



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de Carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Análisis de daños causado por *Ralstonia solanacearum* en cultivo de
papa”

AUTOR:

Brian Mauricio Cabezas Dávila

TUTOR:

Ing. Agr. Cristina Maldonado Camposano MBA

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, siendo uno de los cinco más destacados. Originaria de algunas regiones de Ecuador, la papa es esencial para la seguridad alimentaria y la economía de la sierra ecuatoriana, donde se consume mayormente en fresco. Sin embargo, la presencia de la marchitez bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*, representa una seria amenaza para su producción. Esta enfermedad, altamente resistente y adaptable, afecta no solo a la papa, sino a varios cultivos en todo el mundo. La posibilidad de infección latente agrava la situación, comprometiendo la producción, exportación y los ingresos de las comunidades agrícolas. El estudio no solo busca cuantificar el impacto de la enfermedad, sino también proponer soluciones y prácticas agrícolas resilientes. Los objetivos incluyen caracterizar los daños causados por *R. solanacearum* en el cultivo de papa en Ecuador, describir los síntomas típicos de la infección y detallar los métodos de control. *Ralstonia solanacearum*. Esta bacteria altamente variable afecta gravemente la producción de papa y otros cultivos. Se destacan métodos de control, incluyendo enfoques culturales, genéticos, orgánicos y químicos. La transformación genética muestra promesa con la introducción de genes como AtEFR (Receptor de la planta *Arabidopsis thaliana* involucrado en la detección temprana de patógenos) y los aceites esenciales de orégano y tomillo ofrecen alternativas biológicas efectivas. Se concluye la necesidad de investigar más sobre la biología de la bacteria y promover prácticas agrícolas sostenibles.

PALABRAS CLAVE: Papa, *Solanum tuberosum*, *Ralstonia solanacearum*, Marchitez bacteriana, Control, Transformación genética, Aceites esenciales, Prácticas agrícolas sostenibles.

SUMMARY

Potato (*Solanum tuberosum* L) is a crop of great importance worldwide, being one of the five most prominent. Native to some regions of Ecuador, the potato is essential for food security and the economy of the Ecuadorian highlands, where it is mostly consumed fresh. However, the presence of bacterial wilt, caused by *Ralstonia solanacearum*, represents a serious threat to its production. This highly resistant and adaptable disease affects not only potatoes, but several crops around the world. The possibility of latent infection aggravates the situation, compromising the production, export and income of agricultural communities. The study not only seeks to quantify the impact of the disease, but also propose solutions and resilient agricultural practices. The objectives include characterizing the damage caused by *R. solanacearum* in potato crops in Ecuador, describing the typical symptoms of infection and detailing control methods. *Ralstonia solanacearum*. This highly variable bacteria seriously affects the production of potatoes and other crops. Control methods are highlighted, including cultural, genetic, organic and chemical approaches. Genetic transformation shows promise with the introduction of genes like AtEFR (Plant receptor of *Arabidopsis thaliana* involved in early pathogen detection), and oregano and thyme essential oils offer effective biological alternatives. The need to investigate more about the biology of the bacteria and promote sustainable agricultural practices is concluded.

KEY WORDS: Potato, *Solanum tuberosum*, *Ralstonia solanacearum*, Bacterial wilt, control, Genetic transformation, Essential oils, Sustainable agricultural practices.

CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY.....	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMÁTICA.....	2
1.3. JUSTIFICACION.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	4
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	4
2. DESARROLLO.....	5
2.1. GENERALIDADES.....	5
2.1.1. LA PAPA <i>Solanum tuberosum</i>	5
2.1.2. TAXONOMÍA DE LA PAPA	5
2.1.3. IMPORTANCIA DE LA PAPA	5
2.1.4. MORFOLOGÍA DE LA PAPA.....	5
2.1.4.1. FRUTOS.....	5
2.1.4.2. HOJAS.....	6
2.1.4.3. RAIZ.....	6
2.1.4.4. TUBÉRCULOS	6
2.1.4.5. ESTOLONES	6
2.1.4.6. TALLOS	6
2.1.5. GENERALIDADES DE <i>Ralstonia solanacearum</i>	7
2.1.5.1. SINTOMATOLOGÍA Y SIGNOS	7
SIGNOS.....	8

