los tratamientos aplicados (p -valor 3.23×10^{-6}) y para las fechas (p -valor 2.2×10^{-16}). Según las fechas evaluadas, se observaron diferencias significativas entre ellas, en las que la incidencia va en aumento hasta llegar casi al 100% en las últimas dos fechas de evaluación (Tabla 3).

En lo referido a los tratamientos, se observa que únicamente el T3 logró disminuir con diferencias estadísticamente significativas el porcentaje de incidencia en función de T0. (Tabla 4).

Tabla 3

Proporción de incidencia de tizón tardío según fecha de evaluación

Fecha	Incidencia
19/4/2024	0.05 (0,021) A
24/4/2024	0.22 (0,038) B
3/5/2024	0,44 (0,047) C
9/5/2024	0.87 (0,031) D
16/5/2024	0.97 (0,014) E
24/5/2024	0,99 (0,007) E

Nota. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

Tabla 4

Proporción de incidencia de tizón tardío según tratamiento para el promedio de todas las fechas evaluadas

Tratamiento	Incidencia
T0	0.84 (0,04) A
T1	0.70 (0,06) AB
T2	0.83 (0,04) A
T3	0.50 (0,071) B

Nota. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

Para describir el desarrollo de la enfermedad se cuantificó la severidad tanto en planta entera como en hoja. Se presenta la información del AUDPC de la severidad en hoja, por ser esta representativa del comportamiento observado de la enfermedad en el campo durante el experimento (Tabla 5).

En el gráfico de AUDPC de la evolución de la enfermedad en hoja para *P. infestans* en función del tiempo (Anexo G) se visualiza que los tratamientos con

aplicación exclusiva de MEN (T1 y T2) presentaron una curva similar a la del tratamiento control (T0), pero sus valores se situaron por debajo de esta. Mientras que el tratamiento de control integrado (T3) presentó un menor desarrollo, con una menor pendiente de la curva (Anexo G).

Los valores de AUDPC (Tabla 5) permiten visualizar que a la fecha 24/4/2024 los tratamientos T1 y T3 fueron menores que en el tratamiento control (T0) con diferencias estadísticamente significativas. En todas las evaluaciones siguientes, si bien la cantidad de enfermedad de T1, T2 y T3 fue menor que la del tratamiento control, solo T3 presentó diferencias significativas. Los porcentajes de reducción de enfermedad respecto a T0 en la última fecha relevada (24/5/2024) fueron, 17% y 24% para T1 y T2 respectivamente, y un 94% para T3 siendo este último el único que presentó diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 5

AUDPC de severidad de tizón tardío en hoja por tratamiento

AUDPC para severidad de tizón tardío en hoja					
Fecha	DDS	T0-Control	T1-Men 10%	T2-Men 15%	T3-Integrado
19/4/2024	50	0	0	0	0
24/4/2024	55	1,6 (0,6) B	0,3 (0,1) A	1,7 (0,5) B	0,4 (0,1) A
3/5/2024	64	9,7 (2,2) B	4,0 (1,2) AB	7,1 (1,7) B	1,6 (0,5) A
9/05/2024	70	35,8 (7,4) B	20,9 (4,6) B	28,1 (5,7) B	4,1 (0,9) A
16/5/2024	77	142,7 (29,2) B	99,1 (21,1) B	101,9 (20,4) B	12,4 (2,6) A
24/5/2024	85	387,8 (79,1) B	321,5 (68,3) B	293,8 (58,6) B	23,4 (4,9) A

Nota. DDS indican los días después de siembra. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

5.3.2 Tizón temprano (*Alternaria* spp.)

Los síntomas de tizón temprano se manifestaron en el cultivo a partir de los 55 días desde la siembra.

Según el análisis estadístico, para la variable incidencia solo hubo efecto significativo para la fecha (p-valor $2e^{-16}$) y no para los tratamientos aplicados (p-valor 0.333305) y su interacción (p-valor 0.9992).

En este sentido se observa que en las dos primeras fechas fue donde hubo menor incidencia, y que luego esta aumenta a valores cercanos a 1, no diferenciándose entre los diferentes momentos de evaluación. (Tabla 6).

Tabla 6

Proporción de incidencia de tizón temprano según fecha de evaluación

Fecha	Incidencia
19/4/2024	0.23 ($4.18e^{-02}$) A
24/4/2024	0.23 ($4.18e^{-02}$) A
3/5/2024	0,71 ($4.58e^{-02}$) B
9/5/2024	0.99 ($9.22e^{-02}$) B
16/5/2024	0.99 ($1.33e^{-01}$) B
24/5/2024	1.00 ($3.00e^{-07}$) B

Nota. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre las fechas (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

En lo referido a la evolución de AUDPC de la severidad, el comportamiento que se observa es similar al que se presentó para *P. infestans* (Anexo H). El tratamiento T2 tiene una curva de crecimiento similar a T0 situándose por debajo de este en todo momento. El tratamiento T3 presentó un desarrollo más lento de la enfermedad visualizándose esto en su curva la que tiene una pendiente menor a la de los demás tratamientos (Anexo H).

En la tabla 7 se presentan los valores de AUDPC referidos a la severidad de *Alternaria* spp.

En la evaluación efectuada el 24/4/2024 todos los tratamientos registraron menores niveles de enfermedad que T0 con diferencias estadísticamente significativas. Desde el 9/5/2024 en adelante, solo T3 presentó valores menores estadísticamente significativos con respecto al control.

En la última fecha de evaluación, el 24/5/2024, los tratamientos T2 y T3 presentaron una reducción de los porcentajes de enfermedad del 24% y 83% respectivamente, siendo solo esta última significativa (Tabla 7).

Tabla 7*AUDPC de tizón tardío en hoja por tratamiento*

AUDPC para severidad de <i>Alternaria</i> spp.					
Fecha	DDS	T0-Control	T1-Men 10%	T2-Men 15%	T3-Integrado
19/4/2024	50	0	0	0	0
24/4/2024	55	0,3 (0,1) B	0,2 (0,1) A	0,1 (0,1) A	0,2 (0,1) A
3/5/2024	64	1,4 (0,4) B	1,3 (0,3) B	0,4 (0,1) A	0,7 (0,2) AB
9/5/2024	70	11,4 (2,4) B	12,3 (2,7) B	7,1 (1,5) B	1,7 (0,4) A
16/5/2024	77	30,5 (6,3) B	32,6 (6,9) B	21,6 (4,4) B	4,4 (1,0) A
24/5/2024	85	55,0 (11,3) B	58,7 (12,4) B	41,9 (8,45) B	9,4 (2,0) A

Nota. DDS indican los días después de la siembra. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

5.4 Rendimientos

No se encontraron diferencias significativas en los rendimientos totales y comerciales en Kg/ha entre los tratamientos estudiados (Tabla 8). Igualmente es de hacer notar que las medias de rendimiento de los tratamientos T1, T2 y T3 fueron entre 12% y 29% superiores a las medias del tratamiento control en rendimiento total, y entre 15% y 37% superiores en rendimiento comercial, siendo en ambos casos T3 el tratamiento que presentó los mayores rendimientos y T2 el que presentó los valores más bajos.

En la comparación de los rendimientos en kg/ha segregados por tamaño tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. (Anexo I).

Tabla 8*Rendimientos del cultivo por tratamiento en Kg/ha*

Tratamiento	Rendimiento Total	Rendimiento Comercial
T0	20.488 (2.172) A	15.824 (2.177) A
T1	23.591 (2.172) A	18.361 (2.177) A
T2	22.888 (2.172) A	18.253 (2.177) A
T3	26.552 (2.172) A	21.650 (2.177) A

