

INTRODUCCIÓN

La papa tiene su origen en la Cordillera de los Andes de América del Sur, es actualmente el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de consumo humano, después del arroz y el trigo (International Potato Center, s/f). La producción total mundial de cultivos supera los 374 millones de toneladas métricas. (Gonzales, 2021)

En Bolivia sólo el 6 % de los productores usa semilla certificada. El país produce al año 7.300 toneladas de semilla, Cochabamba es el principal productor, con cuatro mil toneladas El principal productor del tubérculo es La Paz con 31%, le siguen Cochabamba con 29 %, Potosí y Sucre con 11 % cada uno, Oruro con 7 %, Santa Cruz con 6 % y Tarija con 5 %. (Pereira, 2021)

La Marchitez Bacteriana de la papa (MB) o Podredumbre Parda causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* (Smith 1896), es considerada como la segunda enfermedad más importante después del “tizón tardío”, ya que limita la producción de papa en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. (French, 1993)

Esta enfermedad es severa en condiciones de alta temperatura y humedad siendo favorecida por otros patógenos del suelo (hongos y nemátodos principalmente) e insectos que afectan los órganos subterráneos de la papa. Dependiendo del grado de infestación y distribución de la bacteria en el suelo, la “marchitez bacteriana” puede ocasionar la pérdida total del cultivo o un bajo rendimiento del tubérculo (Anguiz, 1993). La diseminación de la enfermedad es variada; sin embargo, la habilidad *de R. solanacearum* de infectar y colonizar tejidos vasculares de la papa (como de otros cultivos y malezas) sin causar síntomas de la enfermedad es la principal forma de diseminación, introducción y establecimiento en muchas eco regiones del mundo. (French, 1993)

La solarización es un método de desinfección del suelo que consiste en cubrir un suelo debidamente humedecido, con una lámina fina de plástico transparente, durante 4 A 6

semanas en la temporada del año en la que la radiación solar y las temperaturas son más elevadas. La solarización incrementa la temperatura del suelo y produce cambios en la comunidad microbiana, así como en las propiedades físicas y químicas del mismo. Es un método con el objetivo de mejorar la salud del suelo para el siguiente cultivo, al mismo tiempo que se reduce el nivel de plagas y enfermedades edáficas. (Michel, 2020)

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La comunidad de la Huerta se caracteriza por ser una zona productora de papa *Solanum tuberosum* L, para el consumo, así también para semilla común, actualmente no se está produciendo semillas con categorías certificadas por el INIAF, la enfermedad de gran importancia que causa mayor susceptibilidad durante el ciclo del cultivo es la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) de esa manera afecta a la producción de semilla, también afectando al rendimiento de la producción de la papa para el consumo causando grandes pérdidas para los agricultores de la comunidad

Según investigaciones en el año 1995 en la comunidad La Huerta, los agricultores juntamente con el Ingeniero Eduardo Martínez, por primera vez visualizan plantas con síntomas de la marchitez bacteriana en el cultivo. (Alarcon, 2022)

La marchitez bacteriana ocasionada por *Ralstonia solanacearum*, es un problema importante en el cultivo de la papa en Bolivia, por las pérdidas directas que causa, Los síntomas externos más característicos de la enfermedad son marchitamiento, enanismo y amarillamiento del follaje. Éstos pueden aparecer en cualquier etapa del crecimiento del hospedante susceptible, aunque el marchitamiento total y colapso de la planta es más frecuente en plantas jóvenes. (Feliciano, 2013)

JUSTIFICACIÓN

Para la comunidad de la huerta, el cultivo de la papa constituye una de las principales fuentes de ingresos económicos. Ante el peligro que representa la marchitez bacteriana es necesario buscar métodos de control tales como, la solarización y la biosolarización,

etc. que nos permitan evitar su diseminación para preservar la sanidad de los suelos para tener una producción más rentable.

Uno de los principales problemas por los que atraviesan los productores de papa en la zona es la incidencia de enfermedades en el cultivo, como es la *Ralstonia solanacearum*, que es una enfermedad bacteriana muy difícil de controlar, ante ello una alternativa viable y ecológica para hacer frente a dicha problemática es la solarización de los terrenos, ya que los autores como Giovani, 2004 y López Tzoc 2004 afirman que este método es eficiente para el control de esta enfermedad bacteriana.

De igual manera la implementación de este método beneficiaría a los productores de la zona, puesto que se podría determinar que dichos métodos presenten un alto grado de eficacia como se presenta en la teoría, puesto que la zona de estudio presenta gran cantidad de terrenos infestados por este patógeno

Al realizar esta investigación se busca tener datos exactos a cerca de la eficiencia de la solarización y biosolarización para el control de *Ralstonia solanacearum*, puesto que si no se realiza se mantendría un alto grado de incertidumbre y susceptibilidad, respecto a la confiabilidad que sea un método eficiente en la zona.

HIPÓTESIS

Existe diferencia en la eficiencia de los tratamientos de biosolarización y solarización para eliminar *Ralstonia solanacearum*.

OBJETIVOS

Objetivo general

Mejorar las condiciones fitosanitarias de los suelos de la Comunidad La Huerta infestados con *Ralstonia solanacearum* evaluando la eficiencia de diferentes tipos de solarización para la siembra de papa (*Solanum tuberosum* L).

Objetivos específicos

- Evaluar la eficiencia de variantes de la solarización para el control *de Ralstonia solanacearum*, a través del porcentaje de incidencia y grado de severidad de la enfermedad.
- Evaluar el rendimiento de la producción en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) entre las variantes de solarización.
- Evaluación económica de los tratamientos en base al índice B/C.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ORIGEN

La papa se cultiva desde hace ocho mil años y su lugar de origen ha sido muy discutido. en este momento hay certeza que proviene de la región andina, probablemente de Perú, y, también, de la isla chiloé, ubicada al sur de Chile. en el siglo XVI los colonizadores españoles introducen la papa en Europa. a partir de ese momento el cultivo de papa se expande por el hemisferio norte hasta llegar, durante la revolución industrial, a convertirse en un alimento fundamental para los mineros y obreros, cuyas largas jornadas laborales requerían gran aporte de energía. en la actualidad la papa es un alimento que se consume en todo el mundo. (Borba, 2008)

1.2. TAXONOMÍA DE LA PAPA

- **Reino:** Vegetal
- **Phylum:** Telemophytae
- **División:** Tracheophytae
- **Sub división:** Anthophyta
- **Clase:** Angiospermae
- **Sub clase:** Dicotyledoneae
- **Grado Evolutivo:** Metachlamydeae
- **Grupo de Ordenes:** Tetraciclicos
- **Orden:** Polemoniales
- **Familia:** Solanaceae
- **Nombre científico:** *Solanum tuberosum* L.
- **Nombre común:** Papa

Fuente (Herbario Universitario (T. B), 2022)

1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y MORFOLÓGICA DEL CULTIVO.

Fariña, (2009) argumenta que la papa es una planta herbácea. Su hábito de crecimiento varía entre las especies y dentro de cada especie. Cuando todas las hojas (o casi todas) se encuentran cerca de la base o en la base de tallos cortos, y están cerca del suelo, se dice que la planta presenta las siguientes descripciones botánicas:

1.3.1. Raíces

Las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de una semilla o de un tubérculo. Cuando crecen a partir de una semilla, forman una delicada raíz axonomorfa con ramificaciones laterales. Cuando crecen de tubérculos, primero forman raíces adventicias en la base de cada brote y luego encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo. Ocasionalmente se forman raíces también en los estolones. (Fariña, 2009)

1.3.2. Tallos

El sistema de tallos de la papa consta de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen sólo un tallo, principal mientras que las provenientes de tubérculos-semilla pueden producir varios tallos. Los tallos laterales son ramas de los tallos principales. Las yemas que se forman en el tallo a la altura de las axilas de las hojas pueden desarrollarse para llegar a formar tallos laterales, estolones, inflorescencias y, a veces, tubérculos aéreos. (Fariña, 2009)

1.3.3. Estolones:

Los estolones pueden formar tubérculos mediante un agrandamiento de su extremo terminal. Sin embargo, no todos los estolones llegan a formar tubérculos. Un estolón no cubierto con suelo, puede desarrollarse en un tallo vertical con follaje normal. (Fariña, 2009)

1.3.4. Tubérculos:

Los tubérculos de papa son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: el basal, o

extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo expuesto, que se llama extremo apical o dista. (Fariña, 2009)

1.3.5. Brotes:

Los brotes crecen de las yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo y el color es una característica varietal importante. Los brotes pueden ser blancos, parcialmente coloreados en la base o el ápice, o casi totalmente coloreados. Los brotes blancos, cuando se exponen indirectamente a la luz, se tornan verdes. (Fariña, 2009)

1.3.6. Hojas:

Las hojas están distribuidas en espiral sobre el tallo. Normalmente, las hojas son compuestas, es decir, tienen un raquis central y varios folíolos. Cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal. La parte del raquis debajo del par inferior de folíolos primarios se llama pecíolo. Cada folíolo puede estar unido al raquis por un pequeño pecíolo llamado peciólulo, o puede estar unido directamente, sin peciólulo, y en este caso se llama folíolo sésil. (Fariña, 2009)

1.3.7. Flor:

El pedúnculo de la inflorescencia está dividido generalmente en dos ramas, cada una de las cuales se subdivide en otras dos ramas. De esta manera se forma una inflorescencia llamada cimosa. (Fariña, 2009)

1.3.8. Fruto:

Al ser fertilizado, el ovario se desarrolla para convertirse en un fruto llamado baya, que contiene numerosas semillas. El fruto generalmente es esférico, pero en algunas variedades son ovoides o cónicos. Normalmente, el fruto es de color verde y en algunas variedades cultivadas tienen puntos blancos o pigmentados o franjas áreas pigmentadas. (Fariña, 2009)

1.3.9. Semilla

Para la producción de la papa, es muy importante sembrar con semilla de alta calidad (semilla certificada) para garantizar buenos rendimientos y además de evitar la

infestación de suelos de plagas y enfermedades que pueden transmitirse si la semilla no es certificada.

Al margen de la calidad, es también importante que la semilla ya esté brotada, con múltiples y vigorosos brotes, lo que permitirá una emergencia uniforme y posterior desarrollo adecuado de las plantas.

1.2. Época de siembra

Es importante considerar las épocas del año para realizar las siembras: La variedad Desirée en las zonas bajas (menor a 2000 msnm) se puede sembrar en dos épocas claramente definidas: la siembra “temprana” que se realiza de marzo a mayo y la siembra “grande” de octubre a diciembre. En las zonas altas (mayor a 2000 msnm) se tiene tres siembras: La siembra “mishka” de julio – agosto, la siembra “grande” de octubre a mediados de diciembre y la siembra “lojro” en el mes de febrero. (Sepa, s.f.)

1.2.2. Densidad de siembra

La densidad de siembra del cultivo de papa es de 25.000 a 29.000 plantas/ha. La cantidad de semilla a usar es de aproximadamente 30 a 40 qq por hectárea, dependiendo de la zona, variedad, época de cultivo y sistema de producción. (Sepa, s.f.)

1.2.3. Cosecha y rendimientos

Finalmente es importante realizar la cosecha en su momento oportuno: Cuando la planta ha alcanzado su madurez fisiológica y que el tubérculo tenga el tejido epidérmico completamente desarrollado. Dejarlo más tiempo al tubérculo en el suelo, significa exponer al ataque de plagas propias de la papa e incluso de los organismos oportunistas que habitan en el suelo, perjudicando al producto. (Sepa, s.f.)

1.3. REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN

1.3.1. Clima

Los climas que se requieren para el cultivo de papa son templados, semitemplados, templados húmedos, tropical, subtropical, como también requiere de climas fríos, secos y ventosos.

1.3.2. Temperatura.

Para el cultivo de la papa, la mayor limitante son las temperaturas, ya que si son inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C afectan irreversiblemente el desarrollo del cultivo, mientras que la temperatura óptima para una mejor producción va de 17 a 23 °C. Por ese motivo, la papa se siembra a principios de la primavera en zonas templadas y a finales de invierno en las regiones más calurosas. En los lugares considerados una planta termoperiódica, es decir, necesita una variación de las temperaturas entre el día y la noche. Dicha variación debe ser entre 10 a 25 °C en el aire. La temperatura del suelo adecuada para el desarrollo de tubérculos debe ser de 10 a 16 °C durante la noche y de 16 a 22 °C en el día. Cuando la oscilación de estas temperaturas es menor a las especificadas anteriormente, se ve afectado el crecimiento y tuberización de la papa. (Intagri, 2017)

1.3.3. Altitud.

La altitud puede variar, pues el cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa. (Intagri, 2017)

1.3.4. Suelo

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha. Sin embargo, se pueden alcanzar altas producciones en suelos con textura arcillosa al aplicar materia orgánica y regulando las frecuencias de riego. Suelos con una profundidad efectiva mayor 50 cm, son necesarios para permitir el libre crecimiento de estolones y tubérculos de la planta. El cultivo tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5.0 a 7.0. Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de la papa. Es recomendable tener suelos con una densidad aparente de 1.20 g/cm³, contenido de

materia orgánica mayor a 3.5 % y una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m. (Intagri, 2017)

1.4. Pendiente del terreno.

La pendiente tiene una relación muy estrecha con la retención y captación de agua, además de la profundidad del suelo y acceso de maquinaria. Para una buena productividad del cultivo se recomienda una pendiente de 0.0 a 4.0 %, pendientes mayores a 4.1 % ocasionan que disminuya la producción del tubérculo. Una manera de manejar las fuertes pendientes es mediante el surcado en curvas a nivel o mediante terrazas. (Intagri, 2017)

1.4.1. Recomendaciones de fertilización para el cultivo de papa consumo, en base a la interpretación de los resultados del suelo

Tabla 1. Interpretación del análisis de suelo

Interpretación del análisis de suelo	Nutrientes			
	N	P O	K O	S
	Kg/ha que se deben aplicar			
Bajo	150 a 200	300 a 400	100 a 150	40 a 60
Medio	100 a 150	200 a 300	60 a 100	20 a 40
Alto	50 a 100	60 a 200	30 a 60	1 a 20

FUENTE: (Valverde, 1998)

1.4.2. Aplicación de abono orgánico y fertilización

Tradicionalmente la papa se abona una sola vez con estiércol de distintos tipos, realizándose antes de la siembra o durante la siembra, con una aplicación de aproximadamente 80 a 120 qq/ha de guano de ovinos y bovinos. En otros casos se utilizan productos químicos fertilizando dos veces: una durante la siembra y otra durante el aporque. Los elementos nutritivos más importantes son el nitrógeno, fósforo

y potasio, la absorción por la planta ocurre en un 70-75 % entre la emergencia e inicio de la floración.