SÍNTOMAS EN EL TUBÉRCULO.....	8
2.1.5.2. EPIDEMIOLOGIA.....	8
2.1.5.3. DISEMINACIÓN DE <i>Ralstonia solanacearum</i>	9
2.1.5.4. MORFOLOGÍA DE <i>Ralstonia solanacearum</i>	9
2.1.5.5. IMPORTANCIA DE <i>R. solanacearum</i>	10
2.1.6. METODOS DE CONTROL.....	10
2.1.6.1. CONTROL CULTURAL	10
• EL USO DE SEMILLA SANA.....	10
• SEMBRAR EN SUELOS LIBRES de <i>R. solanacearum</i>	10
• ELIMINACIÓN DE RASTROJOS	11
• ELIMINACIÓN DE LOS TUBÉRCULOS PODRIDOS	11
• ELIMINACION DE MALEZAS	11
• ELIMINACIÓN DE PLANTAS VOLUNTARIAS DE PAPA	11
• ELIMINACIÓN DE PLANTAS MARCHITAS.....	11
• DESINFESTACIÓN DE HERRAMIENTAS	11
2.1.6.2. CONTROL GENÉTICO	12
2.1.6.3. CONTROL ORGÁNICO	12
2.1.6.4. CONTROL QUÍMICO.....	13
2.2. METODOLOGÍA.....	13
2.2.1. Método.....	13
2.2.2. Metodología.....	13
2.3. RESULTADOS.....	13
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	16
3.1. CONCLUSIONES.....	16

3.2.	RECOMENDACIONES	16
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS.....	18
4.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
4.2.	ANEXOS	22

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La papa, (*Solanum tuberosum* L), es uno de los cultivos más relevantes a nivel mundial, cultivándose en más de 150 países entre los que destacan Perú, Bolivia, China, Ecuador, además de otros países. Tiene una superficie de más de 20 millones de hectáreas en todo el mundo y es un alimento habitual en la dieta de miles de millones de individuos. Además de su importancia en la seguridad alimentaria y la nutrición, la papa es la base de una gran industria que produce diversos productos. Es una saludable fuente de carbohidratos, antioxidantes y nutrientes, por lo que puede considerarse parte esencial de una dieta equilibrada (FAO 2022).

La papa, que tiene sus antecedentes en algunas regiones de Ecuador, es fundamental en la dieta de los pobladores de la sierra ecuatoriana, quienes la consumen principalmente en su forma fresca. El cultivo de la papa se extiende por más de 66 000 hectáreas, con una producción promedio de 480 000 toneladas por año y un rendimiento por hectárea de 7,7 toneladas, lo que genera un valor bruto variable de más de 60 millones de dólares por año. Este cultivo es esencial para la economía de la región, ya que es una importante fuente de ingresos. Aunque en el pasado se contabilizaron más de 400 variedades de papas en la colección del INIAP en 1994, actualmente sólo se pueden localizar menos de 30 cultivares. Desde hace milenios, la papa ocupa un lugar destacado en Ecuador, tanto desde el punto de vista cultural como económico (EDIFARM & CÍA. 2013).

Durante el 2019, el Valor Agregado Bruto (VAB) del sector agropecuario fue de aproximadamente USD 5 544 millones, según datos del Banco Central del Ecuador. Como parte de este panorama, el cultivo de la papa tuvo un importante aporte, representando el 1,4 %. Esta cifra evidencia la importancia de la papa dentro del sector agrícola. Durante el mismo año, las exportaciones de papa ascendieron a 454 toneladas, de las cuales el 92 % se destinaron a Estados Unidos, lo que representa un crecimiento del 17% en comparación con el año anterior, cuando se exportaron 388 toneladas. En términos monetarios, estas exportaciones representaron un valor de la mercancía puesta a bordo de un transporte marítimo (FOB) de US\$ 657 256. Por otro lado, se contabilizaron importaciones de aproximadamente 13 352 toneladas de papas en conserva (congeladas y no congeladas), utilizadas principalmente por grandes cadenas de alimentos. Según datos 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el área

sembrada de papa en 2018 fue de 23 645 hectáreas. Este cultivo está presente en todas las provincias de la Sierra ecuatoriana, destacando las provincias de Carchi, Chimborazo y Pichincha (Coronel R 2019).

La marchitez bacteriana de la papa provocada por *R. solanacearum* (E. F. Smith) es uno de los mayores factores que limitan la producción de este cultivo (Ríos Morales 2007).