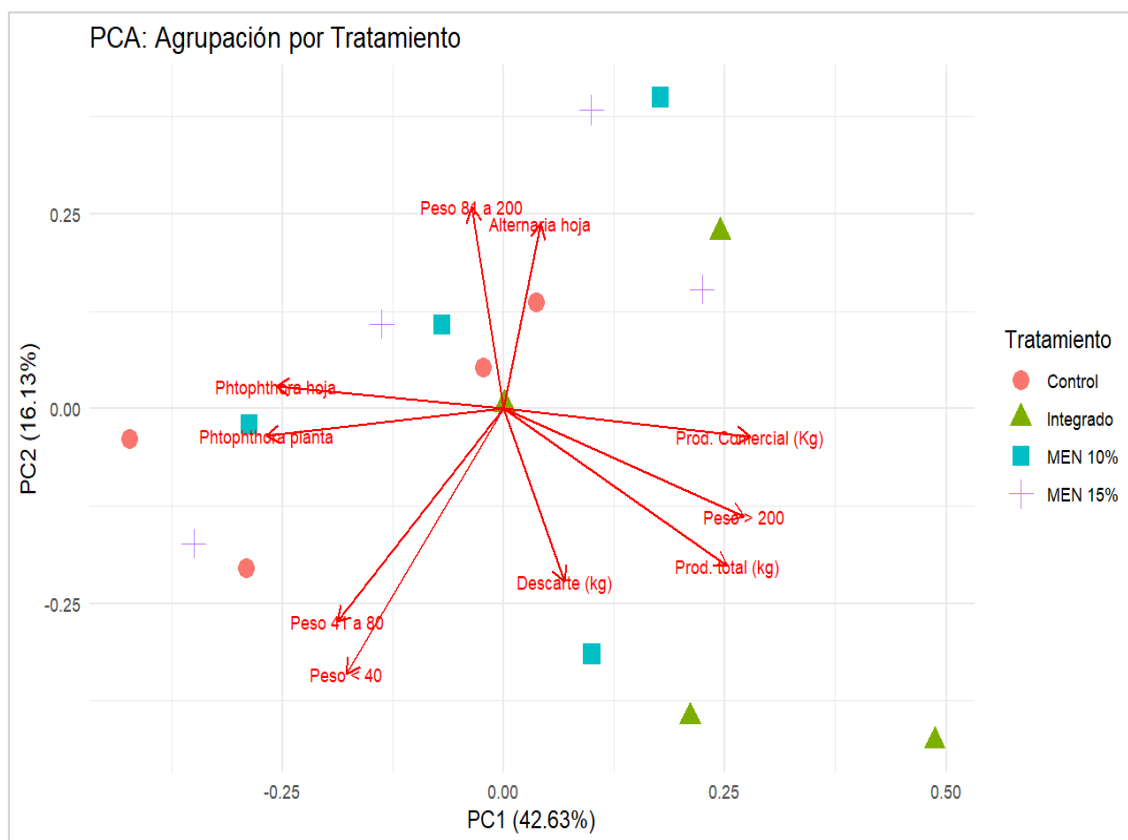
Nota. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.

En lo referido a pesos promedio de tubérculos, los valores superiores del experimento fueron los registrados por el tratamiento T3, seguidos por T1. El tratamiento T3 presentó diferencias significativas con T0 y T2, pero no con los pesos promedio obtenidos en T1 (Tabla 9).

Tabla 9*Pesos promedio de los tubérculos (g) según tratamiento*

Tratamiento	Peso promedio de tubérculos (g)
T0	132,0 (10,8) A
T1	156,4 (10,8) AB
T2	133,9 (12,1) A
T3	176,5 (10,9) B

Figura 10
Análisis de componentes principales



El análisis de componentes principales permitió explicar el 59% de la varianza del ensayo. La producción comercial mostró una correlación alta y negativa con el nivel de *Phytophthora* tanto en hoja como en planta. La severidad de *Phytophthora* presentó relación con la proporción de tubérculos de menor tamaño; mayor severidad explicó mayor cantidad de tubérculos categoría semilla (40 a 80 g) y de descarte por peso (< a 40 g) (Figura 10).

A su vez, la producción comercial tuvo alta correlación con la producción total y, en particular, la de mayor peso: tubérculos mayores a 200 g.

El análisis permite observar la existencia de una relación negativa entre la severidad de alternaria y el volumen de tubérculos de descarte por peso.

No se observa una relación entre las enfermedades estudiadas.

La distribución de las observaciones de acuerdo a cada tratamiento reafirma lo presentado en el análisis de la evolución de las enfermedades. Si bien no existieron diferencias estadísticas, las 4 parcelas con control integrado obtuvieron mayor rendimiento total y comercial, así como peso promedio de tubérculos (observaciones en los cuadrantes de la derecha). Las parcelas control se agruparon en torno a las variables de severidad de enfermedades y menores tamaños de tubérculos mientras que los tratamientos con distintas concentraciones de MEN presentan situaciones intermedias (figura 10).

6 Discusión

En este trabajo se evaluó la efectividad de la aplicación de MEN en el control de enfermedades foliares en el cultivo de papa en un ciclo de otoño en el sur del país. Durante su ejecución en el campo, las condiciones climáticas fueron propicias para el desarrollo de dichas enfermedades, registrándose precipitaciones acumuladas superiores a las de la última década. Esta situación impidió en algunos momentos la realización de aplicaciones en los distintos tratamientos, lo que pudo haber influido en los resultados obtenidos. Las precipitaciones acumuladas, junto a la gran asiduidad con que ocurrieron pudieron haber aumentado la presión de enfermedades, ya que el cultivo permaneció durante períodos prolongados con sus hojas mojadas y en condiciones altamente predisponentes para el desarrollo de estas.

6.1 Efecto de los microorganismos eficientes nativos sobre el control del tizón tardío y tizón temprano.

En lo referido al control del tizón tardío, la aplicación con MEN combinado con fungicidas químicos redujo la incidencia en más de un 40% respecto del tratamiento control.

En lo que respecta al AUDPC de la evolución de la severidad, ocurre una situación similar, siendo el tratamiento integrado (T3) el único que presentó reducciones estadísticamente significativas. En este caso se observa una tendencia a la reducción de la enfermedad por parte de los tratamientos con aplicación exclusiva de MEN, en los que los valores de severidad registrados se mantuvieron siempre por debajo de los del tratamiento control.

Es de hacer notar que la primera aplicación de principios activos de origen químico fue efectuada el 29/4/2024, por lo que la disminución de los valores de incidencia y severidad registrados hasta esa fecha permite inferir que el control que existió durante los primeros 2 meses de cultivo es atribuible a la acción de los MEN. Este resultado era esperable, ya que, según menciona Lázaro (2014) los MEN producen sustancias antimicrobianas y bactericidas que pueden prevenir el ataque de patógenos.

En lo respectivo a las dosis, llama la atención que el tratamiento con aplicación de MEN al 10% presenta una tendencia a ser más eficaz en el control respecto del tratamiento de MEN al 15%, siendo las diferencias significativas en la primera fecha de evaluación. Se cree que esto podría estar vinculado con aspectos del diseño del experimento, ya que si bien las parcelas con los distintos tratamientos fueron aleatorizadas en cada bloque, las parcelas donde se ubicaron los tratamientos con MEN al 15% tuvieron mayor cercanía a las parcelas de tratamiento control, lo que ocasionó posiblemente una mayor presión de inóculo para este tratamiento. Otros aspectos a considerar son el número de repeticiones y el tamaño de parcelas, los que pudieron haber provocado aumentos en el error experimental.

En lo referido al tizón temprano, se observó que los tratamientos con aplicaciones con MEN y el tratamiento combinado con químicos no tuvieron efectos significativos en la incidencia de la enfermedad.

En cambio, en lo referido al AUDPC de la evolución de la severidad, el tratamiento integrado fue el más eficaz en el control de tizón temprano logrando una reducción en su desarrollo mayor al 50% con respecto al testigo para todas las fechas de evaluación. Asimismo, se logra ver que el tratamiento T2 mantuvo sus valores de severidad por debajo de los de T0 en todo momento, lo que muestra que existe una tendencia al control por parte de los MEN.

En lo que respecta a ambas enfermedades se observa que los tratamientos donde fue aplicado MEN exclusivamente presentaron mayor eficacia en el control al inicio de las epidemias. Esto pudo deberse a la baja presión de enfermedades registradas en las primeras etapas del cultivo, junto a la ausencia de precipitaciones luego de la primera aplicación de los tratamientos (5/4/2024) lo que permitió una buena instalación de los MEN en el follaje, logrando un control efectivo durante los primeros 2 meses de cultivo.

Una vez que las enfermedades lograron establecerse en el cultivo, su control por parte de los MEN (en las dosis y frecuencias aplicadas) no logró reducirlas a niveles estadísticos. Esto concuerda con lo informado por BID (2009) que menciona que los MEN poseen efectos de carácter preventivo frente al ataque de patógenos, por lo que para un control eficiente de las enfermedades debe darse la correcta instalación y desarrollo de estos en el medio.

Otros motivos que pueden explicar la baja eficacia de los MEN en el control de enfermedades en etapas más avanzadas del cultivo son la alta frecuencia con la que ocurrieron precipitaciones y los momentos en que estas se registraron, las cuales pudieron impedir la instalación y permanencia de los MEN sobre las hojas. En el ensayo, a partir de la segunda aplicación siempre ocurrieron lluvias en los días siguientes al día en que estas fueron efectuadas.