1.5. Riego

El riego en el cultivo de papa se realiza generalmente por inundación y mediante riego por gravedad, que requiere grandes cantidades de agua y no es muy eficiente, ya que provoca erosión de suelos, pero es el más aplicado en el país. El riego por aspersión y el riego por goteo son las mejores opciones para lograr un uso eficiente del agua, aunque en Bolivia estas formas de riego son poco utilizadas.

Según FAO, para un alto rendimiento, los requerimientos de agua para el cultivo (ET_m) para una cosecha de 120 a 150 días son de 500 a 700mm, dependiendo del clima. (Requerimientos de riego de la papa, s.f.)

1.6. Aporque

Esta labor agronómica consiste en llevar tierra de la base del surco hasta el cuello de la planta y tiene las siguientes ventajas:

- Aísla los tubérculos de insectos como son las polillas o palomillas.
- Aísla los tubérculos de la exposición a la Luz, evitándose el “verdeamiento”.
- Mejora el drenaje de los surcos.
- Cumple “control cultural” de malezas.
- Da mayor anclaje a la planta.
- Cubre productos aplicados en ese momento como fertilizantes, insecticidas, etc.

Se la realiza una o dos veces: la primera se hace aproximadamente pasados los 20 días después de la siembra, dependiendo del crecimiento de la planta; la segunda se realiza aproximadamente a los 30 días después de la siembra. (Cauthin, 2012)

1.7. Control de malezas

Las malezas compiten por luz, agua y nutrientes, además son hospederos de plagas y enfermedades que afectan al cultivo, por esta razón se realiza su control. En sistemas

tradicionales de producción este control se realiza manualmente, utilizando herramientas adecuadas para este efecto. (Cauthin, 2012)

1.2. Principales Países productores de papa de Latinoamérica



1.3. Importancia económica de *Ralstonia solanacearum*

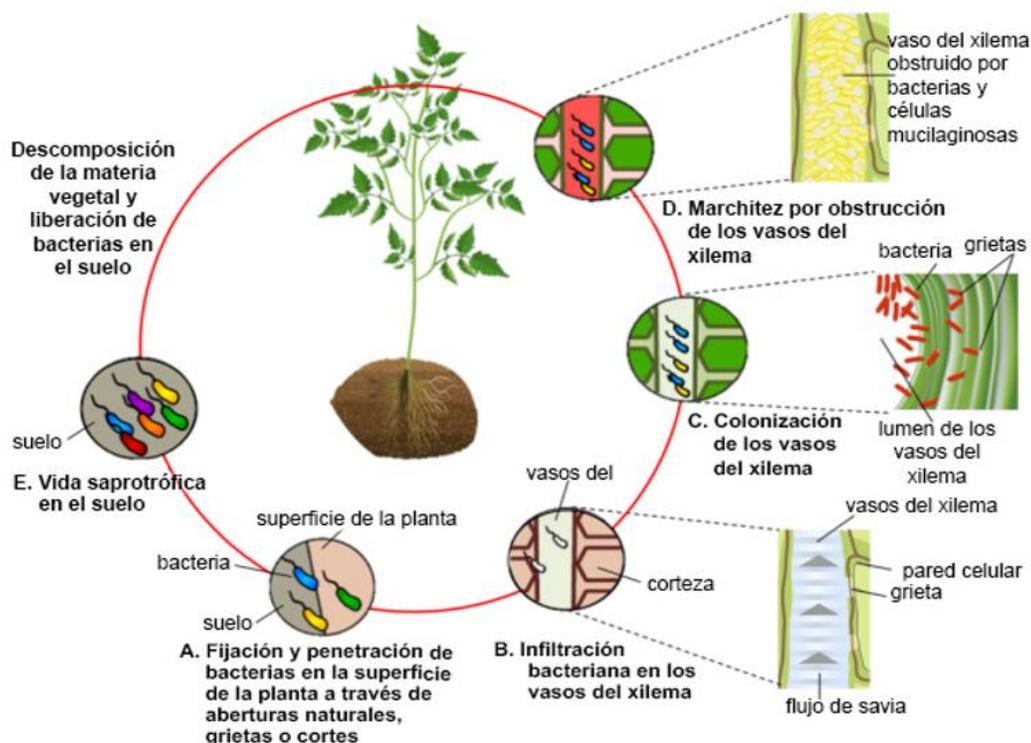
Esta bacteria es responsable de pérdidas considerables que se producen en muchos cultivos hortícolas y en algunas solanáceas como es el cultivo de la papa donde deja inutilizadas grandes extensiones de tierras contaminadas con el agente (Iglesia et al., 2008). *Ralstonia solanacearum*, está distribuida por todo el mundo y tiene un amplio rango de hospedantes con variaciones fenotípicas y genotípicas, representando una grave amenaza para las producciones (Wicker et al., 2002). Cuando esta bacteria se instala en un país o región, las posibilidades de diseminación son múltiples (suelo infectado, aguas, labores culturales, etc.), ya que es un patógeno de suelo y persiste en él por muchos años aún sin el hospedante específico. Es importante considerar el origen de las semillas portadoras de las primeras infecciones para aplicar las medidas fitosanitarias.

1.3.1. Etapas del ciclo de vida de *Ralstonia solanacearum*

A) Las bacterias se ven atraídas por la exudación de la raíz del anfitrión, se adhieren a la superficie de la raíz y la penetran a través de aberturas naturales, grietas y cortes. B) Las bacterias se abren paso a través de la corteza (el tejido bajo la capa superficial) hasta los vasos del xilema o tejido conductor por el que se desplaza la savia del suelo a las partes aéreas de la planta. C) Las bacterias atraviesan las cavidades de las paredes de los vasos del xilema de la planta y colonizan los vasos. D) Las bacterias entran en los vasos, los habitan y los llenan de células y célula mucilaginosas. Esto dificulta el flujo de agua, lo que provoca marchitamiento. E) La planta anfitriona sufre un marchitamiento excesivo y muere. Con el tiempo, las partes de la planta se marchitan y las bacterias se van al suelo hasta que haya otro anfitrión adecuado disponible. (Tariq Alam, 2022)

R. solanacearum es un patógeno genéticamente diverso, con un amplio rango de anfitriones (más de 400 especies de plantas anfitrionas) que pertenecen a diferentes grupos genéticos (cepas y razas). Sin embargo, la gravedad de la enfermedad conferida por cada cepa varía según la planta anfitriona. El tiempo que la bacteria puede sobrevivir en el suelo sin hospedarse en otra planta también varía y depende de diversos factores, como la humedad del suelo, la materia orgánica y la disponibilidad de anfitriones alternativos. El manejo de los cultivos únicamente mediante rotaciones es difícil, por lo que se necesita una estrategia de manejo integrado de la enfermedad para controlar el patógeno de la marchitez bacteriana de manera eficaz. (Tariq Alam, 2022)

Grafica 1. Ciclo de vida de *Ralstonia solanacearum*



Fuente: (Tariq Alam, 2022)

1.3.2. Prospección y diagnóstico

La inspección de los campos de papa es de gran importancia para los esquemas de certificación de semilla. De esta manera se identifican las áreas infectadas donde los servicios nacionales de protección de cultivos darán las medidas necesarias sobre el control y la cuarentena. Asimismo, el diagnóstico precoz de la enfermedad permite que los agricultores puedan definir una adecuada estrategia de manejo. El diagnóstico en los campos infestados con MB se puede realizar mediante la identificación de los síntomas en el follaje y tubérculos durante el período vegetativo o durante la cosecha.

1.4. Síntomas en el follaje

1.4.1. Marchitez unilateral y total de la planta de papa

El síntoma característico de la enfermedad es la marchitez, y a veces un ligero amarillamiento. La marchitez puede iniciarse en un solo lado de la hoja, tallo o planta.

Otro de los síntomas consiste en un oscurecimiento de los haces vasculares que se puede observar externamente o al hacer un corte transversal del tallo. Si el desarrollo de la enfermedad es rápido, toda la planta se marchita sin mostrar amarillamiento. O el tallo enfermo puede marchitarse completamente y secarse, mientras que el resto de la planta permanece aparentemente sano. (S. Priou, 2017)

1.4.5. Síntomas en el tubérculo

1.4.6. Exudado bacteriano en los ojos del tubérculo

Cuando la infección es grave los síntomas externos en el tubérculo son visibles durante la cosecha formando un exudado bacteriano que se concentra en los ojos del tubérculo o al extremo del estolón, ocasionando que la tierra se adhiera a las secreciones.

1.4.7. Exudado bacteriano del anillo vascular. - El síntoma del tubérculo se describe por lo general como pudrición parda. Un corte transversal en el tubérculo muestra una coloración marrón del anillo vascular y si se presiona ligeramente, exuda un mucílago lechoso. (S. Priou, 2017)

También puede ocurrir que la exudación sea en forma natural sin necesidad de ejercer presión. (S. Priou, 2017)

1.4.8. Necrosis por infección secundaria. - El anillo vascular o el tubérculo entero se pueden desintegrar completamente en las etapas más avanzadas de desarrollo de la necrosis. Esto a menudo incluye una infección secundaria con bacterias saprofitas (*Erwinia spp.*, *Clostridium sp.*) u hongos (*Fusarium sp.*, *Pythium sp.*) (S. Priou, 2017)

1.4.9. Diagnóstico en campo

1.5. Prueba del flujo bacteriano. - Es necesario efectuar una prueba de diagnóstico ya que la marchitez de la planta causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* puede confundirse con los síntomas inducidos por otros agentes patógenos como *Fusarium eumartii*, *Verticillium sp.*, *Erwinia chrysanthemi*, por daños mecánicos o por los causados por insectos en la base del tallo. El diagnóstico en el campo se puede realizar fácilmente: se corta un pedazo de 2-3 cm de largo de la base del tallo y se coloca en agua limpia en un recipiente de vidrio. Se puede sujetar el tallo con un clip abierto para

mantener su posición vertical. En pocos minutos se observarán filamentos finos y lechosos que emanan del tallo cortado. Este exudado lechoso del tallo refleja la presencia de *R. solanacearum* en el sistema vascular. (S. Priou, 2017)

1.5.1. Prueba de KOH

Los síntomas de la pudrición parda en los tubérculos se pueden confundir con los de la pudrición anular causada por *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (antes llamada *Corynebacterium sepedonicum*). Se puede realizar una prueba diferencial y rápida directamente con el exudado bacteriano del tubérculo para diferenciar ambas bacterias. Se colocan dos gotas de hidróxido de potasio (KOH) al 3% en el exudado y se mezclan con una ansa o un mondadientes de madera durante 10 segundos. La formación de un hilo lechoso al levantar el mondadientes indica la presencia de *R. solanacearum* (bacteria Gramnegativa). En el caso de *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus* (bacteria Grampositiva), no se forma el hilo. (S. Priou, 2017)

1.5.2. Identificación en laboratorio

Aislamiento de *R. solanacearum* en medio Kelman modificado El agente causal de la MB puede ser aislado de tubérculos o tallos infectados sembrando el exudado bacteriano del tubérculo o dos gotas de la suspensión obtenida en la prueba del flujo vascular en medio Kelman modificado (TZC con solo 2.5 g de dextrosa). Después de 48 h de incubación a 30°C, las colonias fluidas y ligeramente rojizas de *R. solanacearum* se distinguen fácilmente de otras bacterias saprofíticas (colonias redondeadas y de color rojo oscuro). Prueba de patogenicidad Para confirmar la patogenicidad de *R. solanacearum* se inoculan plantas de tomate o de papa con un cultivo purificado en medio Kelman. Se inoculan los tallos de plántulas jóvenes de papa o de tomate inyectando 20 µl (o sea una gota) de una suspensión bacteriana de *R. solanacearum* a 10⁸ ufc/ml con una jeringa de propileno de un milímetro y con una aguja hipodérmica. Otro método de inoculación consiste en insertar un mondadientes con bacterias crecidas en medio Kelman en la axila de la tercera hoja. Las condiciones de invernadero que favorecen el desarrollo de la enfermedad son 28±4°C, H.R. de 80-90%, y luz natural. Las plantas se riegan normalmente hasta un día antes de la

inoculación. Si el aislamiento es una variante patogénica de *R. solanacearum*, la marchitez de las plántulas de tomate o de papa se puede iniciar en menos de una semana o, en todo caso, en cuatro semanas. Una vez que aparecen los síntomas, se puede realizar la prueba del flujo vascular y aislar nuevamente el agente patógeno según el procedimiento anteriormente descrito. (S. Priou, 2017)

1.6. Manejo integrado de la marchitez bacteriana

El uso de semilla sana y la siembra en suelos libres del patógeno son los principales componentes para controlar y erradicar la marchitez bacteriana. Sin embargo, muchos son los factores adicionales que influyen en la incidencia de la bacteria tales como las condiciones ambientales (la temperatura y la humedad del suelo), la rotación con plantas no hospedantes, el uso de variedades menos susceptibles y de prácticas culturales (saneamiento y control de nematodos). Por lo tanto, sólo una estrategia de control integrado puede tener éxito para reducir la incidencia de la MB, e incluso erradicarla. Esta estrategia es específica para cada lugar. De los factores de control existentes y disponibles, se deben seleccionar los que son factibles, apropiados y eficaces para una determinada localidad. Además, se deben tener en cuenta los factores sociales y económicos que influyen en las decisiones de los agricultores dentro del esquema de manejo. (S. Priou, 2017)

- Uso de semilla sana
- Saneamiento y prácticas culturales
- Eliminación de rastrojos
- Eliminación de los tubérculos podrido
- Eliminación de malezas
- Eliminación de plantas voluntarias de papa
- Eliminación de plantas marchitas
- Des infestación de herramienta
- Des infestación de la maquinaria

- Otras prácticas culturales
- Rotación
- Rotación con cereales
- Rotación con liliáceas y brasicáceas
- Rotación con leguminosa
- Rotación con cucurbitáceas
- Evitar el cultivo del tomate
- Evitar otros cultivos de solanáceas
- Evitar el cultivo de jengibre y maní

1.6.1. Cuarentena Una vez que se haya detectado la enfermedad en un área, debe ser declarada en cuarentena para evitar la diseminación de la MB hacia zonas no infectadas. Las medidas cuarentenarias restringen la producción de semilla de papa y prohíben la comercialización de papa de consumo hacia los países o regiones que no han sido afectadas con MB. Esta situación afecta la economía de las regiones en cuarentena. (S. Priou, 2017)