La marchitez bacteriana, ocasionada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* (anteriormente conocida como *Pseudomonas solanacearum*), esta enfermedad tiene repercusiones en varios cultivos de importancia para la economía mundial. La capacidad de este patógeno para sobrevivir y la presencia de infecciones latentes ponen de manifiesto la importancia del monitoreo para evitar la propagación de la enfermedad (Naranjo Feliciano y Martínez Zubiaur 2013).

La principal bacteria que afecta a los cultivos de papa es *R. solanacearum*, que provoca la enfermedad conocida como marchitez bacteriana. Estas bacterias son colonizadoras de los campos de papa y provocan el marchitamiento de las plantas, constituyendo una de las enfermedades más complicadas debido a su gran adaptabilidad y resistencia a los antibióticos (Rivas Moran 2022).

El principal propósito de esta investigación es conocer en detalle los daños causados por *R. solanacearum* en los cultivos de papa en Ecuador y sus métodos de control. A través de un minucioso trabajo de análisis y recopilación de dato, se busca aportar al desarrollo de prácticas agrícolas más sólidas y a la protección de la sostenibilidad de este cultivo en la región ecuatoriana.

1.2. PROBLEMÁTICA

Aunque la papa es uno de los principales cultivos de Ecuador y el mundo, la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* constituye una grave amenaza para su producción y sostenibilidad. Esta enfermedad, que no sólo afecta a la papa sino a varios cultivos en todo el mundo, ha demostrado ser muy resistente y adaptable, lo que dificulta su control y manejo.

Una característica especialmente preocupante es la posibilidad de "infección latente", donde los tubérculos pueden estar infectados sin mostrar síntomas evidentes (Center y Servicio

Nacional de Sanidad Agraria 2017). Esto añade una capa adicional de peligro, ya que los agricultores podrían sembrar aparentemente papas sanas en zonas cálidas, solo para descubrir que muchas de las plantas desarrollan la marchitez bacteriana.

Durante el año 2022, cerca de 77 mil personas se dedicaron a la producción de papa en Ecuador, de las cuales el 63 % corresponde a trabajo familiar. La actividad del cultivo de papa se concentra mayoritariamente en las provincias de la sierra, siendo Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua, Pichincha y Bolívar las más destacadas en este aspecto (MAG 2023).

En este contexto, es imperativo realizar un análisis detallado de los daños causados por *R. solanacearum* en el cultivo de papa en Ecuador. Este estudio no solo busca explicar la magnitud del problema, sino también proponer soluciones y prácticas agrícolas más resilientes que contribuyan a la preservación y fortalecimiento de la producción de papas en la región. La investigación se convierte así en un elemento clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros que plantea la marchitez bacteriana en el cultivo de papa en Ecuador.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se fundamenta en la imperante necesidad de abordar la amenaza crítica que representa la marchitez bacteriana para la producción y sostenibilidad del cultivo de papa en el país. La papa, siendo un pilar esencial en la alimentación de los habitantes de la sierra ecuatoriana y un sector económico clave, enfrenta desafíos considerables debido a esta enfermedad devastadora.

La relevancia de la papa en Ecuador se refleja no solo en su contribución al Valor Agregado Bruto (VAB) Agropecuario, sino también en las exportaciones, siendo Estados Unidos uno de los principales destinos. El continuo incremento en las exportaciones demuestra la importancia del cultivo para la economía nacional.

La amenaza de la marchitez bacteriana se agudiza por la capacidad de adaptación y resistencia de *R. solanacearum*, así como por la posibilidad de infecciones latentes, que plantea un riesgo adicional a los agricultores. Este escenario compromete no solo la seguridad alimentaria sino también los ingresos de las comunidades agrícolas que dependen de este cultivo.

Además, la mano de obra familiar representa una parte significativa de la fuerza laboral en el cultivo de papa en Ecuador, y la afectación por la marchitez bacteriana impacta directamente en las condiciones de vida de estas comunidades.

La relevancia de la preservación de este sector no solamente radica en garantizar la seguridad alimentaria, sino también en fomentar el bienestar social y económico de las comunidades agrícolas. En este sentido, la presente investigación se justifica como un esfuerzo indispensable para conocer a profundidad los daños causados por *R. solanacearum* en el cultivo de papa en Ecuador. Su finalidad no es sólo medir el impacto de la enfermedad, sino también plantear soluciones y prácticas agrícolas resilientes que contribuyan a conservar y potenciar la producción de papa en la región.