Otro aspecto que posiblemente disminuyó la eficacia de los MEN fue que el cronograma de aplicaciones programado no pudo ser respetado por motivos climáticos (ocurrencia de precipitaciones o imposibilidad de ingresar al ensayo por exceso de barro), existiendo períodos mayores a los deseados en que no fueron realizadas aplicaciones.

Por otro lado, la acción de los MEN pudo haberse visto afectada por la deriva de los principios activos de origen químico que fueron aplicados al tratamiento integrado, ya que, según mencionan Badii y Landeros (2007), los agroquímicos provocan efectos adversos en las poblaciones de microorganismos.

Para ambas enfermedades, el tratamiento integrado fue el que presentó mayor eficacia en su control, inclusive luego de instaladas en el cultivo, debido a la acción curativa de los principios activos químicos utilizados. Esto permite pensar que existe la posibilidad de diseñar un sistema de producción que integre el control biológico con aplicaciones con MEN en las primeras etapas del cultivo, junto al uso de productos químicos aplicados a mediados y finales del cultivo en donde la presión de enfermedad puede llegar a ser mayor, o en casos de condiciones ambientales altamente favorables para que ocurra la infección. El número de intervenciones con agroquímicos en el tratamiento integrado fue muy inferior al número promedio de intervenciones que se

realizan para el control de estas enfermedades en el cultivo de papa (mayor a 8-10 en promedio), lo que muestra que es posible diseñar estrategias de control de enfermedades que reduzcan fuertemente el uso de agroquímicos.

6.2 Impacto del manejo sanitario sobre el rendimiento

Los rendimientos obtenidos en el ensayo se ubican en el rendimiento promedio a nivel nacional. Para todos los tratamientos evaluados se constató una tendencia al aumento de los rendimientos (tanto en rendimientos totales como comerciales) respecto del tratamiento control, siendo los mayores aumentos los registrados por el tratamiento integrado, aunque sin existir diferencias significativas entre tratamientos, ni entre ellos respecto de T0.

La tendencia al aumento de los rendimientos de los tratamientos T1 y T2 en relación al testigo, fue proporcional a las reducciones de enfermedad registradas en estos.

Dichos aumentos se justifican con lo mencionado por Pimentel (2016) que indica que los MEN tienen efectos positivos sobre los rendimientos totales y comerciales en el cultivo de papa. Asimismo, Calero et al. (2019) y BID (2009) hacen referencia a la acción positiva de los MEN sobre el crecimiento vegetal, por lo que su acción pudo haber permitido en este caso un mayor desarrollo foliar del cultivo, ampliando su capacidad fotosintética, con el consiguiente aumento de recursos disponibles para ser destinados al crecimiento de tubérculos.

En cuanto a los rendimientos en función del peso de los tubérculos no se registraron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se puede apreciar que el tratamiento integrado posee una tendencia a tener rendimientos superiores en la categoría de tubérculos de peso mayor a 200 gramos. Esto pudo deberse a los bajos niveles de enfermedad registrados en este tratamiento, lo que permitió un mayor desarrollo foliar de las plantas y que su área foliar se haya mantenido hasta la fecha de finalización del cultivo, incrementando la cantidad de fotoasimilados que pudieron ser destinados al crecimiento de tubérculos.

Los tratamientos que obtuvieron mayor peso promedio de tubérculos fueron T1 y T3, por lo que no se puede afirmar que una estrategia combinada sea superior en este aspecto a una de control biológico con aplicación de MEN exclusivamente.

7 Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo fueron:

- Las aplicaciones de MEN presentan eficacia en el control del tizón tardío y el tizón temprano al inicio de las epidemias.
- Las aplicaciones combinadas de MEN con fungicidas químicos aplicados en momentos propicios para el desarrollo de las enfermedades lograron la mayor reducción de la cantidad de enfermedad.
- El peso promedio de tubérculos registrado en el tratamiento integrado fue un 30% superior al del tratamiento control.

8 Consideraciones para futuros ensayos

Si bien estos estudios buscan un acercamiento al control de enfermedades con MEN es necesario y recomendable ampliar la investigación para ajustar y/o mejorar dosis, frecuencias y procedimientos para su aplicación, a fin de maximizar su efectividad en el manejo de las enfermedades, ya que es una tecnología que se encuentra en proceso de aprendizaje, y que presenta la potencialidad de controlar las enfermedades estudiadas, principalmente durante las primeras etapas del cultivo donde la presión de enfermedades es menor.

Se cree que el diseño experimental desarrollado podría mejorarse, aumentando el tamaño de las parcelas, reduciendo tanto la deriva causada por la aplicación de principios activos de origen químico, como la presión de inóculo originada por los tratamientos testigos.

Asimismo podría aumentarse el número de repeticiones de cada tratamiento para disminuir los errores experimentales que pudieran existir, y efectuar ensayos en más de una zafra para evaluar el comportamiento de los MEN en distintas condiciones climáticas.

Dadas las escasas aplicaciones de agroquímicos realizadas en el tratamiento integrado de este ensayo (se realizaron 3 aplicaciones en todo el ciclo productivo, siendo la media de aplicaciones en producción convencional entre 8 y 12 por ciclo) se entiende que sería interesante compararlo con tratamientos de producción convencional, a fin de determinar si existen diferencias en los niveles de control de enfermedades, peso promedio de tubérculos, rendimientos totales, y en el rendimiento de tubérculos de calidad comercial, más específicamente en los superiores a 200 gramos.

Otro aspecto para investigar es el efecto de los MEN como agentes supresores de inóculo inicial de patógenos del suelo, con el fin de reducir el tiempo entre rotaciones, ya que lo según lo informado por BID (2009) los MEN compiten con otros microorganismos por recursos y espacios, y según lo reportado por Piedrabuena (2003, como se cita en Flores et al., 2013) inhiben el crecimiento de patógenos de suelo.

Como comentario final se cree que es necesario tener presente lo importante de efectuar una transición del tipo de producción actual hacia formas de producir que sean más amigables con el medio ambiente, buscando abastecer a la población con alimentos de calidad, utilizando procesos productivos que respeten a los seres vivos, y siendo responsables y conscientes de la importancia de mantener viables los recursos del planeta para las futuras generaciones.

9 Referencias Bibliográficas

- Ackermann, M., & Díaz, A. (2022). Horticultura: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPa 2022* (pp. 317-320). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/anuario-opypa-2022>
- Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2021a). *Tizón Tardío*. INIA. <https://enfermedadespapa.inia.cl/tizonTardio.php>
- Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2021b). *Tizón Temprano*. INIA. <https://enfermedadespapa.inia.cl/tizonTemprano.php>
- Adolf, B., Andrade-Piedra, J., Bittara, F., Przetakiewicz, J., Hausladen, H., Lees, A., Lindqvist, H., Perez, W., & Secor, G. (2020). Fungal, Oomycete, and Plasmodiophorid diseases of potato. En H. Campos & O. Ortiz (Eds.), *The potato crop: It's agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 307-350). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>
- Aglave, B. (2019). *Handbook of plant disease identification and management*. CRC Press.
- Agrios, G. (2007). *Fitopatología* (2ª ed.). Limusa.
- Alfiky, A., L'Haridon, F., Abou-Mansour, E., & Weisskopf, L. (2022). Disease inhibiting effect of strain *Bacillus subtilis* EG21 and its metabolites against potato pathogens *Phytophthora infestans* and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, 112(10), 2099-2109. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-21-0530-R>
- Altier N., Abreo, E., Beyhaut, E., Rivas, F., Barlocco, C., & Garaycochea, S. (2023). Uso y manejo del microbioma para el desarrollo de bioinsumos de uso agrícola. En G. García-Inza, J. Paruelo, & R. Zoppolo (Eds.), *Aportes científicos y tecnológicos del INIA a las trayectorias agroecológicas* (pp. 257-277). Ciccus.
- Altier, N., Abreo, E., Beyhaut, E., Rivas, F., Barlocco, C., Garaycochea, S., Dini, B., López, V., Mattos, N., & Mortalena, M. (2020). Plataforma de bioinsumos de uso agrícola: Desarrollo de tecnologías y productos basados en microorganismos benéficos. *Revista INIA*, (61), 85-90. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-61-Junio-2020.pdf>
- Anfuso, V., Banchero, L., Buschiazzi, M., Díaz, R., Enrich, N., Godín, A., Iurato, A., Martínez, F., Orihuela, C., Osorio, F., Prieto, G., Primo, P., Viana, V., Vieta, A., & Waterston, S. (2023). *Uso y manejo seguro de fitosanitarios en el sector frutihortícola: Manual de capacitación*. MGAP.
- Arseneault, T., Goyer, C., & Fillion, M. (2015). *Pseudomonas fluorescens* LBUM223 increases potato yield and reduces common scab symptoms in the field. *The American Phytopathology Society*, 105(10), 1311-1317. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0358-R>
- Asaturova, A., Shternshis, M., Tsvetkova, V., Shpatova, T., Maslennikova, V., Zhevnova, N., & Homyak, A. (2021). Biological control of important fungal diseases of potato and raspberry by two *Bacillus velezensis* strains. *PeerJ*, 9, Artículo e11578. <https://doi.org/10.7717/peerj.11578>