1.6.2. Evitar el transporte de tubérculos-semilla infectados a zonas no contaminadas

1.6.3. Definición de una estrategia de control Se han definido los componentes más eficientes para el control de la MB. En base a esta información, los principales factores que se deben considerar para el desarrollo de una estrategia para el control de la enfermedad. (S. Priou, 2017)

1.6.4. Detección en tubérculos con infección latente

El método clásico para detectar una infección del tubérculo consiste en incubarlo durante 3 a 4 semanas a 30°C, y observar si existe o no exudado en los ojos o cortar el tubérculo transversalmente para observar la presencia de exudado en el anillo vascular. Sin embargo, este método toma mucho tiempo y espacio y puede que no detecte las

infecciones leves. Por esta razón, el CIP ha desarrollado una técnica simple, sensible, rápida y económica para detectar la infección latente en el tubérculo: ELISA-NCM (prueba inmunoenzimática en la membrana de nitrocelulosa). El kit se está distribuyendo a los programas de semilla en todo el mundo. (S. Priou, 2017)

1.7. Métodos de evaluación de la resistencia a MB

1.7.1. Evaluación en campo

La evaluación de la resistencia de la papa a la MB requiere de un campo con un nivel moderado y razonablemente uniforme de infestación (entre 30 y 50% de incidencia de marchitez en el cultivo anterior de papa). Se debe identificar la raza/biovar de las variantes presentes en el campo (las razas 1 y 3 pueden estar presentes juntas). El diseño del lote debe seleccionarse según el número de tubérculos por clon que se va a analizar y la uniformidad de la diseminación del inóculo en el campo, pero con por lo menos 20 tubérculos por genotipo (en 4 repeticiones de 5 tubérculos). Durante el periodo vegetativo, se registra el número de plantas marchitas una vez por semana a partir de los 40 hasta los 80 días después de la emergencia. Durante la cosecha, también se registra la infección visible de los tubérculos (e infección latente si no se ha producido marchitez durante el periodo vegetativo) y el rendimiento de los tubérculos con tamaño comercial. (S. Priou, 2017)

1.7.2. Inoculación en invernadero

Los esquejes apicales de las plantas de papa o los esquejes de los tubérculos brotados se siembran en macetas pequeñas conteniendo un sustrato adecuado (por ejemplo, una mezcla de suelo, musgo y arena a la proporción 2:1:1). Sin embargo, los mejores resultados se han obtenido usando el sustrato Promix BX® (Premiers Brands, INC, Stamford, Canadá). A la siembra se debe aplicar un fertilizante completo (NP-K 20-20-20 diluido al 0.5% en agua). Cuando las plantas alcanzan aproximadamente 15 cms de altura se llevan al invernadero un día antes de la inoculación. 20 plantas por genotipo. Las plantas se incuban durante 30 días y los índices de la enfermedad se registran cada semana en base a la siguiente escala: • 1 = planta sin síntomas; • 2 =

planta una hoja marchita; • 3 = planta con hasta el 50% de marchitez • 4 = planta con hasta el 75% de marchitez; • 5 = planta completamente marchita. (S. Priou, 2017)

1.8. Solarización

La solarización del suelo es un método físico de control de plagas y enfermedades, mediante el uso de cubiertas plásticas negras o transparentes en la parte superior y húmeda del suelo. El plástico transparente permite que la energía radiante del sol sea transmitida y atrapada como longitud de onda larga en el suelo, calentando los niveles superiores; el plástico negro permite cierto calentamiento, pero no al grado del plástico transparente. Durante la solarización en los meses cálidos de verano, las temperaturas se incrementan a niveles letales para la mayoría de los organismos que causan enfermedades en las plantas, semillas de malezas y nematodos. La solarización también mejora la estructura del suelo e incrementa la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes esenciales. (Giovanni, 2004)

Las láminas pueden dejarse sobre el suelo por un período de 4 a 6 semanas recomendablemente, sin embargo, por existir algunos organismos resistentes, este se puede prolongar hasta 8 semanas; pasado el período indicado del suelo, se descubre y se procede a la siembra. (Giovani, 2004)

Algunas plagas del suelo y malezas han sido parcialmente controladas en algunos vegetales y frutos con aplicación de pesticidas incluyendo Bromuro de metilo y Cloropicrina, como siempre el uso de estos fumigantes en el suelo es muchas veces indeseable debido al grado de toxicidad de estos para animales y humano, sus residuos tóxicos en los materiales de las plantas y el suelo. La complejidad del tratamiento del suelo y su alto costo, además, las restricciones de muchos pesticidas aplicados al suelo, como resultado de estas restricciones ha habido un mayor énfasis en métodos de control no químicos. (Giovani, 2004)

1.8.1. Esencia del Método y Condiciones de Implementación

El principio básico en el cual se basa la solarización reside en la tolerancia a los cambios de temperatura de los organismos nocivos del suelo, los cuales tienen carácter

mesofílico, es decir no soportan temperaturas por encima de los 31 a 32 °C, por lo que su eliminación es factible si se logran tales niveles térmicos en el suelo. (Giovani, 2004)

Este método fue ensayado y propuesto por primera vez por Katan en Israel, es un proceso hidrotérmico que crea condiciones de alta temperatura en el suelo, lo que resulta principalmente en el período de pre-siembra o preplantación para controlar un buen número de plagas del suelo. (Giovani, 2004)

Para que la solarización del suelo tenga un control adecuado de plagas es necesario tener en cuenta ciertas condiciones:

1.8.2. Características del Plástico

Regularmente se utilizan películas plásticas de polietileno, aunque en algunos casos se ha utilizado de color negro con el mismo fin, el polietileno es el plástico más recomendado ya que permite mayor paso de radiación solar. La mayoría de las experiencias de la solarización demuestran que los plásticos más delgados son los más eficientes que los gruesos debido a que se adhieren mejor a la superficie del suelo y evitan la presencia de bolsas de aire que ocasionarían el enfriamiento del mismo. (Giovani, 2004)

1.8.3. Preparación del Suelo

Es indispensable evitar la presencia de agregados y terrones grandes, que formen bolsas que enfríen el suelo, si se quiere evitar esto la preparación del suelo debe ser cuando este está húmedo lo cual permite un desmenuzamiento adecuado de los terrones. La adsorción de la radiación por el suelo y consecuentemente el calentamiento del mismo es mayor si la película de plástico se encuentra estrechamente unida al suelo con el mínimo de espacio entre el plástico y el suelo. (Giovani, 2004)

Los suelos húmedos ya sean irrigados antes o después de la colocación del plástico incrementan la sensibilidad térmica de la microflora y micro fauna del suelo, así como la transmisión de calor del suelo. (Giovani, 2004)

La solarización del suelo es más atractiva cuando el suelo tiene una saturación del 79% o más de su capacidad. (Giovani, 2004)

1.8.4. Régimen de Radiación Solar

Uno de los factores que mayor impacto van a mostrar sobre los factores de la técnica de la solarización es sin lugar a dudas la cantidad de radiación solar disponible en la región en forma general se puede establecer que a mayor intensidad de la radiación solar se obtiene una mayor temperatura del suelo y consecuentemente se puede esperar una drástica reducción de los niveles de hongos fitopatógenos. (Giovani, 2004)

1.8.5. Tiempo de Permanencia del Plástico

En el terreno Se ha observado que existe una correlación positiva entre el tiempo de exposición de las películas plásticas y control de microorganismos y plagas del suelo. En condiciones de intensa radiación solar se requiere únicamente de 10 a 15 días de solarización para la desinfección adecuada del suelo. Aunque como lo indica Elmore, algún organismo relativamente resistente al calor puede requerir hasta ocho semanas para su control. (Giovani, 2004)

1.8.6. Polietileno y sus características:

EL polietileno, uno de los materiales plásticos importantes usados en la agricultura, fué introducido en la escala comercial en 1,939. Las características que han permitido la diseminación de su uso son: su bajo costo, su fácil proceso, excelente resistencia química, su reflexión y flexibilidad, libre de olor y toxicidad, baja permeabilidad al vapor de agua y la existencia de capas delgadas y transparente. Su densidad es cerca de 0.92 g/cm^3 . Este es grandemente transparente a la luz en el espectro de 0.4-16 μm , excepto por dos bandas de absorbanza cerca de 7 y 14 μm en el espectro infrarrojo. El polietileno reduce el calor por convección y la evaporación del agua del suelo a la atmósfera, también es muy poco permeable a los gases que se producen por calentamiento del suelo y que juegan un papel importante en el control de patógeno. (Ramos, 1994)

1.8.6. Producción de calor

La temperatura del suelo varía de acuerdo a un ciclo diurno dentro de un ciclo anual, como cualquier otro periodo arbitrario esta en función del tiempo, frecuencia de

radiación, temperatura de la superficie del suelo y la intensidad de la radiación.

El calor es debido a la eliminación de la evaporación en un 80%, a la convección de calor durante el día y parcialmente al efecto de invernadero proporcionado por la capa de polietileno.

Como resultado de la formación de gotitas de agua en el interior de la superficie de la capa de polietileno, su transmisión de radiación de honda larga es grandemente reducida, resultando en un mejor calentamiento debido a un incremento en el efecto de invernadero.

La energía es perdida del suelo en forma de radiación de onda larga (dependiendo de vapor de agua y las nubes) a través de conducción y evaporación del agua.

El calor que penetra la superficie del suelo es almacenado en el suelo, y en la noche cuando el gradiente termal sujeto al régimen de temperatura a una profundidad, es invertido, este se pierde otra vez resultando en un ciclo reversible en la dirección del flujo de calor. La radiación global, compuesta de radiación solar de onda corta (0.2-4 μ m) y honda larga de radiación atmosférica (4- 80 μ m), es la fuente primaria de energía para el calentamiento de los suelos. La mayor parte de la energía es transmitida al suelo, sin embargo, alguna no es absorbida por el polietileno y es reflejada hacia la atmósfera. El calentamiento de los suelos incluye en adición a la intensidad de radiación solar, factores como temperatura y humedad del aire, velocidad del viento y las características del suelo como color, humedad y textura. (Ramos, 1994)

1.8.7. Temperatura y profundidades de desinfección

En la práctica, las poblaciones de patógenos del suelo son grandemente reducidas a temperaturas de 35 a 50 grados centígrados. en exposiciones que van desde minutos hasta horas para altas temperaturas y de días hasta semanas para las temperaturas más bajas. Rango de temperatura que estará variando desde la superficie hasta 30 cms de profundidad.

1.8.8. Ventajas y limitaciones del solarizado

- a) Favorece el crecimiento de las plantas al influir en la fertilidad de los suelos

- b) Destruye parásitos de las plantas, aun no conocidos
- c) Favorece el crecimiento de organismos benéficos, es decir que es menos detrimental del equilibrio biológico del suelo
- d) Mejora los agregados del suelo
- e) Es un método de desinfección económico y ambientalmente
- f) Controla un alto número de patógenos del suelo y malezas.
- g) No requiere de maquinaria sofisticada para su aplicación en áreas relativamente pequeñas
- h) Su bajo costo permite que se extienda a diversos cultivos.
- i) Reduce riesgos de fitotoxicidad por las altas temperaturas, liberando del suelo compuestos tóxicos para las plantas y no existe la acumulación de residuos químicos porque ambos mecanismos, físicos y biológicos están envueltos y porque una variedad de patógenos y malezas son controlados
- j) Tiene un efecto termal desinfectante de largo tiempo
- k) Se puede alternar satisfactoriamente con otros métodos de desinfección (Ramos, 1994)

1.8.9. La producción con el uso del solarizado

Durante la solarización del suelo poblaciones de *Pseudomonas fluorescentes* y bacterias gram positivas incluyendo especies de *Bacillus*, pueden ser reducidas del 78 a 86% comparados con suelos no solarizados asimismo poblaciones de actinomicetos son reducidos de 58 a 45 %. *Agrobacterium* spp. es altamente sensible a la solarización y sus poblaciones son reducidas arriba del 72 %, lo mismo ocurre con especies de *rhizobium*. (Giovani, 2004)

Experimentos de solarización del suelo en el Cáucaso (Territorio situado en el sudeste del continente europeo) en 1938; obtuvo un control efectivo de organismos patogénicos del suelo capturando energía solar bajo parcelas frías sujetas a la luz solar directa antes

de la siembra, por períodos suficientes para elevar hasta 40-60°C la temperatura de la capa superior del suelo (hasta una profundidad de 10 cm); así obtuvo el control de la pudrición negra de las raíces de las plántulas de tabaco causada por *Thielaviopsis brassicola* (Grooshevoy 1939, citado por FAO 2004)

Estudios realizados por Ambar y Soos (2002) citados por Narayanasam (2013), solarizaron el suelo, cubierto con láminas de polietileno y expuesto a la intemperie durante 8 y 10 semanas en verano, redujeron eficazmente la enfermedad de marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*.

Períodos de solarización al suelo (6, 7 y 8 semanas) con reporte de presencia de *R. solanacearum*; redujeron la aparición de la enfermedad en plantas de tomate, mostrando una incidencia entre 6.75% a 11.25% (López Tzoc 2004).

Gorissen et al. (2004) demostraron que la adición al suelo de estiércoles líquidos de cerdo disminuyó de forma significativa las poblaciones de *R. solanacearum* y también se redujo el número de plantas infectadas y con síntomas de la enfermedad. Por otra parte, encontraron que la solarización del suelo también redujo la supervivencia de la bacteria, pero no incrementó la supresividad del suelo evaluada por el desarrollo de síntomas en plantas, transcurridas 9 semanas tras el tratamiento. Combinando estiércoles de cerdo y solarización se obtuvieron los mejores resultados, aunque plantas aparentemente sanas en suelos tratados de esta forma, en ocasiones, mostraron la presencia bacteriana en estado latente, sobre todo en las partes bajas del tallo.

La biosolarización se mostró como el mejor de los tratamientos para el control de bacterias patógenas. Es importante considerar estos resultados respecto al efecto de las diferentes técnicas de desinfección del suelo o entre las alternativas ecológicas

1.9. Biosolarización.

La técnica de la biosolarización ha alcanzado gran interés a nivel mundial, debido a la tendencia a la producción orgánica; ya que acelera la desinfección de los suelos que poseen residuos de plaguicidas. En comparación con el modo natural, para asegurar la ausencia de estos residuos deben transcurrir varios años, dos para hortalizas y tres para

frutales; desde el momento en que se pone el cultivo en conversión, hasta que se obtiene la certificación como cultivo ecológico. Esta aceleración se atribuye a un incremento de los microorganismos implicados en el proceso de degradación, provocado por la biodescomposición de las enmiendas orgánicas y por un aumento de la temperatura (Perniola, Staltari, Chorzempa y Molina, 2012).