La investigación se posiciona como un elemento esencial para abordar los desafíos actuales y futuros que plantea la marchitez bacteriana en este cultivo ecuatoriano.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los daños causado por *Ralstonia solanacearum* en cultivo de papa.

1.4.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Describir los síntomas típicos de la infección por *Ralstonia solanacearum* en cultivo de papa.
- Detallar los métodos de control de la infección por *Ralstonia solanacearum* en plantaciones de papa.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Líneas de investigación de la Universidad Técnica De Babahoyo

- Recursos agropecuarios

Líneas de investigación de FACIAG

Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable

Carrera de agronomía

- Agricultura sostenible y sustentable

2. DESARROLLO

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. LA PAPA *Solanum tuberosum*

La papa (*Solanum tuberosum* L), que forma parte de la familia de las solanáceas, es un tubérculo ampliamente cultivado en todo el mundo, con una producción que alcanza aproximadamente los 325 millones de toneladas. Es el quinto cultivo más importante del mundo, después de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), el arroz (*Oryza sativa* L), el maíz (*Zea mays* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L), tanto en términos de superficie cultivada como de producción total (Amaya Guerrero et al. 2021).

2.1.2. TAXONOMÍA DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum*) pertenece al orden Solanales y a la familia Solanaceae. En el ámbito taxonómico, se clasifica dentro del género *Solanum*. Esta especie específica, *Solanum tuberosum*, se subdivide en subespecie, siendo la subespecie Andígena. Además, dentro de esta subespecie, hay diversas variedades cultivares, entre las que se encuentra la variedad Pastusa superior.

2.1.3. IMPORTANCIA DE LA PAPA

En Ecuador, la producción de papa cubre un área cosechada anual de alrededor de 25 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 35 toneladas por hectárea. Este cultivo se encuentra concentrado principalmente en la región Sierra y es el segundo cultivo agrícola en importancia en la sierra después del maíz tierno. Las provincias de Carchi, Chimborazo y Tungurahua son las principales productoras, aportando en conjunto el 56,7 % del total de la producción nacional. En particular, Carchi se destaca como la provincia con mayor producción, representando el 46 % de la producción total del país (Sandra 2023).

2.1.4. MORFOLOGÍA DE LA PAPA

2.1.4.1. FRUTOS

El fruto se caracteriza por ser una baya, generalmente de color verde, en su interior se halla la semilla botánica, que puede contener más de 200 semillas, dependiendo de la fertilidad de cada variedad. Estas semillas son planas, ovaladas y de tamaño reducido (Crespo 2023).

2.1.4.2. HOJAS

Las hojas son compuestas, lo que significa que constan de un pecíolo con varios folíolos laterales y uno terminal. A medida que la planta crece, sus hojas producen almidón, el cual se transfiere a las terminaciones de sus tallos subterráneos o estolones (Martínez y Carolla 2019).

2.1.4.3. RAIZ

El sistema radicular de la papa es fibroso y consta de una raíz primaria, un hipocótilo y un epicótilo, a partir de los cuales se generan el tallo y el follaje. La raíz desempeña varias funciones, como servir de soporte a la planta, absorber agua y nutrientes esenciales. Estos elementos son indispensables para el desarrollo de tallos, hojas y frutos, además de favorecer la formación de tubérculos (Yanchatipan Toapanta 2020).

2.1.4.4. TUBÉRCULOS

Los tubérculos de papa son estructuras modificadas de los tallos que se forman en la punta de los estolones y sirven como los principales órganos de almacenamiento de nutrientes de la planta. Los tubérculos se reproducen por el incremento de los tejidos de reserva que acelere el aumento de células (Inostroza 2009).

2.1.4.5. ESTOLONES

Los estolones son tallos laterales que se extienden horizontalmente bajo tierra a partir de yemas situadas en la parte subterránea de los tallos. Estos estolones pueden producir tubérculos mediante la expansión de su extremo terminal. Sin embargo, si un estolón no está cubierto de tierra, puede desarrollar un tallo erguido con follaje normal (Martínez y Carolla 2019).

2.1.4.6. TALLOS

Los tallos o llamados también comúnmente ojos, se distribuyen sobre la superficie del tubérculo, por lo cual cada tallo tiene varias yemas. Los ojos del tubérculo son morfológicamente equivalentes a los nudos del tallo. Las yemas presentes en los ojos tienen la capacidad de desarrollarse para dar lugar a un nuevo sistema de tallos principales, tallos laterales y estolones (Rojas 2020).