- Badii, M., & Landeros, J. (2007). Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. *Cultura Científica y Tecnología*, 4(19), 21-34.
- Bai, X., Li, Q., Zhang, D., Zhao, Y., Zhao, D., Pan, Y., Wang, J., Yang, Z., & Zhu, J. (2023). *Bacillus velezensis* strain HN-Q-8 induced resistance to *Alternaria solani* and stimulated growth of potato plant. *Biology*, 12(6), Artículo e856. <https://doi.org/10.3390/biology12060856>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2009). *Manual práctico de uso de EM*. https://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf
- Bustamante, A. (2015). *Control biológico del Tizón Tardío Phytophthora infestans en Papa Solanum tuberosum a través de consorcios microbianos formados por hongos nativos del género* [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7692>
- Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K., Castro, I., & Jiménez, J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrarias*, 36(1), 67-78.
- Çalışkan, M., Yousaf, M., Yavuz, C., Abu Bakar Zia, M., & Çalışkan, S. (2023). History, production, current trends, and future prospects. En M. Çalışkan, A. Bakhsh, & K. Jabran (Eds.), *Potato production worldwide* (pp. 1-18). Elsevier.
- Cárcamo, M. (2020). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) en Uruguay*. IPEN; RAPAL. https://ipen.org/sites/default/files/documents/final_report_hhps_uruguay_y_30_july_2020_es.pdf
- Castañeda, B., Ramírez, C., & Trujillo, D. (2024). Efecto de los agroquímicos en la actividad enzimática del suelo agrícola: Una revisión bibliográfica. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 15(2), Artículo e1082. <https://doi.org/10.22579/22484817.1082>
- Castellanos, L., Baldovino, A., Céspedes, N., & Rivera, X. (2020). Biopreparados para el control de enfermedades foliares de fresa, Pamplona, Colombia, aun una solución parcial. *Journal of Negative y No Positive Results*, 5(9), 933-951. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3419>
- Chaves-Bedoya, G., Ortiz-Moreno, M., & Ortiz-Rojas, L. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66-72. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30023
- Colnago, P., Vilaró, F., & González, P. (2019). Production and multiplication of national potato varieties in family farming systems. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 23(2), 74-79.
- CPA Ferrere. (2023). *Barreras a la importación de frutas y verduras, impacto en el nivel de precios y volatilidad del IPC*. Banco Central del Uruguay. <https://dvz8qhbz2at1c.cloudfront.net/files/2024-02/2023-12-28-cpa-ferrere-barreras-a-la-importaci-n-de-frutas-y-verduras-impacto-en-el-nivel-de-precios-y-volatilidad-del-ipc-informe-final.pdf>

- Cruickshank, G., Stewart, H., & Wastie, R. (1982). An illustrated assessment key for foliage blight of potatoes. *Potato Research*, 25, 213–214.
<https://doi.org/10.1007/BF02359807>
- Duarte, H., Zambolim, L., Capucho, A., Nogueira, A., Rosado, A., Cardoso, C., Paul, P., & Mizubuti, E. (2013). Development and validation of a set of standard area diagrams to estimate severity of potato early blight. *European Journal of Plant Pathology*, 137, 249–257. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0234-3>
- Echeverriborda, G., Mesa, F., Chalar, G., Kruk, C., & Piccini, C. (2022). Experiencia de aplicación de microorganismos efectivos nativos (MEN) para el tratamiento de aguas residuales. *INNOTECH*, 24, Artículo e623. <https://doi.org/10.26461/24.06>
- Einspanier, S., Susanto, T., Metz, N., Wolters, P., Vleeshouwers, V., Lankinen, Å., Liljeroth, E., Landschoot, S., Ivanović, Ž., Hükelhoven, R., Hausladen, H., & Stam, R. (2022). Whole-genome sequencing elucidates the species-wide diversity and evolution of fungicide resistance in the early blight pathogen *Alternaria solani*. *Evolutionary Applications*, 15(10), 1605–1620.
<https://doi.org/10.1111/eva.13350>
- Faberi, A., Sanchez, M., Pérez, N., & Hansen, M. (2022). Biocontrol de *Alternaria solani* y *A. alternata* en el cultivo de papa con *Trichoderma harzianum*. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 26(1), 4–16.
- Flores, Y., López, F., & Villanueva, J. (2013). Efecto de los microorganismos eficaces (EM) y *Trichoderma sp.* sobre la incidencia de fusarium y *Sclerotium rolfsii* en una siembra experimental de pimentón. *Revista Agrollania*, 10(5).
<http://postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2013/agro5.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Statistical Yearbook: World Food and Agriculture 2022*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0c372c04-8b29-4093-bba6-8674b1d237c7/content>
- Haverkort, A., Struik, P., Visser, R., & Jacobsen, E. (2009). Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Research*, 52, 249–264. <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9136-3>
- Higa, T., & Parr, J. (1994). *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. International Nature Farming Research Center.
<https://www.em-pars.com/wp-content/uploads/2018/05/7-beneficial-and-effective-microorganisms-for-a-sustainab-.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.a). *Banco de Datos Agroclimáticos*.
<https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.b). *INIA Arequita*.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17126/1/Ficha-Tecnica-Arequita.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.c). *INIA Guaviyú*.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17128/1/Ficha-Tecnica-Guaviyu.pdf>
- Ivanović, Ž., Blagojević, J., Jovanović, G., Ivanović, B., & Žeželj, D. (2022). New insight in the occurrence of early blight disease on potato reveals high distribution of *Alternaria solani* and *Alternaria solani* in Serbia. *Frontiers in Microbiology*, 13, Artículo e856898. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.856898>

- James, W. (1971). An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Survey*, 51(2), 39-65.
[https://phytopath.ca/wp-content/uploads/cpds-archive/vol51/CPDS_Vol_51_No_2_\(39-65\)1971.pdf](https://phytopath.ca/wp-content/uploads/cpds-archive/vol51/CPDS_Vol_51_No_2_(39-65)1971.pdf)
- Jindo, K., Evenhuis, A., Kempenaar, C., Pombo Sudré, C., Zhan, X., Goitom Teklu, M., & Kessel, G. (2021). Review: Holistic pest management against early blight disease towards sustainable agriculture. *Pest Management Science*, 77(9), 3871-3880. <https://doi.org/10.1002/ps.6320>
- Johanson, A., & Thurston, H. (1990). The effect of cultivar maturity on the resistance of potatoes to early blight Caused by *Alternaria solani*. *American Journal of Potato Research*, 67(9), 615-623. <https://doi.org/10.1007/BF03043447>
- Kim, M., Shim, C., & Park, J. (2021). Control efficacy of *Bacillus velezensis* AFB2-2 against potato late blight caused by *Phytophthora infestans* in organic potato cultivation. *The Plant Pathology Journal*, 37(6), 580-595.
<https://doi.org/10.5423/PPJ.FT.09.2021.0138>
- Kumbar, B., Mahmood, R., Nagesha, S., Nagaraja, M., Prashant, D., Kerima, O., Karosiya, A., & Chavan, M. (2019). Field application of *Bacillus subtilis* isolates for controlling late blight disease of potato caused by *Phytophthora infestans*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, Artículo e101366.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101366>
- Lázaro, L. (2014). La tecnología ecológica de los EM. En L. Lázaro (Coord.), *Microbiótica: Nutrición simbiótica y microorganismos regeneradores: Una revolución para sanar la Tierra y el ser humano* (pp. 147-166). Ediciones i.
- Ley n° 20.212: *Aprobación de Rendición de Cuentas y Balance de Ejecución Presupuestal: Ejercicio 2022*. (2023). IMPO.
<https://www.impo.com.uy/bases/leyes/20212-2023/237#:~:text=Decl%C3%A1rase%20de%20inter%C3%A9s%20nacional%20el,que%20contribuyan%20al%20desarrollo%20sostenible>
- Millán, J., Díaz, A., & Ackermann, M. (2020). *Actualización y revisión de la estructura de costos de producción de horticultura y fruticultura*. MGAP.
www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/2020%20E_20_02_Actualización%20de%20costos%20hortifrutícolas_%20Millán_Díaz_Ackermann_1.pdf
- Muñoz, M., Acuña, I., & Sagredo, B. (2019). Resistencia varietal al Tizón Tardío de la papa. En I. Acuña & R. Bravo (Eds.), *Tizón Tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas tempranas* (pp. 100-117). INIA.
- Observatorio Granjero. (2023). *Anuario Estadístico 2023*. MGAP.
<https://uam.com.uy/wp-content/uploads/2024/07/Anuario-2023-UAM-Observatorio-Granjero.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Encuesta de Papa “Primavera 2023”*. MGAP. www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2024-01/Publicación%20papa%20prim%202023.pdf