La biosolarización es una técnica de bajo impacto ambiental para la desinfección de suelos en cultivos intensivos que puede ser utilizada como método alternativo al bromuro de metilo. La misma consiste en la incorporación al suelo de enmiendas orgánicas (estiércoles, abonos verdes, residuos orgánicos de la industria, entre otras), y el posterior cubrimiento del mismo con polietileno de baja densidad.

Los fundamentos de esta técnica combinan el aumento de temperatura del suelo generado por el sol y la acción de los microorganismos, que, al descomponer la materia orgánica, generan gran cantidad de gases y sustancias volátiles con efecto biocida, creando además un ambiente anaeróbico. Como consecuencia de estos procesos, se logra un eficiente control de la mayoría de las plagas, enfermedades y malezas presentes en el suelo, al mismo tiempo que se conservan y promueven los microorganismos benéficos. (ROSENBAUM, 2017)

La incidencia de la enfermedad no disminuyó con la biofumigación, pero el tratamiento de biosolarización controló ambas bacterias. Debido a este resultado, la biofumigación con solarización muestra una gran eficiencia para emplearse como técnica fumigante del suelo para el manejo de bacterias fitopatógenas. (Alonso, 2009)

1.10. Métodos de control de (*Ralstonia solanacearum*)

1.10.1. Control químico de *Ralstonia solanacearum*. - El método de control de patógenos más generalizado en la agricultura, especialmente en la lucha contra enfermedades fungosas y bacterianas, es el químico. El primer fungicida, descubierto en 1882, se conoció como la pasta bordelesa (Alexopoulos y col., 1996), y marcó el comienzo del control químico de las enfermedades en plantas. El control químico de la enfermedad en tomate provocadas por *Ralstonia solanacearum* se basa en el uso de

tratamientos con productos cúpricos de oxiclورو de cobre, sulfato cúprico, óxido cuproso, o Kasugamicina. Así como rociar plantas con estreptomycin antes del trasplante y aplicar mezclas de mancozeb y cobre tras el trasplante y antes de la incidencia de la enfermedad (Bolaños, 2006).

Tales métodos de control previenen la multiplicación bacteriana pero no son siempre controles adecuados del inóculo llevado en la semilla. Desafortunadamente, el uso frecuente de pesticidas y los antibióticos contra la planta y bacterias patógenas ha llevado a la selección de poblaciones bacterianas resistentes contra los antibióticos.

1.10.2. Control biológico

El control biológico es una de las tantas herramientas disponibles para utilizar en el programa de manejo integrado de enfermedades de las plantas. En años recientes, se han incrementado los casos exitosos de control biológico el cual se basa en emplear un agente de control con propiedades similares al patógeno y aprovechar una serie de interacciones ecológicas: competencia, antagonismo o antibiosis

1.10.3. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son biodegradables, amigables con el ambiente y poseen bajos o inexistentes niveles de toxicidad, lo que permite que sean utilizados en cualquier ambiente (Cheng et al., 2009). Las plantas tienen una capacidad casi ilimitada para sintetizar sustancias aromáticas, siendo la mayoría fenoles o sus derivados oxígeno-sustituídos. En general son metabolitos secundarios (es decir, que no tienen un papel esencial en el metabolismo de las plantas) de acuerdo a Walton y Brown (1999).

Mecanismos de acción de aceites esenciales contra *Ralstonia solanacearum*. Los aceites esenciales han demostrado poseer características insecticidas, antioxidantes, anti-bacteriano, antifúngicos, antiviral (Burt, 2004; Kordali et al., 2005). Se ha demostrado que los géneros *Origanum* (orégano) y *Thymus* (Tomillo), *Cinnamom* (Canela), tienen propiedades antioxidantes, relacionadas con los compuestos fenólicos, carvacrol y el timol que pueden ser utilizados bajo ciertas condiciones como fungicidas y bactericidas, para inducir la lisis rápida de la célula bacteriana (Basim et al., 2004).

Los mecanismos de acción de los diversos compuestos orgánicos de las plantas son variables; por ejemplo, la toxicidad de los fenoles se atribuye a la oxidación de compuestos en la célula del carvacol; se ha reportado que se encuentra presente en aceite esencial de orégano en un 60 a 70% y en tomillo 45%, la inhibición de crecimiento de muchos patógenos por carvacol ha sido reportada en varios artículos sin embargo, no se ha definido el mecanismo de acción de este (Cowan, 1999)

El aceite de tomillo puede generar un rompimiento de la membrana a través de los compuestos lipofílicos (Oussalah, 2006). Los triterpenos pueden actuar siguiendo diversos mecanismos en dependencia de su naturaleza química. Los triterpenos de naturaleza alcohólica pueden alterar la naturaleza coloidal del protoplasma celular provocando su muerte (Pelczar y Reid, 1992). De los alcaloides se ha postulado que se intercala con el ADN, el de las lectinas y polipéptidos se conoce que pueden formar canales iónicos en la membrana microbiana o causar la inhibición competitiva por adhesión de proteínas microbianas a los polisacáridos receptores del hospedero (Cowan, 1999). Otro estudio reporta que los componentes del aceite esencial interfieren con las funciones de permeabilidad de membrana celular (Lambert y col., 2004).

1.10.4. Métodos Físicos.

Los métodos físicos refieren al uso de calor, frío, o calor combinado con humedad (solarización). En relación al control de *R. solanacearum* el método físico tradicional ha sido y continúa siendo el más utilizado la solarización cuya evaluación local se describió en la primera parte de este informe y se detalla con más profundidad a continuación. (Rybak M. y., 2016)

1.10.5. Desinfección con vapor de agua:

Es un método de desinfección del suelo en el que se emplea el vapor de agua como desinfectante de todos los parásitos existentes en el suelo. Dicho vapor se obtiene de una caldera móvil generalmente a 80 – 100°C que mediante una serie de tuberías y tubos es conducida al suelo donde va desinfectándolo poco a poco a una profundidad variable (5 – 15 cm) según el sistema utilizado, y con una duración media del

tratamiento comprendida entre 5 y 20 minutos. (DAG-UCLA, Universidad Agrícola, 2016)

1.11 Medidas fitosanitarias para el control de la marchitez bacteriana

El concepto de medida fitosanitaria representa el conjunto de actividades utilizadas para eliminar o controlar las plagas (virus, bacterias, hongos, insectos, nematodos) en los cultivos. Se debe comprender que la marchitez bacteriana es difícil de controlar ya que no se conocen actualmente productos químicos que, aplicados en las plantas antes o después de ocurrida la infección por la bacteria, eviten el desarrollo de la marchitez bacteriana. Los únicos productos disponibles son antibiótico y fumigantes que, aplicados al suelo antes de sembrar el cultivo, reducen la incidencia de la enfermedad. Pero es necesario estar consiente que el uso aislado de pocas medidas de control no rendirá el efecto deseado para desarrollar un cultivo exitoso. En consecuencia, es necesaria la aplicación integrada de estrategias de combate que sea práctico y razonable utilizarlas porque la contribución de cada una de ellas mejorará los niveles esperados de control. (Nieto, 2015)

1.11.1. *Trichoderma spp.*

La utilización de microorganismos antagónicos competitivos para la protección de los cultivos de los patógenos del suelo, ha tenido especial atención en especies del género *Trichoderma* como agente de biocontrol. (Nieto, 2015)

Los hongos del género *Trichoderma* empezaron a utilizarse a partir de 1970. En experimentos de control biológico y como antagonistas de fitopatógenos en suelo y semillas, con efecto inhibitor según especie empleada del género *Trichoderma*

Este hongo hiperparásito actúa por medio de una combinación de competencia por nutrientes, producción de metabolitos antifúngicos, enzimas hidrolíticas, y micoparasitismo; produce sustancias promotoras de crecimiento y activación radicular de las plantas, y la aplicación directa al suelo ofrece incluso una mayor protección a los cultivos.

Según estudios realizados por Ceballos et al. (2014), la utilización de *Trichoderma* sp, ha tenido un efecto positivo que permite recuperar el equilibrio biológico en el suelo, ya que logra reducir notoriamente las poblaciones de organismos patógenos como *Ralstonia solanacearum* raza 2.

En investigaciones in vitro y en condiciones de invernadero se demostró el efecto antagonista de cepas de *T. asperellum* sobre cepas de *Ralstonia solanacearum*, además redujo la incidencia de la marchitez bacteriana por más del 50% en el invernadero

Otro estudio in vitro, demostró que a través de las proteínas en los metabolitos líquidos de las cepas de *T. hamatum*, se determinó mayor actividad antimicrobiana contra el patógeno de la marchitez bacteriana causado por *R. solanacearum* (Nieto, 2015)

1.11.2. Microorganismos de montaña.

Los microorganismos de montaña (MM) están constituidos por colonias de hongos, bacterias, micorrizas, levaduras y otros organismos benéficos que se encuentran de manera natural en diferentes ecosistemas, en los cuales se genera una descomposición de materia orgánica, que se convierte en los nutrientes para el desarrollo de su flora. Dichos microorganismos son un cultivo mixto líquido de microorganismos benéficos entre ellos *Lactobacillus* spp, *Saccharomyces* spp, actinomicetos y hongos fermentadores, que se relacionan de forma simbiótica coexistiendo entre sí, lo cual ha generado efectos positivos para un ambiente en equilibrio

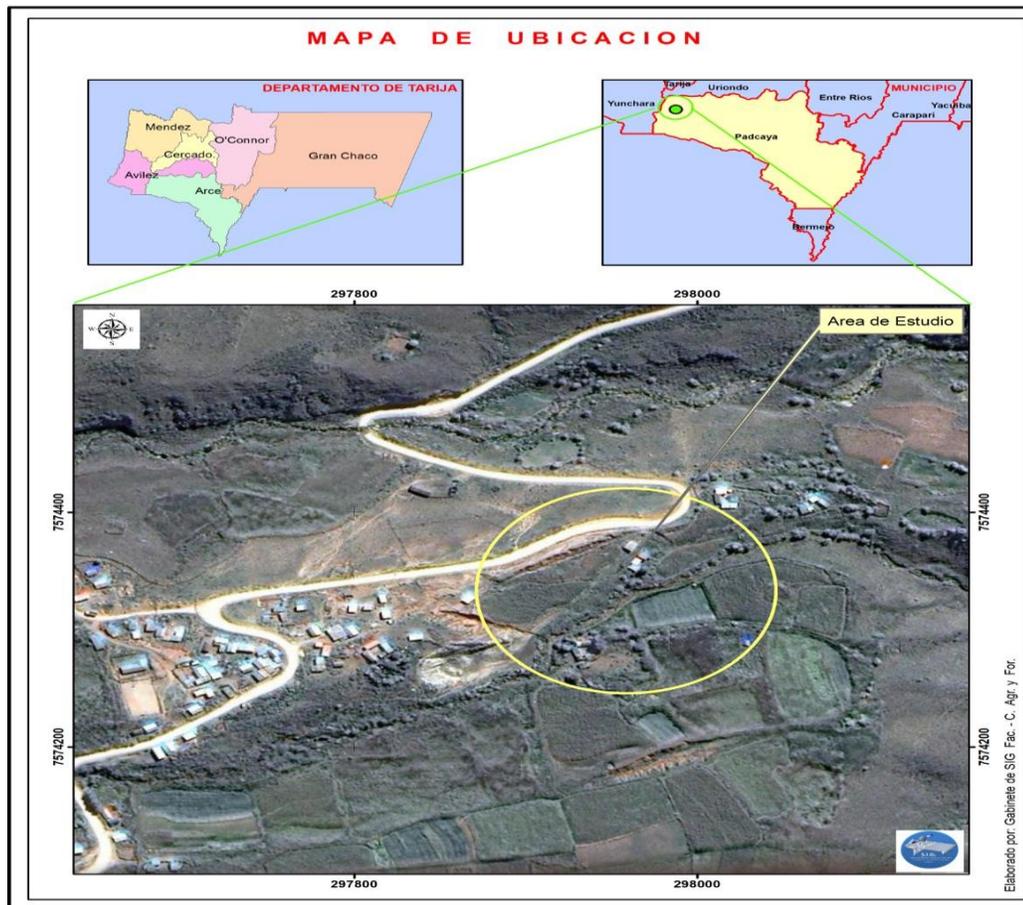
Investigaciones han demostrado que los microorganismos benéficos pueden incrementar el valor nutricional, aumentar la supervivencia y disminuir enfermedades mediante la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas; en contraste, existen estudios que han reportado efectos nulos o negativos con el uso de microorganismos, debido a que dependen de diversos factores como son; las especies de cultivo, los sistemas de producción, la escala de cultivo (laboratorio y granjas), la densidad de siembra, utilización de microorganismos provenientes de otros ambientes y la dosis de los microorganismos (Nieto, 2015)

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2. 1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo en la comunidad La Huerta, perteneciente al Cantón Camacho, Municipio Padcaya, Provincia Arce del departamento de Tarija esta comunidad se encuentra a 83 km de la ciudad de Tarija y se encuentra a una altitud de 2800 m.s.n.m.

Grafica 2. Mapa de ubicación



Fuente LAB DE SIG.

2.1.2. Características climáticas

La comunidad de la Huerta cuenta con un clima Sub húmedo, para llevar adelante esta investigación se toma en cuenta la estación climatológica de Cañas considerando los datos los datos meteorológicos para el análisis. La mencionada estación se encuentra ubicada a 21° 54 ' 08" de latitud Sur y 64°51 ' 03" de Longitud Oeste

2.1.3. Temperatura

La comunidad de la Huerta presenta una temperatura máxima de 26,2 °C y mínima de 12,8°C, con una temperatura diurna 22,13°C y nocturna de 14,6°C. Otorgado por la estación más cercana de Cañas, La temperatura varía a lo largo del año, dando los registros más altos en los meses de enero y febrero, las menores temperaturas se producen en los meses de junio y Julio.

2.1.4. Precipitación

Según la estación de Cañas la zona registra una precipitación mínima anual de 746, 9 mm. Registrándose la mayor precipitación anual con 1215.5mm.