2.1.5. GENERALIDADES DE *Ralstonia solanacearum*

La marchitez bacteriana de la patata, causada por *Ralstonia solanacearum* (E. F. Smith), es una de las principales limitantes en la producción de este cultivo. Dada la elevada variabilidad de esta especie, el análisis de su diversidad poblacional surge como un factor de importancia a tener en cuenta para su adecuado control (Ríos Morales 2007).

Según Melgar et al. (2012) *R. solanacearum*, constituye en realidad un grupo de razas o cepas que poseen suficientes características morfológicas, genéticas, bioquímicas y patogénicas comunes como para ser clasificadas como la misma especie. No obstante, estas cepas poseen algunas características distintivas que las diferencian entre sí, siendo la capacidad de infectar diferentes especies de plantas, siendo esta característica una de las más importantes en la práctica. Históricamente, se han reconocido al menos de tres a cinco razas, que son:

Raza 1. Esta raza posee una gran variedad de plantas hospedadoras y se la suele denominar cepa de las solanáceas, ya que es el grupo más importante de plantas cultivadas a las que afecta (excluida la papa); también afecta al jengibre y al cacahuete, entre otros.

Raza 2. Se encuentra en plantas de la familia de las Musáceas, que incluye al banano, plátano y moroca, causándoles la enfermedad conocida como "Moko".

Raza 3. Es la cepa que principalmente afecta a la papa y al geranio.

Raza 4. Fue registrada tanto en Asia como en Hawái, donde también se ha observado afectando cultivos de jengibre.

Raza 5. Hasta ahora, solo se ha registrado en China como un problema que afecta a una especie específica de mora.

2.1.5.1. SINTOMATOLOGÍA Y SIGNOS

En el campo la sintomatología típica es de marchitez, enanismo y amarillamiento del follaje, situación que puede estar presente en cualquier estado de desarrollo de la planta, y puede

ser evidente en uno o varios tallos de la planta. Cuando el ataque es violento, la marchitez es generalizada sin que se note un cambio de color en el follaje (Castro y Contreras 2011).

SIGNOS

R. solanacearum, es una bacteria abastionada que no forma espora ni capsula, es Gram negativa, reduce nitratos, forma amoniaco y es aeróbica. La presencia de gotitas de apariencia lechosa que exudan del xilema seccionada corresponde a un importante signo de la enfermedad. Estas gotas son brillantes, de color castaño grisáceo y bastante mucosas (Castro y Contreras 2011).

Si dos superficies de tallo con exudado entran en contacto y luego se separan lentamente, es posible notar finos hilos de mucosidad que se estiran. Igualmente, y una sección de tallo se coloca en vaso con agua, se puede observar el flujo bacteriano que sale de la xilema, en forma de hilos de color lechoso que se proyectan hacia el fondo. Si se cortan transversalmente tubérculos enfermos y se les aplica una ligera presión, emanan del anillo vascular gotitas blanquecinas de mucus bacteriano (Castro y Contreras 2011).

SÍNTOMAS EN EL TUBÉRCULO

En las fases avanzadas de la enfermedad, los tubérculos de papa pueden presentar una decoloración gris-marrón en los tejidos vasculares, a menudo es denominada como anillo vascular, cuando se observan en sección transversal. Con la progresión de la infección, esta decoloración puede extenderse a la médula o la corteza del tubérculo. Además, puede observarse un exudado mucilaginoso de color lechoso, indicativo de la presencia de células bacterianas, especialmente en secciones recién cortadas de tubérculos infectados. El exudado bacteriano también puede ser visible en los ojos o en el punto de conexión entre el estolón y el tubérculo. Es preciso destacar que estos signos o síntomas pueden no ser visibles en las primeras fases de desarrollo de la enfermedad (Patrice 2009).

2.1.5.2. EPIDEMIOLOGIA

Según EPPO (2018) describe que: La bacteria se mueve a las raíces de la planta hospedante, se adhiere a la epidermis, infecta la corteza y coloniza el xilema, lo que produce la marchitez del hospedante. La entrada de la bacteria a la planta es favorecida por el ataque primario de nemátodos noduladores del género *Meloidogyne spp.* La penetración al interior de

los tejidos de la planta ocurre también a través de heridas producidas por el desarrollo de raíces secundarias, heridas producidas por insectos y prácticas culturales. Después de la muerte de la planta, la bacteria es liberada al medio ambiente, donde parece sobrevivir en las plantas hospedantes alternas (malezas), en el suelo y/o el agua, a través de diversas estrategias, como el estado de formas viables, pero no cultivables.