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Resultados de la Encuesta de Papa "Otoño 2024"*. MGAP. www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Prensa_papa_otoño_2024.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022, 30 de mayo). *Duplicar la producción mundial de papa en 10 años es posible*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/doubling-global-potato-production-in-10-years-is-possible/es>
- Pérez, W., & Forbes, G. (2010). *Technical manual potato late blight*. CIP.
- Pimentel, A. (2016). *Efecto de los microorganismos eficaces (EM) en el rendimiento del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Yungay en condiciones de Huacrachuco - Huánuco – 2014* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Raymundo, R., & Asseng, S. (2023). Impacto global del cambio climático en el cultivo de papa. En I. Acuña & I. Martínez (Eds.), *Libro de resúmenes: XXIX Congreso Latinoamericano de la Papa: El Reencuentro: Una mirada hacia la Sustentabilidad y al Cambio Climático* (pp. 21-22). ALAP; CHIPA; INIA. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/869fec8-e26b-48a8-80a3-559bb6774e1f/content>
- Rodrigues, T., Berbee, M., Simmons, E., Cardoso, C., Reis, A., Maffia, L., & Mizubuti, E. (2010). First report of *Alternaria tomatophila* and *A. grandis* causing early blight on tomato and potato in Brazil. *New Disease Reports*, 22(1), 28. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2010.022.028>
- Töfoli, J., Domingues, R., & Ferrari, J. (2015). *Alternaria* spp. em Oleráceas: Sintomas, etiologia, manejo e fungicidas. *Biológico*, 77(1), 21-34. https://www.researchgate.net/publication/281294712_ALTERNARIA_SPP_EM_OLERACEAS_SINTOMAS_ETIOLOGIA_MANEJO_E_FUNGICIDAS
- Tsrör, L. (2023). Fungal, Oomycete, and Plasmidiophorid diseases of potato and their control. En M. Çalışkan, A. Bakhsh, & K. Jabran (Eds.), *Potato production worldwide* (pp. 145-178). Elsevier.
- Van der Waals, J., Korsten, L., & Aveling, T. (2001). A review of early blight of potato. *African Plant Protection*, 7(2), 91-102. <https://hdl.handle.net/10520/EJC87837>
- Vilaró, F., & González, M. (2017). Papas. En M. González & G. Giménez (Eds.), *Catálogo de cultivos hortícolas* (2ª ed., pp. 40-45). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7053/1/bd-113-Catalogo-Horticola-2a.ed.2017.pdf>
- Wale, S., Platt, H., & Cattlin, N. (2008). *Diseases, pests and disorders of potatoes: A colour handbook*. Manson Publishing.
- Yanes, M., & Bajsa, N. (2016). Fluorescent *Pseudomonas*: A natural resource from soil to enhance crop growth and health. En S. Castro-Sowinski (Ed.), *Microbial models: From environmental to industrial sustainability* (pp. 323-349). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6_15

- Yang, L., He, M., Ouyang, H., Zhu, W., Pan, Z., Sui, Q., Shang, L., & Zhan, J. (2019). Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, *19*, Artículo e205. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8>
- Yellareddygar, S., Pasche, J., Taylor, R., & Gudmestad, N. (2016). Individual participant data meta-analysis of foliar fungicides applied for potato early blight management. *Plant Disease*, *100*(1), 200-206. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0530-RE>

10 Anexos

Anexo A

Instalación de riego por goteo



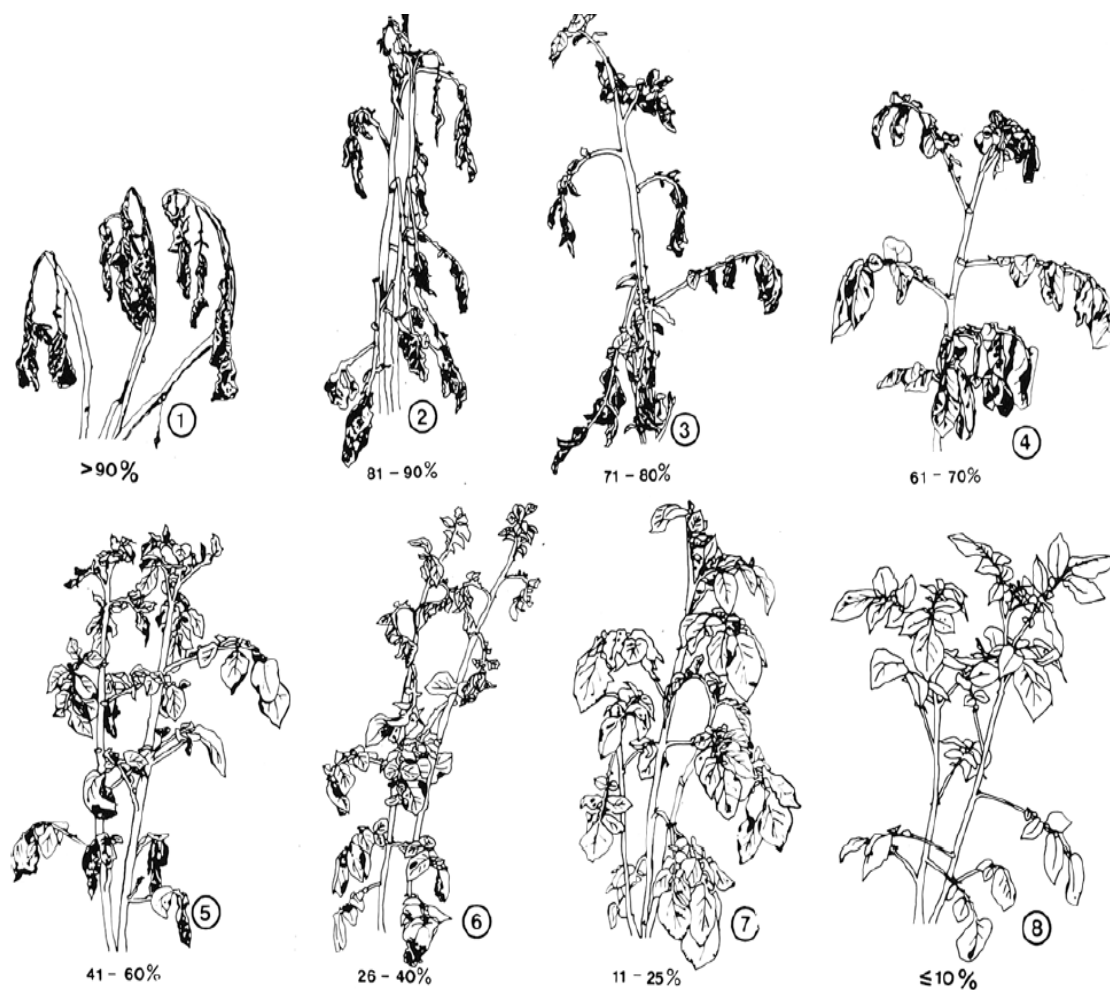
Anexo B

Suelos del predio de instalación del ensayo



Anexo C

Escala de severidad tizón tardío en planta de Solanum tuberosum L.



Nota. Tomado de Cruickshank et al. (1982).