2.1.5. Humedad relativa

La humedad relativa promedio registrada por la estación de cañas es de 67%. Una máxima humedad relativa de 81,0% registrada en el mes de febrero

2.1.6. Suelo

La comunidad La Huerta tiene suelos de textura arcillo limosa profundidad efectiva moderadamente profundo

Tabla 2. Vegetación de la zona

N°	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.	Poaceae
2	Chilca	<i>Baccharis</i> sp.	Compositae
3	Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Solanaceae
4	Duraznero	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsc	Rosaceae
5	Avena	<i>Avena sativa</i> L.	Poaceae
6	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	Myrtaceae
7	Churqui	<i>Acacia caven</i> (Molina) Molina	Leguminosae
8	Zapallo	<i>Cucurbita</i> sp..	Cucurbitaceae
9	Lacayote	<i>Cucurbita</i> sp..	Cucurbitaceae
10	Sauce llorón	<i>Salix babilónica</i> L.	Salicaceae
11	Yacon	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl) Robinson	Compositae
12	Maíz	<i>Zea mays</i> L.	Poaceae

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2022)

2.3. Antecedentes de la parcela

La parcela de investigación cuenta con los siguientes antecedentes:

La investigación se ha realizado en la parcela del señor Lucio Colque ubicada en el pie de monte coluvio aluvial formado entre el río la huerta y el río Camacho (río grande), en suelos inclinados afectados por erosión laminar y en cárcavas, suelos moderadamente profundos de textura arcillo limoso, según el ZONISIG 2001 tienen aptitud agrícola intensiva

- En el año 2009 y 2010 se realizó la siembra de papa variedad Desiré, donde se observaron algunas plantas contaminadas con marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* aproximadamente un 40% de incidencia, de acuerdo a la sabiduría

ancestral del productor, como parte de la rotación, el productor acostumbra dejar descansar por 8 a 10 años y posteriormente siembran dos años como estrategia de control, en el marco de la estrategia de rotación de cultivos, entonces con el fin de hacer rotación de cultivos posteriormente se procede a sembrar maíz para luego dejarle descansar hasta el año 2019

- El 2019 se sembró papa, en 2020 maíz, en el 2021 se sembró papa nuevamente donde al realizar la cosecha se observó gran cantidad la incidencia con un 50 % de la enfermedad de *Ralstonia solanacearum* al momento de realizar la cosecha debido a esto se procedió a sembrar avena como parte de rotación del cultivo
- En el área de estudio de la zona no se cuenta con estudios sobre la evaluación de la incidencia de la marchitez bacteriana, pero sin embargo en la comunidad vecina de Camacho que está a 2 km. en el año 1998 se realiza un muestreo de esta enfermedad. (Lea Martinez, 1998)

2.4. MATERIALES

2.4.1. Material vegetal

- Semilla de papa var. Desiree categoría certificada

2.4.2. Material de campo

- Estacas
- Flexómetro
- Bolsas plásticas
- Vaso transparente
- Clips
- Agua
- Tallos de planta de papa
- Nylon transparente agrofílm de 150 micrones

2.4.3. Material de gabinete

- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Computadora

2.4.4. Herramienta y equipo

- Azadón
- Tractor
- Pala

2.4.5. Insumos

- Estiércol ovino
- Abono 18-46-00

2.5.METODOLOGÍA

2.5.1. Diseño experimental

Para el siguiente trabajo de investigación se ha desarrollado un diseño experimental en bloques al azar, con tres tratamientos, 3 réplicas y un total de 9 unidades experimentales.

Variedad	Descripción
V ₁	T ₁ = Solarización
	T ₂ = Biosolarización
	T ₃ = Testigo

2.5.2. Descripción de los Tratamientos

T1.- Solarización.

Consiste en utilizar 5.5 metros de agrofilm de 150 micrones para cada unidad experimental que consta 5 metros de largo por 3 metros de ancho posteriormente se ha realizado la siembra de 85 tubérculos por cada parcela.

T2.- Biosolarización.

En el tratamiento de biosolarización se realizó un agregado de 8kg/m² de estiercol ovino. (Agrícola, 2017). Utilizando 5.5 metros de agrofilm de 150 micrones para cada parcela que consta 5 metros de largo por 3 metros de ancho posteriormente se ha realizado la siembra de 85 tubérculos por cada parcela.

T3.- Testigo.

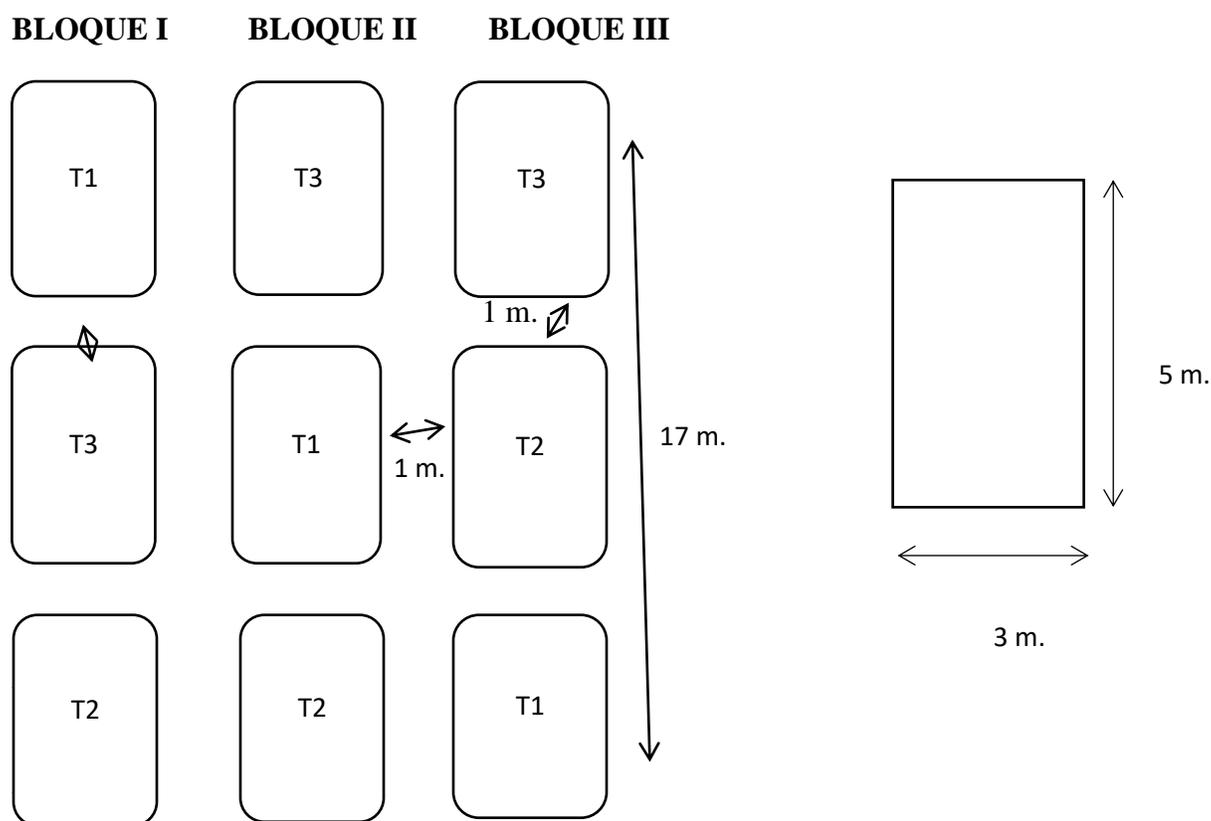
Se ha realizado una siembra sin tratamientos.

2.5.3. Unidad experimental

Cada unidad experimental que está compuesta por una parcela de 5m. de largo * 3m. de ancho, se han sembrado 85 tubérculos por unidad experimental, haciendo un total 765 tubérculos de papa en las 9 parcelas.

2.5.4. DISEÑO DE CAMPO

- ❖ Largo de parcela = 5 m.
- ❖ Ancho de la parcela = 3 m.
- ❖ Parcela = 17 m. * 11 m.
- ❖ Distancia entre plantas = 0.30 m.
- ❖ Distancia entre surco = 0.70 m.
- ❖ Distancia entre pacillos de bloques = 1 m.
- ❖ Área total de investigación = 187m²



2.6. Desarrollo del ensayo

El presente trabajo se ha desarrollado en la parcela del señor Nicolas Lucio Colque en un suelo de textura Franco Limoso, determinado por el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S.

Se ha colocado el agro film de 150 micrones al suelo a 6 unidades experimentales por un tiempo 79 días en fecha 21 de agosto de 2022, hasta el 6 de noviembre de 2022 una vez levantado el agro film.

Preparación del suelo

Se ha realizado una rastreada con tractor la primera semana de julio, con la finalidad de voltear el suelo, eliminando malezas y hospedero de insectos plagas para favorecer la aireación y almacenamiento en humedad en el suelo, la preparación del terreno se ha realizado con un riego profundo, con una anticipación de 1 semana antes de realizar la rastreada.

2.7. Instalación de los tratamientos.

Se ha utilizado agro film transparentes de 150 micrones, colocándolo sobre el suelo y enterrándoles en los extremos, de tal manera que no permita el escape del calor y las entradas de aire. Dejando al final de los tratamientos y a los lados 0.5m de terreno para poder enterrar el plástico. Esta metodología se ha realizado para la biosolarización y solarización

2.7.1. Solarización

Se ha desterrono y emparejo el terreno, para evitar cámaras de aire entre el plástico y el suelo se retiró los elementos que pueda dañar el polietileno restos vegetales, etc.

Se ha realizado un riego al suelo, se procedió a cubrir el suelo con el polietileno lo más herméticamente posible, enterrando los bordes del mismo con la ayuda de una pala y un azadón, se ha dejado transcurrir por un tiempo de 11 semanas. Se retiro los plásticos y se dejó ventilar 48 hs antes de la siembra.

2.7.2. Biosolarización

Se ha distribuido de forma homogénea el material orgánico ovino fresco al suelo, 8 kg/m²

Se desterronó y emparejo el terreno, para evitar cámaras de aire entre el plástico y el suelo se retiró los elementos que pueda dañar el polietileno restos vegetales, etc.

Se ha realizado un riego al suelo, se ha procedido a cubrir el suelo con el polietileno lo más herméticamente posible, enterrando los bordes del mismo con la ayuda de una pala y un azadón,

La solarización y la biosolarización se han llevado adelante en el mismo tiempo.

Durante todo el periodo de solarización y biosolarizacion se ha medido la temperatura a una profundidad de 10 cm en horario en horas 14pm, esto se ha realizado como parte del análisis para determinar el efecto de solarización y biosolarizacion sobre el patógeno.

2.7.3. Riego.

Se ha aplicado a la colocación de aquellos tratamientos que lleven solarizado y biosolarizado, lo cual he realizado un día antes, una vez realizada toda la siembra no hubo necesidad de regar, ya que las lluvias eran más que suficientes

2.7.4. Siembra

La siembra se ha realizado en el 8 de noviembre, utilizando la variedad de papa Desiré tamaño II, de categoría certificada. abriendo el surco con la ayuda del caballo y un arado, donde se ha depositado la semilla a unos 15 cm de profundidad con una densidad de siembra de planta a planta de 30 cm. y 70 cm. de surco a surco donde se incorporó abono químico 18-46-00 y a los tratamientos que estén sin la biosolarización se le aplicó estiércol ovino, por último, se procede al enterrado del suelo previo a la aplicación de los abonos se ha realizado un análisis químico del suelo.

2.7.5. Aporque

Esta práctica consistió en cubrir con tierra la parte del tallo de la planta para reforzar su base y se hizo con la ayuda de un azadón echando la tierra desde la parte baja del surco hacia arriba. En las unidades experimentales de solarización y biosolarización se ha llevado a cabo a los 28 días después del iniciado de la siembra, en las unidades experimentales testigo se ha llevado adelante el aporque a los 34 días después del inicio de la siembra.

2.8. Tratamientos fitosanitarios

Los tratamientos fitosanitarios se han aplicado de manera preventiva, y cuando se vio la presencia del ataque de enfermedades

1ra aplicación. -En fecha 06 de diciembre de 2022 se ha realizado la aplicación de flaying para prevenir el pulgón (*Misus persicae*) y el gusano militar (*Spodoptera frugiperda*), para prevenir el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y tizón temprano *Alternaria solani* se aplicó vitanic

2da aplicación. – en fecha 21 de diciembre de 2022 se ha aplicado mancozeb para prevenir el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y tizón temprano (*Alternaria solani*)

y para el gusano militar (*Spodoptera frugiperda*) y el pulgón (*Misus persicae*) se aplicó fastac

3ra aplicación. - en fecha 5 de enero de 2023 he aplicado coraza para controlar el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y tizón temprano *Alternaria solani* y para el gusano militar (*Spodoptera frugiperda*) y el pulgón (*Misus persicae*) se aplicó fastac

4ta aplicación. - en fecha 22 de enero de 2023 como ya se observa la presencia del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) se aplicó el infinito la dosis aplicada fue 1,25ml/L.

2.9.Cosecha

La cosecha he llevado adelante a los 90 días: Cuando la planta ha alcanzado su madurez fisiológica y el tubérculo tenía el tejido epidérmico completamente desarrollado, la cosecha se lo hizo manualmente con la ayuda de un azadón, retirando los tubérculos de cada planta, para luego posteriormente seleccionar en tamaños y pesarlos, así poder obtener datos y realizar la comparación de que tratamiento obtuvo mayor cantidad de tubérculos, una vez realizado todo este proceso se hizo la comercialización

2.10. Toma de datos

2.10.1. Variables evaluadas

2.10.2. Parámetros medidos durante la desinfección del suelo

Con la ayuda de un termómetro de máxima y mínima, en cada tratamiento se han registrado las temperaturas del suelo a una profundidad de 10cm con un intervalo de tiempo de 12 minutos cada día, durante todo el periodo que se ha mantenido el plástico.

2.10.3. Incidencia

De las evaluaciones de cada 14 días se ha determinado la cantidad de plantas enfermas por unidad experimental.

Para determinar el porcentaje de incidencia he realizado el recuento de plantas que presentaban síntomas de marchitez bacteriana en cada unidad experimental, en relación

al total de plantas sembradas en cada unidad experimental para luego transformarles en porcentajes

La incidencia se expresa en porcentaje utilizando la siguiente relación,

$$\% \text{ INCIDENCIA} = \frac{\text{Número de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas por unidad experimental}} * 100$$

2.10.4. Severidad

Para determinar la severidad por tratamiento, he observado el porcentaje de tejido enfermo de cada planta, utilizando la escala de Kempe y Sequeira modificada por Rivas Flores¹, quien la fundamento por su experiencia en la aparición de los síntomas del cultivo, mencionando que las escalas de severidad son relativas según autores. Esta escala subjetiva describe cada grado de la siguiente manera

0: planta sin síntomas.