2.1.5.3. DISEMINACIÓN DE *Ralstonia solanacearum*.

El principal medio de transmisión es la utilización de papa de semilla contaminada. Los tubérculos aparentemente sanos pueden estar infectados por la bacteria. Si se dan condiciones adecuadas de humedad y temperatura, estos tubérculos se pudrirán en el almacén o enfermarán durante el desarrollo de una nueva plantación, contaminando el suelo en el que se cultiven. También puede propagarse con la tierra adherida a la maquinaria (tractores, motocultores), a los aperos (azadas, horquetas, rastrillos), al calzado, con el agua de riego o de escorrentía, con animales (grajas, conejos, ratas, perros, insectos, nemátodos). La bacteria puede vivir en la planta y en los tubérculos de papa, y en otras plantas cultivadas o malas hierbas sin producir síntomas. También puede mantenerse en el suelo, en el agua y en restos vegetales. En estos casos, sólo el análisis de las muestras en el laboratorio puede permitir su detección (AEA 2020).

2.1.5.4. MORFOLOGÍA DE *Ralstonia solanacearum*.

Esta bacteria es un bacilo Gramnegativo, aeróbico, móvil, no fluorescente, que mide 0,5-0,7 x 1,5-2,0 μm , posee de uno a cuatro flagelos polares, sin embargo, la presencia de flagelos y la motilidad está directamente relacionada con el tipo de colonia y la edad del cultivo bacteriano, la temperatura óptima a la que puede sobrevivir va desde los 10,35 °C y máximo 41 °C (Álvarez 2013).

La cepa virulenta se distingue por tener una superficie lisa con bordes irregulares y un aspecto más fluido. Se caracteriza por una mayor producción de polisacáridos 23 extracelulares. En contraste, la cepa mutante o no virulenta presenta una superficie más rugosa con bordes regulares y redondeados. Su apariencia no es fluida, sino más bien seca, lo que dificulta su identificación en el campo (Sánchez 2021).

2.1.5.5. IMPORTANCIA DE *R. solanacearum*

La bacteria *R. solanacearum* raza 3, es un patógeno reconocido como de gran importancia, ya que causa daños a todas las variedades de papa. Su capacidad de propagación por diversos mecanismos y su alta variabilidad patógena dificultan su manejo, convirtiéndose en un problema importante que afecta la comercialización de la producción bananera (Cruz et al. 2023).

2.1.6. METODOS DE CONTROL

2.1.6.1. CONTROL CULTURAL

Según (Priou et al. 2001), señala que los principales métodos de control cultural son:

- **EL USO DE SEMILLA SANA**

Es crucial para prevenir la propagación de *Ralstonia solanacearum*, especialmente las variantes de la raza 3. Los tubérculos o semillas infectados funcionan como el principal vehículo de propagación de esta bacteria. En climas fríos, por encima de los 2500 metros, las plantas infectadas pueden no mostrar síntomas, pero aun así pueden albergar la bacteria y transmitirla a los tubérculos, donde permanece latente. Esto puede provocar brotes severos de la enfermedad cuando esos tubérculos se siembran en áreas cálidas. En los procesos de certificación de semillas, la incidencia de la marchitez bacteriana debe ser del 0 %. Para la producción de semillas, es imprescindible utilizar únicamente tubérculos-semilla libres de marchitez bacteriana procedentes de áreas no infectadas.

- **SEMBRAR EN SUELOS LIBRES de *R. solanacearum***

Es fundamental sembrar en suelos libres de *Ralstonia solanacearum* para prevenir la propagación de la enfermedad. Si un cultivo se ha visto afectado por la marchitez bacteriana, se aconseja que los agricultores se abstengan de sembrar papas u otros cultivos susceptibles durante al menos dos años. Se recomienda aplicar una rotación con cultivos de cereales o pastos para erradicar el inóculo presente en el suelo.

La duración de esta rotación necesaria puede variar, ya que la supervivencia de *R. solanacearum* en el suelo está determinada por factores ambientales como la temperatura y la humedad, así como por las características específicas del suelo, incluidos los aspectos bióticos

y abióticos. Algunos suelos pueden ser supresivos, lo que significa que la bacteria no sobrevive durante períodos prolongados en ellos, aunque los mecanismos responsables de esta inhibición aún no se comprenden completamente.