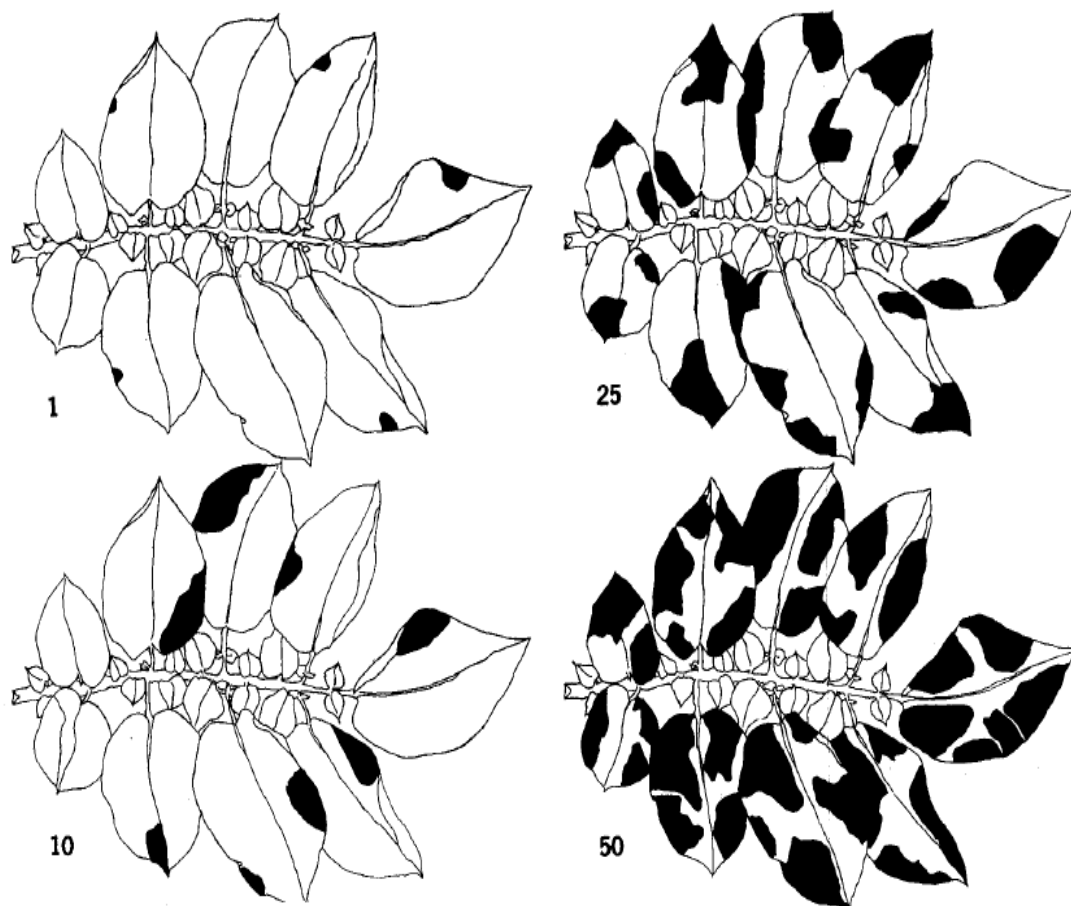
Referencias Bibliográficas Anexo C

Cruickshank, G., Stewart, H., & Wastie, R. (1982). An illustrated assessment key for foliage blight of potatoes. *Potato Research*, 25, 213-214.

<https://doi.org/10.1007/BF02359807>

Anexo D

Escala de severidad tizón tardío en hoja de Solanum tuberosum L.



Nota. Tomado de James (1971).

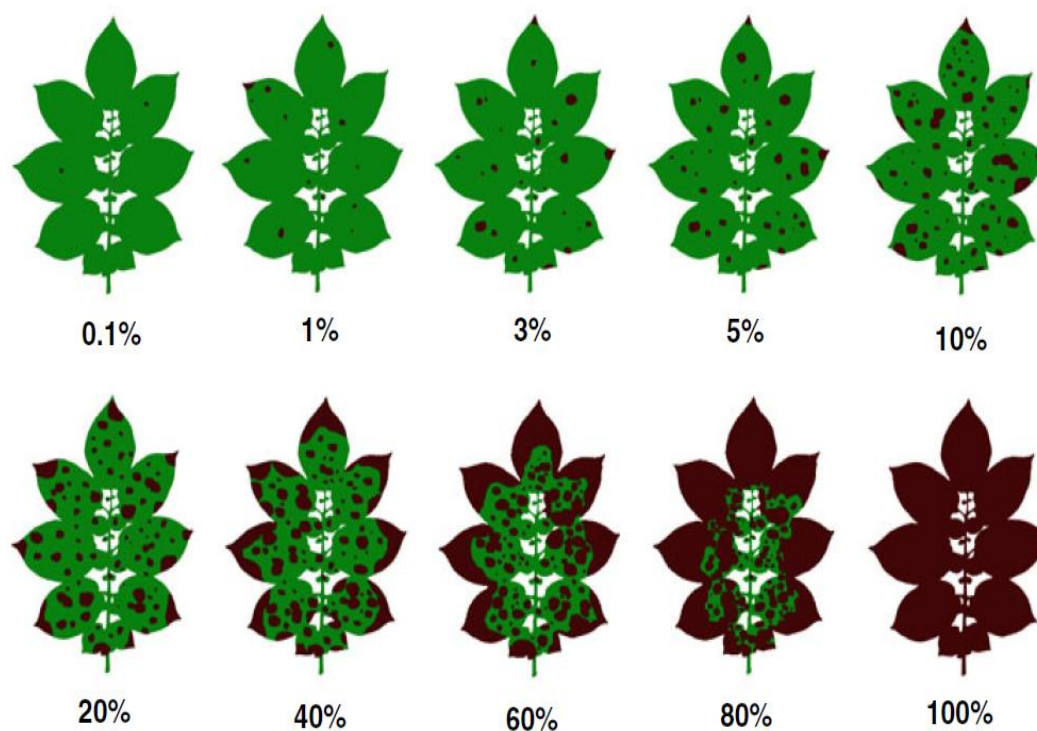
Referencias Bibliográficas Anexo D

James, W. (1971). An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Survey*, 51(2), 39-65.

[https://phytopath.ca/wp-content/uploads/cpds-archive/vol51/CPDS_Vol_51_No_2_\(39-65\)1971.pdf](https://phytopath.ca/wp-content/uploads/cpds-archive/vol51/CPDS_Vol_51_No_2_(39-65)1971.pdf)

Anexo E

Escala de severidad tizón temprano en hoja de Solanum tuberosum L.



Nota. Tomado de Duarte et al. (2013).

Referencias Bibliográficas Anexo E

Duarte, H., Zambolim, L., Capucho, A., Nogueira, A., Campos, A., Rezende, C., Anderson, P., & Gomide, E. (2013). Development and validation of a set of standard area diagrams to estimate severity of potato early blight. *European Journal of Plant Pathology*, 137, 249-257. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0234-3>

Anexo F

Registro de temperaturas (media, máx. y mín.) y precipitaciones acumuladas para el año 2024 y el período 2014-2024

	Promedios 2014-2024			2024			Promedio 2014-2024	2024		
Fecha	Temp. Media 2014-2024 (°C)	Temp. Máx. 2014-2024 (°C)	Temp. Mín. 2014-2024 (°C)	Temp. Media 2024 (°C)	Temp. MÁX. 2024 (°C)	Temp. MIN 2024 (°C)	Precip. Acumulada 2014-2024 (mm)	Precip 2014 (mm)	Días que llovió (*)	HR %
1/3/2014	22,6	29,4	16,4	23,7	29,9	19,0	14,1	0		77
2/3/2014	23,0	29,2	17,3	22,3	26,5	18,8	9,2	8	*	89
3/3/2014	22,2	28,6	16,6	19,9	23,6	12,5	67,8	0		62
4/3/2014	21,8	27,9	17,2	17,5	24,1	10,8	11	0,3	*	70
5/3/2014	21,2	27,1	16,4	17,1	21,8	11,5	2,3	0		73
6/3/2014	21,1	27,6	14,9	17,8	27,0	8,9	8,5	0		68
7/3/2014	21,4	28,2	14,8	21,4	31,0	11,2	71	0		62
8/3/2014	21,7	29,2	14,9	24,3	32,6	17,8	85,9	43,9	*	77
9/3/2014	21,4	27,0	16,8	23,3	30,3	19,2	28,5	0		84
10/3/2014	21,1	27,0	15,7	22,2	28,6	16,6	31,5	0		67
11/3/2014	20,2	26,5	14,7	19,4	24,9	17,3	23,3	16	*	84
12/3/2014	20,3	26,4	15,5	18,7	21,8	17,4	88,2	68	*	94
13/3/2014	20,9	28,2	14,1	23,3	26,8	21,4	67,7	61	*	93
14/3/2014	21,7	28,6	15,9	23,1	25,0	21,6	51,7	5,1	*	94
15/3/2014	21,3	26,4	17,2	22,7	25,5	21,5	33,1	0		90
16/3/2014	21,2	27,3	16,0	22,2	24,9	20,3	6,1	1	*	96
17/3/2014	21,6	27,2	17,0	21,5	26,5	17,4	108,5	0		69
18/3/2014	19,6	24,5	16,0	21,0	28,3	20,9	105,63	8,8	*	88
19/3/2014	19,0	24,3	14,3	23,8	29,7	18,9	129,97	66,5	*	88
20/3/2014	18,5	23,9	13,7	20,7	22,7	19,2	40,8	29,5	*	95
21/3/2014	18,2	23,1	13,6	17,9	20,2	13,4	5,4	0,1	*	69
22/3/2014	18,3	24,4	12,6	16,9	22,8	11,3	0,8	0		71
23/3/2014	19,7	26,8	13,6	18,0	25,4	9,7	1,4	0		77
24/3/2014	20,0	26,2	14,4	20,4	25,9	16,0	43,2	0		84
25/3/2014	18,5	22,6	15,2	19,0	25,1	14,8	68,26	0		85
26/3/2014	19,1	23,9	14,7	18,1	24,9	12,4	25,54	0		81
27/3/2014	19,4	25,8	14,1	19,3	26,9	12,9	13,1	0		79
28/3/2014	20,0	26,7	14,9	20,0	26,6	14,9	13,5	0		80
29/3/2014	20,8	27,8	15,6	20,8	27,6	14,9	16,9	0		84
30/3/2014	20,2	25,8	15,6	22,2	30,5	15,4	34,5	1,3	*	82
31/3/2014	19,0	24,2	14,6	18,9	21,5	16,9	4,2	3,7	*	72
1/4/2014	18,3	23,8	13,7	14,9	17,8	13,0	64,4	1,9	*	86
2/4/2014	19,1	25,0	13,6	16,0	21,9	9,9	40,3	18,3	*	79
3/4/2014	19,0	24,0	14,4	14,1	15,8	11,9	14,5	13,8	*	98
4/4/2014	19,2	25,7	14,4	16,7	24,7	10,9	22,1	0		79
5/4/2014	19,3	25,1	14,0	17,6	25,9	10,5	13	0		78