1: marchitez leve. 25%

2: marchitez moderada. 50%

3: marchitez severa. 70%

4: planta muerta por marchitez. 100%

La severidad se expresa en porcentaje utilizando la siguiente relación,

$$\% \text{ SEVERIDAD} = \frac{\text{Porcentaje de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas por unidad experimental}} * 100$$

2.10.5. Rendimiento

El rendimiento se ha evaluado después de la cosecha, en cada unidad experimental por tratamiento para tal efecto se ha medido en tamaños con la ayuda de un calibrador manual de papa tamaño I tamaño II tamaño III y tamaño IV posteriormente se ha pesado en una balanza para luego ser registrados en el cuaderno de campo, el peso del tubérculo de cada tratamiento se constituye en el rendimiento, se expresa el

rendimiento promedio del tubérculo de cada unidad experimental de la parcela, para luego transformarlos en ton/ha.

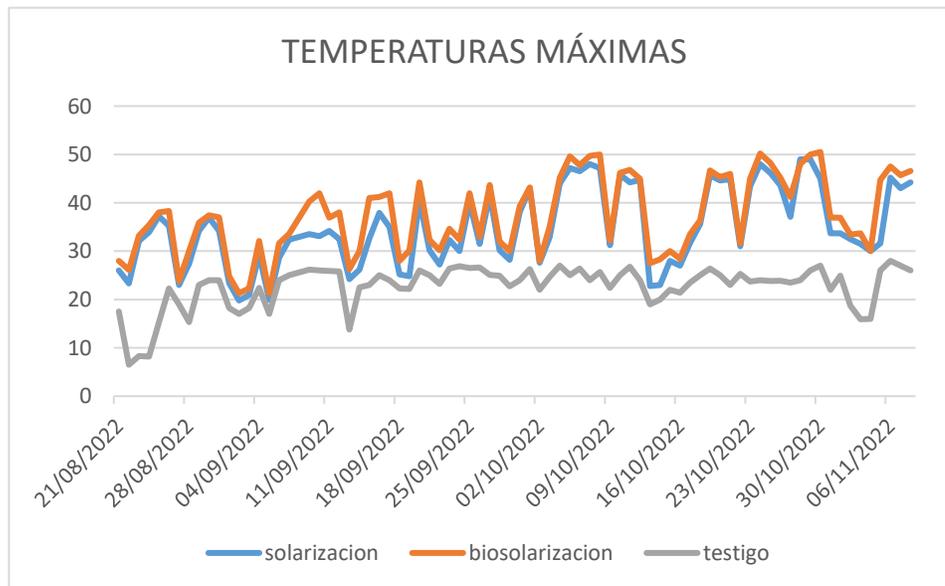
2.11. Evaluación fitosanitaria mediante el método de flujo bacteriano

La evaluación fitosanitaria he realizado cada 14 días, analizando las plantas que presentaban los síntomas de marchitamiento, aplicando el método de flujo bacteriano para confirmar la presencia de *Ralstonia solanacearum*. Este método consiste en realizar un corte transversalmente de la base del tallo, tomando un pedazo de 4 cm. de largo, se coloca agua limpia en un vaso de cristal transparente, colocando el tallo sumergido sostenido con un clip. Se esperó un tiempo de 10 a 15 minutos hasta que descienda un exudado filamentosos que sale del extremo inferior del tallo cortado. Una vez verificado la presencia del flujo bacteriano, se le atribuyó como positivo.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

Grafica 3. Temperaturas máximas de solarización, biosolarización y testigo



Como se observa en la gráfica la temperatura inicial de los tratamientos es la más elevada en la biosolarización 28°C seguido del tratamiento de solarización 26°C y la temperatura más baja fue en la parcela denominada testigo con $17,5^{\circ}\text{C}$

Las temperaturas máximas se obtuvieron en el mes de octubre en fecha 06 con $49,7^{\circ}\text{C}$ y el 24 de octubre con $50,2^{\circ}\text{C}$ en el tratamiento de biosolarización, seguido del tratamiento de solarización con 48°C a diferencia de la temperatura de la parcela testigo en esas fechas obtuvo temperaturas de $26,4^{\circ}\text{C}$

El tiempo en el cual se ha realizado los tratamientos de solarización y biosolarización fue de 79 días, de los cuales en el tratamiento de biosolarización presentó 19 días con temperaturas por encima de los 40°C .

De la misma manera, tanto en el tratamiento de solarización como de biosolarización de los 79 días se presentaron 5 días de temperaturas máximas por encima de los 47°C por 5 horas aproximadamente

Según estudios realizados por Pullman et al (1998) la temperatura de tiempo de exposición requerido para matar el 90% de los propágulos en *rizoctonia solani* son:

Temperatura critica de 47°C durante 10 horas

Temperatura critica de 40°C durante 100 a 150 horas

Como funciona

Funciona como una pasteurización del suelo ya que la temperatura aumenta, bajo el plástico, hasta más de 50 grados centígrados en la capa superficial durante las horas de mayor insolación y se vuelve a enfriar durante la noche de manera repetida durante todos los días de Solarización. Las altas temperaturas eliminan de manera más o menos selectiva los patógenos y al alcanzar temperaturas subletales reducen su capacidad parasitaria hasta eliminar la manifestación de la enfermedad. La Solarización desencadena fenómenos de fermentación, sobre todo si hay abundante materia orgánica, con liberación de gases tóxicos, principalmente amoníaco, con efecto biofumigante el cual se ve potenciado por las altas temperaturas de la Solarización (Cebolla)

3.1. Porcentaje de incidencia (%) a los 28 días después de la siembra

Tabla 3. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 28 días después de la siembra de papa

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= Solarización	1,00	2,35	4,00	7,35	2,45
T2=Biosolarizacion	1,00	2,00	3,52	6,52	2,17
T3=Testigo	2,20	4,53	4,70	11,43	3,81
Suma	4,20	8,88	12,22	25,30	

Los datos tabulados en la tabla 3 muestran los promedios del porcentaje de incidencia a los 28 días de siembra de la papa, donde se puede observar la mayor incidencia en la parcela testigo con 3,81%, en la parcela biosolarización se puede observar un porcentaje más bajo con 2,17% de plantas enfermas.

Gráfica 4. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 28 días después de la siembra de papa

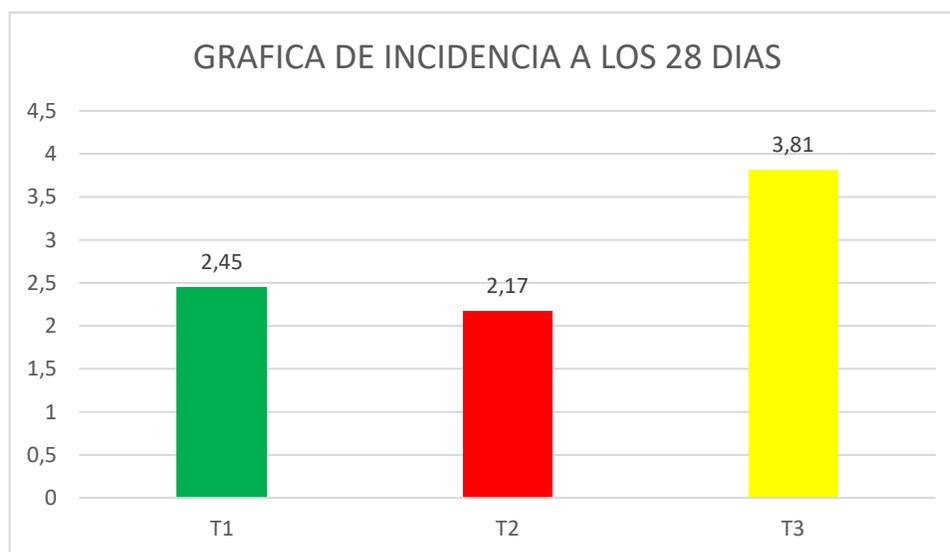


Tabla 4. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	10,82	5,41	26,45**	6,94	18,00
Tratamiento	2	4,60	2,30	11,26*	6,94	18,00
Error	4	0,82	0,20			
Total	8	16,24				

C.V = 16.9

Tal como se puede apreciar en la tabla N° 4 el analisis de varianza de incidencia a los 28 días de despues de la siembra se evidencia que hay diferencia altamente

significativa en los bloques al 5 y 1 % de probabilidad de error, podemos observar que entre tratamientos se aprecia diferencias significativas al 5%, por lo cual se procede a hacer la prueba de Tukey.

Tabla 5. Prueba de Tukey para los bloques

CM	0,2
SX	0,25
Q	5,04
Valor crítico	1,26

		A	A	B
		III	II	I
		4,07	2,96	1,4
I	1,4	2,90	2,11	0
II	2,96	1,37		
III	4,07			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques II y III presentan resultados estadísticamente iguales y el bloque I es diferente

Tabla 6. Prueba de Tukey para los tratamientos

		A	B	B
		T3	T1	T2
		3,81	2,45	2,17
T2	2,17	1,64	0,28	0
T1	2,45	1,36	0	
T3	3,81	0		

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los tratamientos T1 y T2 presentan resultados estadísticamente iguales y el T3 es diferente.

3.2. Porcentaje de severidad (%) a los 28 días después de la siembra

Tabla 7. Severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 28 días después de la siembra de papa

Tratamientos	BLOQUES			Suma	Media
	I	II	III		
T1=Solarización	2,22	2,35	4,00	8,57	2,86
T2= Biosolarizacion	1,00	2,00	3,22	6,22	2,07
T3= Testigo	2,20	4,53	4,70	11,43	3,81
Suma	5,42	8,88	11,92	26,22	

Los datos tabulados en la tabla 7 muestran los promedios del porcentaje de daño de severidad del total de plantas diagnosticadas con incidencia a los 28 días de siembra de la papa, donde se observa la mayor severidad en la parcela Testigo con 3,81%, en la parcela biosolarización se puede observar el menor porcentaje de 2,07% de daño.

Grafica 5. Severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 28 días después de la siembra de papa

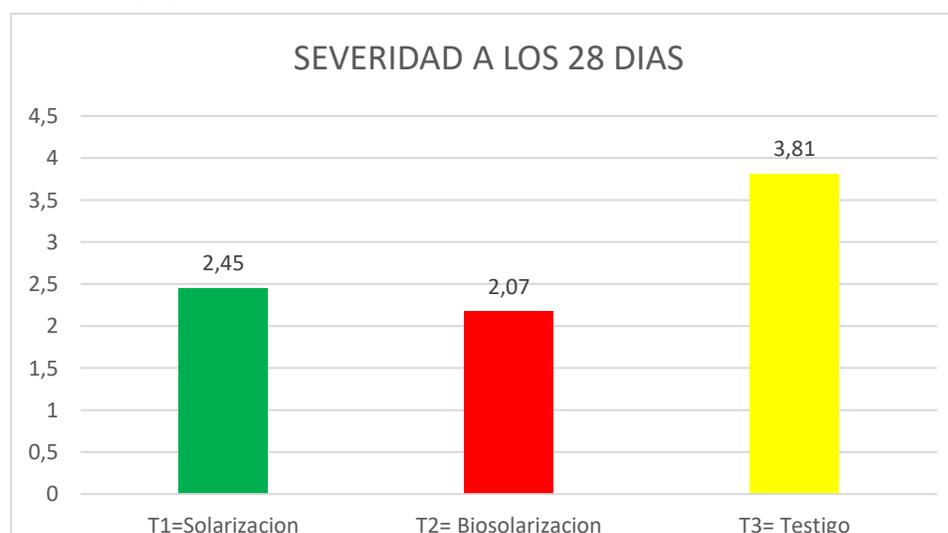


Tabla 8. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	7,05	3,53	10,91*	6,94	18,00
Tratamiento	2	4,54	2,27	7,02*	6,94	18,00
Error	4	1,29	0,32			
Total	8	12,88				

C.V = 19.51

Los datos tabulados en la tabla 8 del analisis de varianza a los 28 días despues de la siembra evidencia que hay diferencia significativa entre bloques y tratamientos al 5% por lo que se procede a hacer la prueba de comparacion de medias de Tukey.

Tabla 9. Prueba de tukey para bloques

CM	0,32
SX	0,32
Q	5,04
Valor crítico	1,61

A A B

		III	II	I
		11,92	8,88	5,42
I	5,42	6,5	0	0
II	8,88			
III	11,92			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques II y III son estadísticamente iguales y el bloque I es diferente al bloque II y III.

Tabla 10. Prueba de tukey para tratamientos

		A	A	B
		T3	T1	T2
		3,81	2,86	2,07
T2	2,07	1,74	0,79	0
T1	2,86			
T3	3,81			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los tratamientos T1 y T3 son estadísticamente iguales y el T2 es diferente al T1 y 3.

3.3. Porcentaje de incidencia % a los 42 días después de la siembra

Tabla 11. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 42 días después de la siembra de papa.

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1	2,80	15,60	20,00	38,40	12,80
T2	3,52	9,41	11,76	24,69	8,23
T3	6,00	20,00	22,00	48,00	16,00
Suma	12,32	45,01	53,76	111,09	

Los datos tabulados en la tabla 11 muestran los promedios del porcentaje de incidencia a los 42 días de siembra de la papa, donde se puede observar la mayor incidencia en la parcela con el tratamiento de testigo con 16,00%, en la parcela biosolarización se puede observar el menor porcentaje de 8,23% de plantas enfermas.

Grafica 6. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 42 días después de la siembra de papa

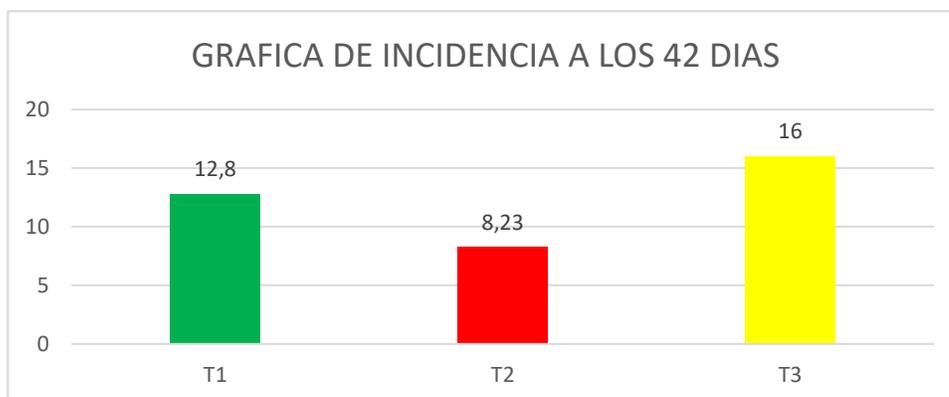


Tabla 12. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	318,05	159,03	21,44**	6,94	18,00
Tratamiento	2	91,50	45,75	6,17	6,94	18,00
Error	4	29,66	7,42			
Total	8	439,22				

C.V = 22,6

Tal como se puede apreciar en la tabla 12 el analisis de varianza de incidencia a los 42 dias de despues de la siembra se evidencia que hay diferencia altamente significativa en los bloques al 5 y 1 % de probabilidad del error, entre tratamientos sin embargo no se aprecia diferencias significativas, por lo cual se precede a hacer la prueba de Tukey para los bloques.