- **ELIMINACIÓN DE RASTROJOS**

Tras cosechar un cultivo afectado, es imprescindible eliminar los residuos de papa del campo. Se recomienda quemarlos o enterrarlos en zonas alejadas del campo, preferiblemente lejos de los canales de riego para evitar la propagación de la enfermedad.

- **ELIMINACIÓN DE LOS TUBÉRCULOS PODRIDOS**

Después de la cosecha, es importante eliminar los residuos de la cosecha y asegurarse de destruirlos siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente.

- **ELIMINACION DE MALEZAS**

Es fundamental erradicar ciertas especies de malezas antes de sembrar papas y otros cultivos en rotación, dado que la bacteria *R. solanacearum* puede persistir en ellas.

- **ELIMINACIÓN DE PLANTAS VOLUNTARIAS DE PAPA**

Es necesario eliminar rápidamente las plantas voluntarias, ya que representan otro medio para la supervivencia de la bacteria *R. solanacearum*.

- **ELIMINACIÓN DE PLANTAS MARCHITAS**

Si se observa una baja incidencia del patógeno, es necesario retirar inmediatamente del campo las plantas de papa marchitas para evitar la transmisión a las plantas sanas. Estas plantas deben eliminarse cuidadosamente y destruirse utilizando el mismo método empleado para los rastrojos de papa.

- **DESINFESTACIÓN DE HERRAMIENTAS**

Para impedir la propagación de tierra contaminada por el patógeno de un campo infectado a otro libre de la enfermedad, es necesario desinfectar todas las herramientas con agua y cloro (u otro desinfectante bactericida) o esterilizarlas con fuego.

2.1.6.2. CONTROL GENÉTICO

Según un estudio de Fort et al (2020), menciona que se demostró que las líneas de papa transformadas con AtEFR (Receptor de la planta *Arabidopsis thaliana* involucrado en la detección temprana de patógenos), muestran niveles de resistencia más altos contra la bacteriosis vascular en comparación con los genotipos no transformados. El efecto de AtEFR se verificó por primera vez en condiciones que se asemejan a las del campo. Estos resultados resaltan el potencial de las plantas de papa AtEFR como un método alternativo prometedor para el cultivo comercial. Además, la combinación de un receptor de papa que refuerza la inmunidad a través de PTI, con resistencia cuantitativa introgresada, resultó ser una estrategia valiosa, mostrando mejores resultados que el uso de cada enfoque por separado.

Además, al comparar los patrones de colonización del patógeno entre los genotipos, concluimos que la mejora en la resistencia de los genotipos AtEFR podría atribuirse a una restricción más efectiva del patógeno en la base del tallo, lo que impide su propagación a la parte aérea de la planta, lo que explica la reducción y el retraso en el inicio de los síntomas de marchitez. Prevenir por completo la propagación de la bacteria a través de los tubérculos sigue siendo un objetivo para mejorar.

En perspectiva, sería muy útil realizar un análisis transcriptómico masivo (ARN-Seq) para identificar los genes asociados con la reacción a la infección desencadenada por el mecanismo de reconocimiento de genes de resistencia menores, así como por la interacción del gen *efr/ef-tu* con la bacteria patógena introducidos por mejoramiento convencional.

2.1.6.3. CONTROL ORGÁNICO

Se ha comprobado que los aceites esenciales de orégano y tomillo tienen un efecto inhibitorio significativo en el crecimiento de *Ralstonia solanacearum* cuando se diluyen en una proporción de 1:1 y se aplican en una cantidad de 15 μ l. Estos aceites esenciales demuestran una capacidad de inhibición superior a la de los antibióticos convencionales, como la estreptomicina (10 μ g) y la ampicilina (10 μ g), lo que sugiere que podrían ser una alternativa efectiva para el control biológico de esta bacteria (Rueda-Puente et al. 2018).

2.1.6.4. CONTROL QUÍMICO

La enfermedad no tiene ningún control químico. La bacteria que causa la enfermedad vive en las plantas enfermas, en el suelo y en el agua. La enfermedad puede permanecer durante unos cuatro años en el suelo (Antezana 2020).

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. Método

Este trabajo de investigación práctica será desarrollado mediante la recopilación exhaustiva de información. Se llevó a cabo una minuciosa investigación en diversas fuentes de libre acceso, incluyendo páginas web, artículos científicos, tesis de grado y documentos bibliográficos disponibles en varias plataformas digitales. Es importante destacar que toda la información obtenida será sometida a un análisis detallado, seguido de un proceso de síntesis y resumen.