6/4/2014	18,6	24,0	14,3	18,7	25,3	12,7	15,4	0		78
7/4/2014	18,7	24,2	13,5	19,8	25,5	14,7	26,1	0		80
8/4/2014	19,2	25,0	14,2	19,8	26,5	14,1	87,6	0		87
9/4/2014	19,6	25,0	15,5	20,8	25,5	17,0	10,4	0		86
10/4/2014	19,4	24,8	14,6	16,1	18,5	14,2	25,9	0		72
11/4/2014	18,6	23,3	14,5	14,6	18,4	10,9	61,6	0		73
12/4/2014	16,9	22,0	12,0	17,0	21,6	12,1	11,2	3,5	*	75
13/4/2014	16,5	22,2	11,6	17,9	20,6	15,5	47,4	0,7	*	91
14/4/2014	16,6	22,4	11,6	20,6	24,0	17,4	0,1	0		92
15/4/2014	17,4	22,2	13,2	21,4	22,0	20,7	150,1	48	*	97
16/4/2014	17,3	23,0	12,3	17,9	21,2	14,9	45,6	2	*	96
17/4/2014	16,8	22,7	11,9	17,0	21,5	12,4	9,6	0		76
18/4/2014	17,1	22,9	12,1	16,5	21,3	11,3	11,4	0		67
19/4/2014	17,8	24,2	12,6	18,4	27,6	11,4	46,7	0		74
20/4/2014	17,7	23,5	12,6	19,8	27,8	13,5	22,3	0		76
21/4/2014	16,8	22,1	12,4	18,1	22,1	16,4	10,8	10,2	*	90
22/4/2014	15,8	21,3	11,2	17,4	20,2	14,9	27,1	25	*	94
23/4/2014	16,5	22,6	10,7	16,7	19,0	12,2	0,8	0		92
24/4/2014	17,3	23,1	12,5	14,2	18,4	8,9	47,32	0		74
25/4/2014	16,8	21,2	13,5	11,9	14,6	8,6	70,48	27,8	*	95
26/4/2014	16,5	21,0	12,6	16,4	17,7	13,8	37,8	16,4	*	98
27/4/2014	16,4	22,1	11,6	14,3	18,4	7,8	10,4	0		79
28/4/2014	15,8	21,2	11,0	11,5	19,8	5,3	48,8	0		71
29/4/2014	15,4	20,8	10,6	13,2	18,6	7,7	62,7	3,5	*	88
30/4/2014	15,4	21,0	10,7	17,7	21,2	15,2	27,9	1,1	*	98
1/5/2014	14,4	20,6	8,8	16,1	19,7	13,9	2	0,8	*	77
2/5/2014	14,7	20,6	9,3	12,2	15,8	6,5	14	0		80
3/5/2014	14,6	20,3	9,3	10,7	17,3	4,0	51,6	0		76
4/5/2014	14,5	20,8	8,8	14,7	20,6	9,5	158,3	0,2	*	83
5/5/2014	15,2	20,4	11,3	17,8	22,2	15,5	35,3	1	*	93
6/5/2014	15,0	19,5	11,4	17,0	21,6	15,9	5	1,2	*	99
7/5/2014	14,7	19,8	10,3	17,1	19,2	15,2	53	18,1	*	100
8/5/2014	14,6	19,8	10,4	15,0	18,3	11,2	15	0,3	*	89
9/5/2014	14,5	19,8	9,9	10,7	14,8	5,8	59,3	0		68
10/5/2014	14,2	19,1	9,4	10,8	16,6	4,8	18	0		85
11/5/2014	13,7	18,1	9,2	11,5	17,0	7,2	7,5	0,2	*	88
12/5/2014	13,1	18,4	8,4	10,7	14,8	6,5	18,8	12,2	*	94
13/5/2014	13,0	18,7	7,9	10,4	13,8	5,8	0,6	0		78
14/5/2014	13,1	19,0	7,9	8,6	12,1	4,5	19,3	0		80
15/5/2014	13,4	19,4	8,1	8,5	14,8	3,4	6,7	0		80
16/5/2014	13,5	19,7	8,5	9,6	15,9	5,4	13	0		78
17/5/2014	13,4	18,6	9,1	9,6	13,7	5,8	15,1	0		86
18/5/2014	13,5	18,7	8,9	9,0	13,3	5,4	113,7	0		81
19/5/2014	12,9	18,7	7,4	8,3	13,8	2,9	35,5	0		87
20/5/2014	12,7	18,2	7,9	7,7	15,5	1,0	104,7	0		81
21/5/2014	13,8	18,1	10,4	10,7	15,0	5,0	28,08	0		95

22/5/2014	13,7	18,0	10,2	11,5	14,2	8,9	49,14	0		96
23/5/2014	13,1	17,5	9,1	12,7	14,6	11,0	45,17	0		86
24/5/2014	12,3	17,2	7,7	9,5	11,0	6,9	29,8	1,4	*	76
25/5/2014	12,1	16,9	7,9	7,5	10,8	3,7	25,8	0,1	*	81
26/5/2014	11,6	16,7	6,4	7,0	12,1	1,4	38,8	0,1	*	83
27/5/2014	12,0	17,3	7,2	8,6	10,4	5,4	55,9	55,2	*	99
28/5/2014	12,3	17,7	7,3	11,6	17,0	7,7	42,5	0		93
29/5/2014	12,1	17,7	6,8	10,7	18,0	3,7	36	0		92
30/5/2014	11,2	16,2	7,1	11,6	15,7	8,3	15,6	0		92
31/5/2014	11,1	15,7	7,4	10,7	16,6	5,7	19,3	0,1	*	91
1/6/2014	11,7	16,6	7,9	13,5	19,5	9,7	5,3	0,1	*	92
2/6/2014	10,8	16,0	6,1	9,8	12,7	5,6	16,2	12	*	97
3/6/2014	10,9	16,8	6,0	8,8	11,8	5,9	0,1	0		81
4/6/2014	10,7	16,4	5,5	7,9	13,5	3,6	95,5	3,2	*	89
5/6/2014	11,7	16,7	6,9	11,5	14,0	9,5	76,92	5,8	*	97
6/6/2014	11,7	17,3	6,6	13,5	18,8	9,7	13,58	0,1	*	93
7/6/2014	11,7	15,8	7,4	14,3	19,3	9,4	3,8	0		92
8/6/2014	11,9	16,9	7,4	17,7	23,3	14,4	5,2	0		93
9/6/2014	12,6	17,6	7,6	20,0	25,4	15,7	8	0		85
10/6/2014	11,6	15,8	7,6	13,3	18,4	8,9	0	0		91
11/6/2014	10,6	14,8	6,6	12,3	17,2	7,8	34,7	0		92
12/6/2014	11,7	17,7	6,5	17,6	21,5	13,8	35,1	0		95
13/6/2014	11,1	16,9	6,0	22,0	25,1	20,0	3,9	0,3	*	75
14/6/2014	10,2	16,2	5,1	15,7	22,2	9,5	22	10,3	*	92
15/6/2014	10,0	16,2	4,5	11,8	18,8	6,9	40,5	0,1	*	
16/6/2014	11,6	17,0	6,9	10,8	15,5	5,7	30,3	0		
17/6/2014	11,7	16,6	7,0	12,8	18,2	6,9	57	0		
18/6/2014	9,7	15,2	5,0	14,9	19,2	11,4	17,9	0		
19/6/2014	8,7	14,7	3,3	13,1	19,9	7,7	2	0		
20/6/2014	9,2	15,6	3,8	9,8	16,9	4,1	55,5	5,2	*	
21/6/2014	10,5	16,1	5,2	14,9	17,6	11,2	5	4,4	*	
22/6/2014	11,6	16,8	6,6	13,9	16,1	11,0	79,1	0		
23/6/2014	12,3	16,1	8,8	11,3	14,2	8,0	43	0		
24/6/2014	11,3	15,3	7,1	8,9	11,5	5,5	15	0		
25/6/2014	10,8	16,0	6,7	7,3	10,7	3,7	2,8	1,2	*	
26/6/2014	10,3	15,7	5,5	7,4	11,8	2,9	4,02	0		
27/6/2014	11,1	16,3	7,0	11,7	17,2	7,1	12,68	0		
28/6/2014	10,2	14,1	6,5	9,5	12,5	7,0	35,8	0		
29/6/2014	10,8	15,0	7,1	6,6	8,9	5,1	19,3	0		
30/6/2014	10,4	14,4	6,8	6,5	13,9	-1,0	34,6	0		