Tabla 13. Prueba de Tukey para los bloques

CM	7,42
SX	1,57
Q	5,04
Valor crítico	7,91

		A	A	B
		III	II	I
		17,92	15,00	4,10
I	4,10	13,82	10,9	0
II	15,00			
III	17,92			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques II y III presentan resultados estadísticamente iguales y el bloque I es diferente.

3.4. Porcentaje de severidad (%) a los 42 días después de la siembra

Tabla 14. Porcentaje de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 42 días después de la siembra de papa

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= Solarización	13,20	15,60	17,53	46,33	15,44
T2= Biosolarización	8,66	9,41	11,76	29,83	9,94
T3= testigo	16,99	18,00	22,00	56,99	19,00
Suma	38,85	43,01	51,29	133,15	

Los datos tabulados en la tabla 14 muestran los promedios del porcentaje de daño de severidad del total de plantas diagnosticadas con incidencia a los 42 días de siembra de la papa, donde se observa la mayor severidad en la parcela testigo con 19%, en la parcela biosolarización donde se puede observar el menor porcentaje de 9,94% de daño.

Grafica 7. Resultados de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 42 días después de la siembra de papa

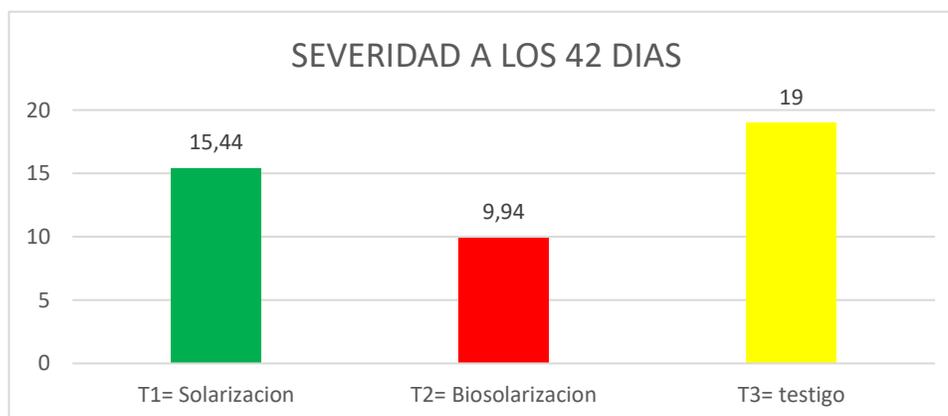


Tabla 15. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	26,74	13,37	27,45**	6,94	18,00
Tratamiento	2	124,84	62,42	128,19**	6,94	18,00
Error	4	1,95	0,49			
Total	8	153,52				

C.V. 4,72

Los datos tabulados en la tabla 15 del análisis de varianza a los 42 días después de la siembra evidencia que hay diferencia altamente significativa entre bloques y tratamientos por lo que se procede a hacer la prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 16. Prueba de tukey para bloques

CM	0,49
SX	0,4
Q	5,04
Valor crítico	2,01

		A	B	B
		III	II	I
		17	14,33	12,95
I	12,95	4,05	1,38	0
II	14,33			
III	17			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques I y II son estadísticamente iguales y el bloque III es diferente al bloque I y II.

Tabla 17. Prueba de tukey para tratamientos

		A	A	B
		T3	T1	T2
		19	15,44	9,94
T2	9,94	9,06	5,5	0
T1	15,44			
T3	19			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los Tratamientos T1 y T3 son estadísticamente iguales y el T2 es diferente al T1 y T3.

3.5 Porcentaje de incidencia% a los 56 días después de la siembra

Tabla 18. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 56 días después de la siembra

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= solarización	9,41	23,52	44,7	77,63	25,88
T2= Biosolarización	9,41	23,52	31,76	64,69	21,56
T3= Testigo	11,76	41,17	47,05	99,98	33,33
Suma	30,58	88,21	123,51	242,3	

Los datos tabulados en la tabla 18 muestran los promedios del porcentaje de incidencia a los 56 días de siembra de la papa, donde la mayor incidencia es en la parcela testigo con 33,33%, en la parcela biosolarización es el menor porcentaje de 21,56% de plantas enfermas.

Grafica 8. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 56 días después de la siembra de papa

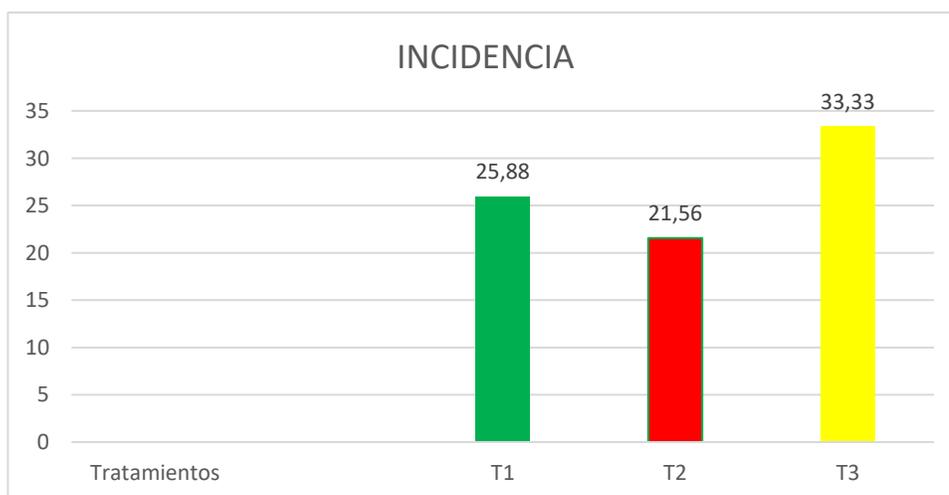


Tabla 19. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	1467,03	733,52	21,82**	6,94	18,00
Tratamiento	2	212,48	106,24	3,16	6,94	18,00
Error	4	134,46	33,62			
Total	8	1813,98				

CV= 21,54

Tal como se puede apreciar en la tabla N° 19 el análisis de varianza de incidencia a los 56 días de después de la siembra se evidencia que hay diferencias altamente significativa en los bloques al 5 y 1 % de probabilidad del error, entre tratamientos, sin embargo no se aprecia diferencias significativas, por lo cual se procede a hacer la prueba de Tukey para los bloques.

Tabla 20. Prueba de Tukey para los bloques

CM	33,62
SX	3,35
Q	5,04
Valor crítico	16,87

A A B

		III	II	I
		41,17	29,40	10,19
I	10,19	30,98	19,21	0
II	29,40	11,77	0	
III	41,17	0		

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques II y III presentan resultados estadísticamente iguales y el bloque I es diferente

3.6. Porcentaje de severidad (%) a los 56 días después de la siembra

Tabla 21. Porcentaje de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 56 días después de la siembra de papa

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= Solarizacion	36,25	23,52	44,7	104,47	34,82
T2= Biosolarizacion	26,59	23,52	31,76	81,87	27,29
T3= Testigo	40,91	41,17	47,05	129,13	43,04
Suma	103,75	88,21	123,51	315,47	

Los datos tabulados en la tabla 21 muestran los promedios del porcentaje de daño de severidad del total de plantas diagnosticadas con incidencia a los 56 días de siembra de la papa, donde se puede observar la mayor severidad en la parcela con el tratamiento de testigo con 43,04%, en la parcela biosolarización se puede observar el menor porcentaje de 27,29% de daño.

Grafico 9. Resultados de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 56 días después de la siembra de papa

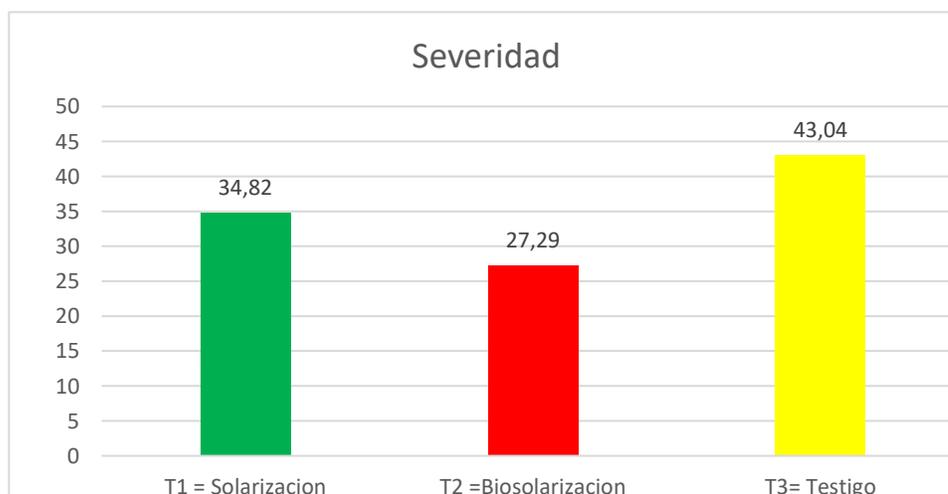


Tabla 22. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	208,67	104,34	5,39	6,94	18,00
Tratamiento	2	372,49	186,24	9,62*	6,94	18,00
Error	4	77,48	19,37			
Total	8	658,63				

En el análisis de varianza mostrado en la tabla 22 se pueden observar que existe diferencia significativa en los tratamientos y en los bloques no existe diferencia significativa, por lo que no amerita hacer la prueba de comparación de medias de Tukey para tratamientos.

Tabla 23. Prueba de tukey

CM	19,37
SX	2,54
Q	5,04
Valor crítico	12,80

Tabla 24. Prueba de tukey para tratamientos

		A	B	B
		T3	T1	T2
		43,04	34,82	27,29
T2	27,29	15,75	7,53	0
T1	34,82			
T3	43,04			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los Tratamientos T1 y T2 son estadísticamente iguales y el T3 es diferente al T1 y T2.

3.7. Porcentaje de incidencia % a los 70 días después de la siembra.

Tabla 25. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 70 días después de la siembra de papa

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1	27,05	36,47	52,94	116,46	38,82
T2	15,29	35,29	58,82	109,40	36,47
T3	37,64	55,29	68,23	161,16	53,72
Suma	79,98	127,05	179,99	387,02	

Los datos tabulados en la tabla 25 muestran los promedios del porcentaje de incidencia a los 70 días de siembra de la papa, donde la mayor incidencia es en la parcela testigo con 53,72%, en la parcela biosolarización es el menor porcentaje de 36,47% de plantas enfermas.

Grafica 10. Incidencia de *Ralstonia solanacearum* a los 70 días después de la siembra de papa

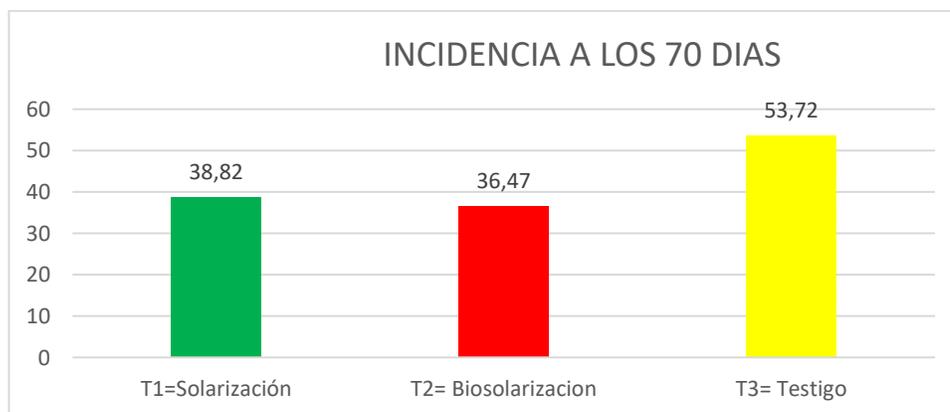


Tabla 26. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	1668,91	834,46	34,92**	6,94	18,00
Tratamiento	2	525,23	262,61	10,99*	6,94	18,00
Error	4	95,59	23,90			
Total	8	2289,73				

Tal como se puede apreciar en la tabla N° 26 el análisis de varianza de incidencia a los a los 70 días después de la siembra se evidencia que hay diferencia altamente significativa en los bloques al 5 y 1 % de probabilidad del error, sin embargo en tratamientos hay diferencia significativa al 1% por lo cual se precede a hacer la prueba de Tukey.

Tabla 27. Prueba de Tukey para los tratamientos

CM	23,9
SX	2,82
Q	5,04
Valor crítico	14,21

		A	B	B
		T3	T1	T2
		53,72	38,82	36,47
T2	36,47	17,25	2,35	0
T1	38,82	14,9	0	
T3	53,72	0		

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los tratamientos T1 y T2 son estadísticamente iguales, el tratamiento T3 es diferente al T1 y T2

Tabla 28. Prueba de Tukey para los bloques

		A	B	B
		III	II	I
		59,66	42,35	29,66
I	29,66	30	12,69	0
II	42,35	17,31	0	
III	59,66	0		

Según los datos obtenidos los bloques I y II presentan resultados estadísticamente iguales, el bloque III presenta resultados estadísticamente diferente al bloque I y II

Los estudios realizados por Ambar y Soos (2002) plantean que solarizar el suelo durante 8 y 10 semanas en verano reducen eficazmente la enfermedad de la marchitez bacteriana causada por *R solanacearum*, sin embargo, para que este planteamiento se cumpla es necesario que las condiciones tales, como el factor clima como principal elemento se cumplan a cabalidad, ya que en el presente trabajo se ha demostrado que:

Durante el proceso de la investigación del trabajo de campo las condiciones climatológicas como ser la temperatura no fueron los suficientemente optimas, fueron bajas.

En medio del proceso del tratamiento en fecha 03 de noviembre se presentó una temperatura de 3° C considerándose como helada, afectando en gran medida el proceso de solarización y biosolarización

A pesar de que en la época de primavera lo esperable es tener temperaturas de 25 a 27°C, esto no ocurrió.

Al contrario de lo esperado en fecha 14 y 15 de octubre de 2022 se obtuvieron temperaturas bajas de 15 y 19 °C.

Además de lo esperado es que los periodos de días cálidos sean prolongados, pero durante esta época se presentaron dos días nublados y 2 días cálidos en algunas semanas, lo que demuestra que no existe constancia de temperaturas altas.

Otro factor que no ha contribuido que el proceso de investigación sea llevado a cabo de forma óptima fue la lluvia, debido a que es un factor que tiene la capacidad de diseminar la enfermedad de manera más rápida haciendo que una planta contamine a la otra, a los 56 días después de la siembra de papa los días eran bastante lluviosos con periodos de algunas semanas completas.

Algunas horas del día la intensidad de la lluvia era muy elevada, haciendo que el agua quede estancada alrededor de las plantas, provocando que la reproducción de las bacterias sea más alta y se expanda con mayor intensidad.

Por tanto, estos factores externos no contribuyen a que se cumpla lo citado por Ambar y Soos (2002) desfavoreciendo la efectividad de los tratamientos

3.8. Porcentaje de severidad (%) a los 70 días después de la siembra

Tabla 29. Porcentaje de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 70 días después de la siembra de papa

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= Solarización	35,29	45,99	58,82	140,10	46,70
T2= Biosolarización	36,47	42,36	52,94	131,77	43,92
T3= Testigo	55,29	60,29	68,23	183,81	61,27
	127,05	148,64	179,99	455,68	

Los datos tabulados en la tabla 29 muestran los promedios del porcentaje de daño de severidad del total de plantas diagnosticadas con incidencia a los 70 días de siembra de la papa, donde se puede observar la mayor severidad en la parcela con el tratamiento de testigo con 61,27%, en la parcela biosolarización se puede observar el menor porcentaje de 43,92% de daño.

Grafica 11. Resultados de severidad de *Ralstonia solanacearum* a los 70 días después de la siembra de papa

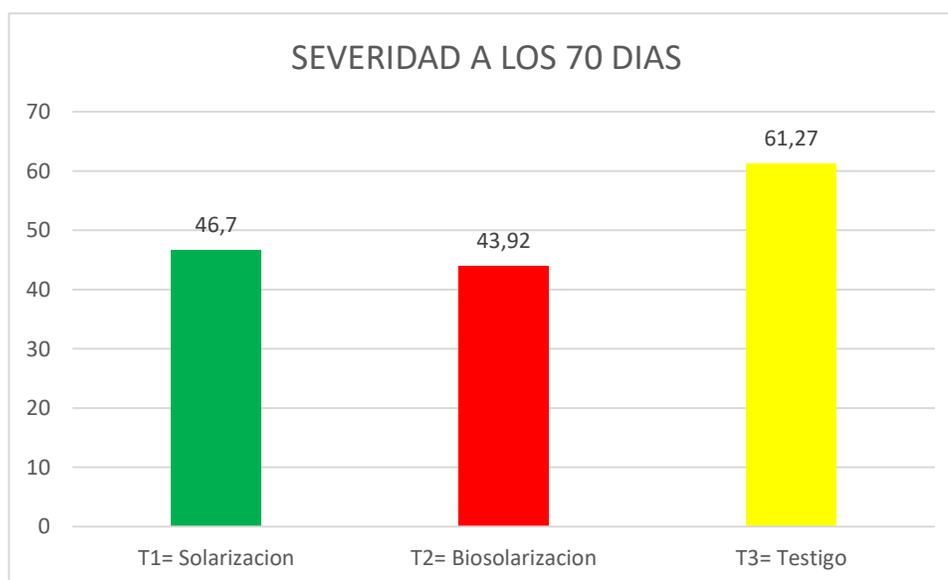


Tabla 30. Análisis de varianza (ANVA)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	472,40	236,20	31,87**	6,94	18,00
Tratamiento	2	520,90	260,45	35,14**	6,94	18,00
Error	4	29,65	7,41			
Total	8	1022,95				

C.V= 5,38

La tabla 30 en el análisis de anova a los 70 días después de la siembra evidencia que hay diferencia altamente significativa entre bloques y tratamientos por lo que se procede a hacer la prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 31. Prueba de tukey para bloques

CM	7,41
SX	1,57
Q	5,04
Valor crítico	7,91

		A	B	B
		III	II	I
		59,99	49,54	42,35
I	42,35	17,64	7,19	0
II	49,54			
III	59,99			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los bloques I y II son estadísticamente iguales y el bloque III es diferente al bloque I y II

Tabla 32 Prueba de tukey para tratamientos

		A	B	B
		T3	T1	T2
		61,27	46,70	43,92
T2	43,92	17,35	2,78	0
T1	46,70			
T3	61,27			

Según los datos obtenidos en la prueba de Tukey se puede observar que los Tratamientos T1 y T2 son estadísticamente iguales y el T3 es diferente al T1 y T2.

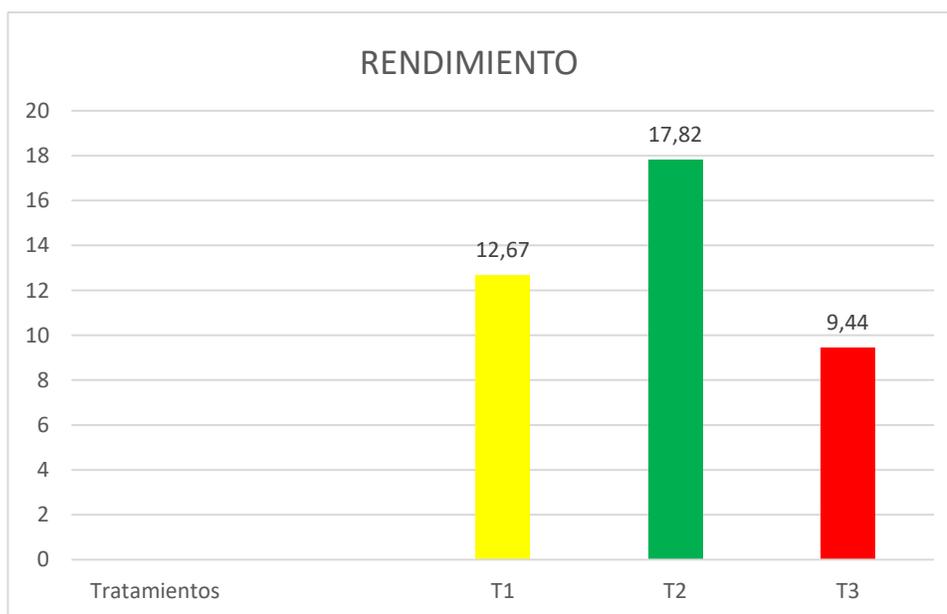
En la investigación de López, Moran y Segovia se sugiere que la severidad juega un papel secundario en la enfermedad puesto que se mide a partir de su presencia o ausencia, la presente investigación encontró que en los factores de medición se encontró mayor daño en las parcelas testigo que en las sometidas a los tratamientos de solarización y biosolarización, lo cual lo convierte en un tratamiento principal al combinar este con el factor rendimiento.

3.9. Rendimiento

Tabla 33. Datos de rendimiento (Ton/ha)

Tratamientos	Bloques			Suma	Media
	I	II	III		
T1= Solarización	10,67	15,33	12,00	38,00	12,67
T2= Biosolarización	31,67	12,00	9,80	53,47	17,82
T3= Testigo	11,33	9,00	8,00	28,33	9,44
Suma	53,67	36,33	29,80	119,80	

Los datos tabulados en la tabla 33, ponen en evidencia valores muy diferentes entre sí, ya que el rendimiento tuvo diferencias notables con valores desde 9,44 hasta 17,82 toneladas por hectárea, en los tratamientos de T2= de biosolarización se puede observar el rendimiento más elevado con 17,82 Tn/ha y el rendimiento más bajo podemos ver en la parcela testigo con 9,44tn/ha.

Grafica 12. de datos de rendimiento (Ton/ha)

Como lo anteriormente planteado, el factor de severidad es inversamente proporcional al factor de rendimiento. A pesar de que existieron plantas enfermas, el rendimiento fue mayor en las parcelas con tratamiento de biosolarización y solarización.

Según (Ramos, 1994) los incrementos en la producción, en el peso seco o fresco, y altura de planta, se han logrado a través del empleo de este método de desinfestación, en diferentes cultivos.

Este planteamiento se cumple en los resultados obtenidos en la investigación.

En primera instancia, el rendimiento en cuanto al tamaño en la parcela sometida al tratamiento de biosolarización se incrementó en comparación con la parcela testigo.

En segunda instancia, respecto a la cantidad de papa cosechada en la parcela con tratamiento de biosolarización se obtuvo 17,82 tn/ha en comparación con la parcela testigo que obtuvo 9,44 tn/ha.

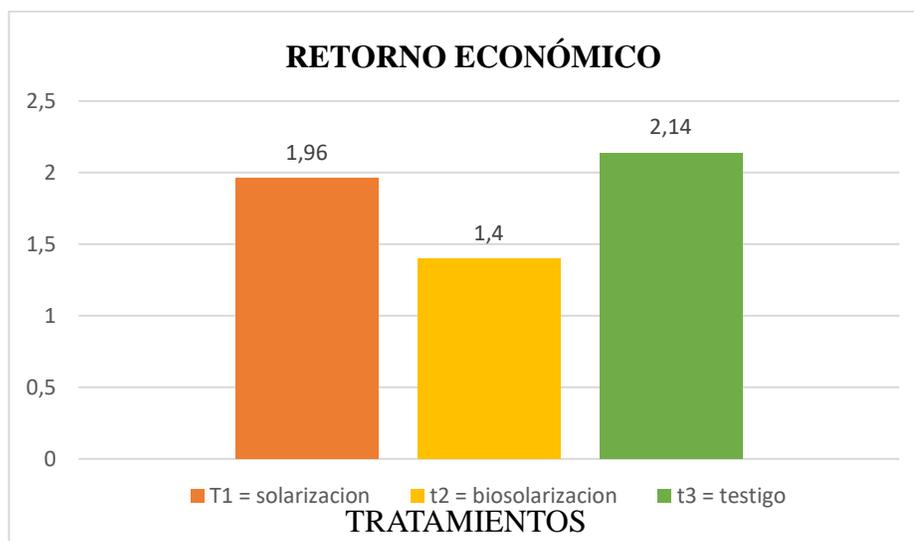
3.10. Análisis económico (B/C)

Tabla 34. Análisis económico (B/C)

Tratamientos	Rendimiento o Tn/ha.	Precio de venta q/Bs	Ingresos en Bs	costo de producción	Beneficio en Bs	Relación B/C
T1= Solarización	12,67	260,00	68.858,00	49.238,00	19.620,00	1,40
T2=Biosolarización	17,82	260,00	96.750,00	49.500,00	47.250,00	1,96
T3= Testigo	9,44	260,00	51.304,00	23.918,00	27.386,00	2,14

*Beneficio total de la producción de papa en una hectárea

Grafica 13. Análisis económico (b/c)



En la relación beneficio/ costo muestra que el tratamiento con mayor beneficio/ costo tienen un retorno económico 2,14 por cada 1 bs invertido en la parcela testigo seguido por el tratamiento de biosolarización con un retorno de 1,96 bs de cada 1 bs invertido en el tratamiento solarización se puede observar el retorno más bajo con 1,4 de cada 1 bs invertido

Respecto a la variable costo beneficio se obtienen dos aseveraciones:

- Respecto a la implementación de los tratamientos se requiere agro film de 150 micrones cuyo costo es de 1000 bs se ha adquirido 400 metros, para lo cual se utilizó 187m² para llevar adelante esta investigación, sin embargo, para cubrir grandes dimensiones el costo se incrementaría significativamente.
- Por otra parte, el hecho que factores externos tales como las bajas temperaturas y el pronóstico de lluvias no son factores que puedan ser controlados no sería conveniente el uso de los tratamientos ya que como ocurrió a lo largo de esta investigación dichos factores modificaron lo esperado en los resultados.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos a lo largo de la presente investigación se puede concluir que:

- Se ha logrado mejorar las condiciones fitosanitarias del suelo ya que, a pesar de la existencia de la enfermedad, en las parcelas experimentales el tratamiento a traído grandes beneficios en cuanto a mayor rendimiento, por el tamaño y cantidad de papa en la cosecha. Reduciendo en el tratamiento de solarización un 14,57 % en comparación al testigo y en el tratamiento de biosolarización un 17,35 % en comparación al testigo
- Respecto a la eficacia, a pesar de que se ha llevado adelante el tratamiento, la enfermedad se ha presentado en todas las unidades experimentales, tanto en las unidades expuestas a solarización, biosolarización y unidades testigos, aunque se ha obtenido cierto beneficio de la aplicación de los tratamientos, como incremento en el rendimiento, la incidencia y severidad han disminuido, el objetivo principal que es evitar la presencia de la enfermedad no se ha cumplido.
- Comparativamente los resultados positivos obtenidos en el tratamiento de biosolarización fueron mayores a los obtenidos bajo el tratamiento de las unidades experimentales sometidos a solarización y a la parcela testigo, demostrando ser el tratamiento con mejores resultados.
- Finalmente, los resultados obtenidos dentro de la investigación determinan que el costo del tratamiento, tanto de solarización como de biosolarización, no es significativamente proporcional al beneficio ya que en primer lugar no se ha demostrado la ausencia de la enfermedad a través de la imposición del tratamiento y en segundo lugar por factores externos que no son controlables como las bajas temperaturas, las lluvias, no permiten obtener los resultados deseados. Por lo que un

tratamiento de alto costo como cualquiera de estos no garantiza la efectividad del mismo.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar a los futuros investigadores el uso de este tratamiento de solarización, puesto que los costos son muy elevados y la eficacia no siempre es absoluta.
- Se recomienda el uso del tratamiento de biosolarización sobre el tratamiento de solarización, ya que se ha probado mayor eficacia en el primero que en el segundo.
- Siempre y cuando se logren disminuir los costos de implementación de estos tratamientos pueden ser utilizados de manera que, si es que su eficacia fuera eficiente ya sea por factores externos u otros los costos o perdidas no sean muy significativas.
- Hablando propiamente de la zona sociodemográfica donde se realizó la investigación y tomando en cuenta el nivel socioeconómico de la población no se recomienda el uso por sus altos costos.