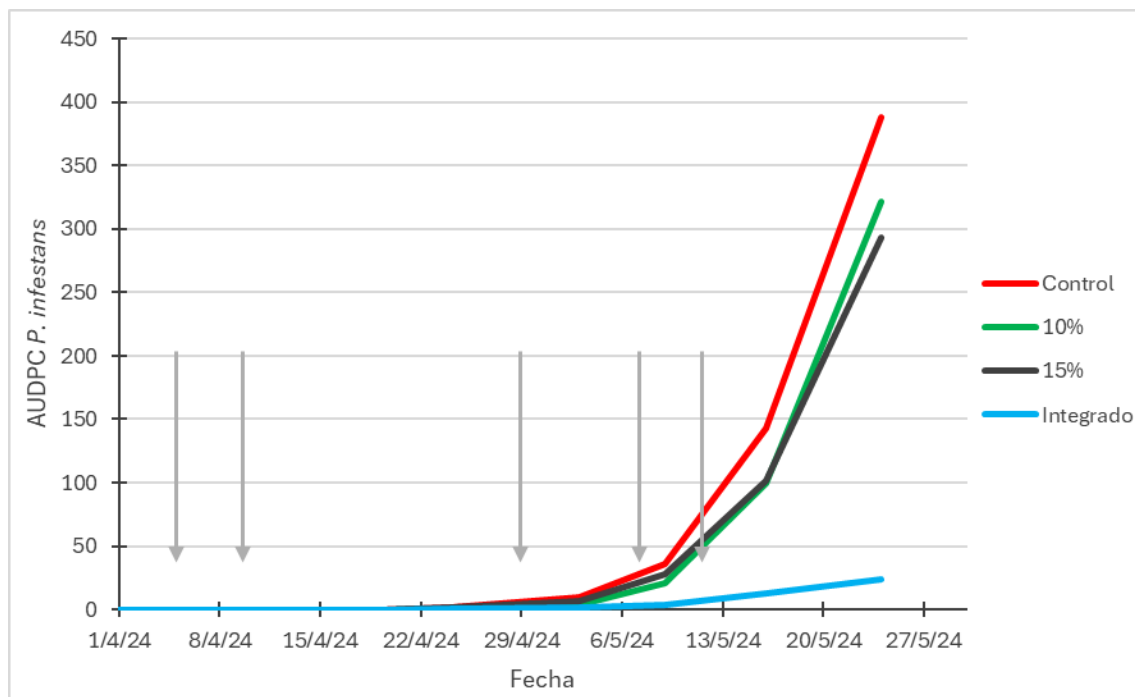
Nota. Adaptado de Datos agroclimáticos de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, s.f.).

Referencias Bibliográficas Anexo F

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (s.f.). *Banco de Datos Agroclimáticos*.
<https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>

Anexo G

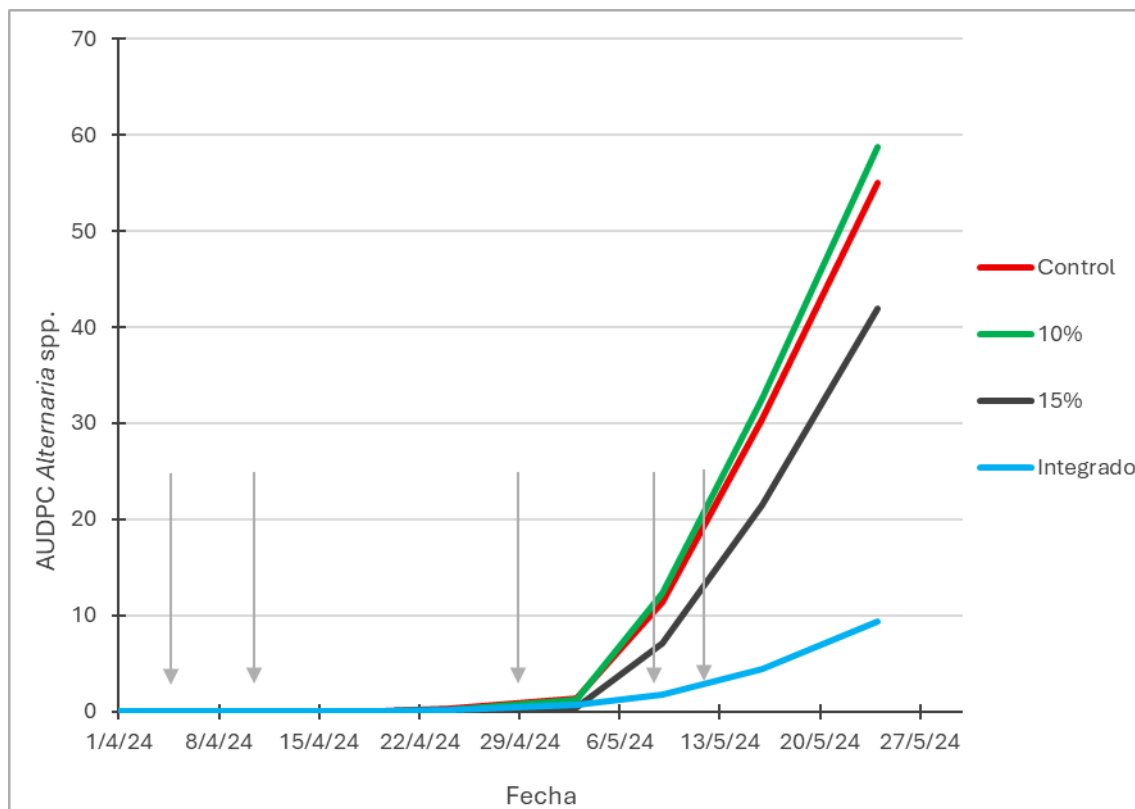
AUDPC para severidad de tizón tardío en hoja según tratamiento



Nota. Las flechas en gris indican los momentos de aplicación de los tratamientos.

Anexo H

AUDPC para severidad de tizón temprano en hoja por tratamiento



Nota. Las flechas en gris indican los momentos de aplicación de los tratamientos.

Anexo I

Rendimiento del cultivo diferenciado por tamaño de tubérculos en Kg/ha

Medias de Rendimiento por tamaño de tubérculos Kg/ha					
Tratamiento	Menor a 40 g	41-80 g	81-200 g	Mayor a 200 g	Descarte
T0	1.131 (135,27) A	3.033 (491,40) A	10.910 (993,87) A	4.914 (2.390,58) A	500 (938,35) A
T1	885 (135,27) A	2.541 (491,40) A	11.908 (993,87) A	6.453 (2.390,58) A	1.805 (938,35) A
T2	783 (135,27) A	3.056 (491,40) A	13.041 (993,87) A	5.213 (2.390,58) A	795 (938,35) A
T3	924 (135,27) A	2.296 (491,40) A	11.357 (993,87) A	10.292 (2.390,58) A	1.682 (938,35) A

Nota. Letras diferentes marcan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cada día (Tukey $p < 0,05$). Error estándar indicado entre paréntesis.