2.2.2. Metodología

De acuerdo con las técnicas de investigación, la metodología que se empleará en este trabajo es de tipo exploratoria y explicativa. Exploratoria porque se centra en documentos ya existentes de donde se recopilará toda la información y contenido del caso de estudio. Explicativa puesto que se detallará la relación que existe entre las variables de estudio que forman parte de la investigación.

2.3. RESULTADOS

Los resultados de este estudio resaltan la importancia crucial de la papa (*Solanum tuberosum L*) como uno de los cultivos alimenticios más relevantes a nivel mundial. Con una producción global que alcanza hasta 325 millones de toneladas, la papa se posiciona como el quinto cultivo más importante después de la caña de azúcar, el arroz, el maíz y el trigo. En Ecuador, la producción de papa es especialmente notable, con una superficie cosechada anual de aproximadamente 25 mil hectáreas, con un promedio de rendimiento de 35 toneladas por hectárea. Este hecho subraya la importancia económica y agrícola de la papa en el país, especialmente en regiones como la Sierra, donde se cultiva ampliamente y representa el segundo rubro agrícola más importante después del maíz.

De acuerdo con Castro y Contreras (2011) *R. solanacearum*, es una bacteria abastionada que no forma espora ni capsula, es Gram negativa, reduce nitratos, forma amoniaco y es aeróbica. La presencia de gotitas de apariencia lechosa que exudan del xilema seccionada corresponde a un importante signo de la enfermedad. Estas gotas son brillantes, de color castaño grisáceo y bastante mucosas.

Según Patrice (2009) En las fases avanzadas de la enfermedad, los tubérculos de papa pueden presentar una decoloración gris-marrón en los tejidos vasculares, a menudo es denominada como anillo vascular, cuando se observan en sección transversal. Con la progresión de la infección, esta decoloración puede extenderse a la médula o la corteza del tubérculo.

En relación con *R. solanacearum*, se enfatizó su papel como un patógeno devastador que afecta a la papa y otras plantas de importancia agrícola. Se subrayó su alta variabilidad patogénica y la complejidad en su manejo, lo que representa un desafío importante para la producción de cultivos como la papa y el plátano. La bacteria se propaga principalmente a través de la utilización de semilla contaminada y presenta una serie de signos y síntomas característicos en la planta y los tubérculos infectados.

Se evaluaron los métodos de control para la marchitez bacteriana de la papa, abarcando diversas estrategias, desde el control cultural hasta el genético y el orgánico. Se destacó especialmente el potencial de la transformación genética, como se demostró en líneas de papa transformadas con AtEFR (Receptor de la planta *Arabidopsis thaliana* involucrado en la detección temprana de patógenos), que mostraron niveles de resistencia más altos contra la bacteriosis vascular. Además, se evidenció la efectividad de los aceites esenciales de orégano y tomillo como alternativas de control biológico, superando a los antibióticos convencionales en su capacidad inhibitoria contra *R. solanacearum*.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados resaltan la necesidad de comprender la taxonomía y la morfología de la papa, así como la diversidad genética de la especie. Esto proporciona una base fundamental para abordar enfermedades como la marchitez bacteriana y desarrollar estrategias de control efectivas. Además, se subraya la importancia económica y agrícola de la papa en Ecuador, donde representa uno de los principales cultivos, especialmente en la región de la Sierra.

En cuanto a la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, se evidencia su impacto significativo en la producción de papa y otros cultivos importantes. La alta variabilidad patogénica de esta bacteria representa un desafío considerable para su manejo, lo que destaca la necesidad de adoptar enfoques integrados y multifacéticos para su control.

Los métodos de control evaluados en este estudio, que incluyen enfoques culturales, genéticos, orgánicos y químicos, proporcionan una gama diversa de estrategias para abordar la marchitez bacteriana. Se destaca especialmente el potencial de la transformación genética, como se demostró en líneas de papa transformadas con *ate AtEFR*, que mostraron niveles de resistencia más altos contra la bacteriosis vascular. Además, se evidenció la efectividad de los aceites esenciales de orégano y tomillo como alternativas de control biológico, superando a los antibióticos convencionales en su capacidad inhibitoria contra *Ralstonia solanacearum*.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos en este estudio sobre la *Ralstonia solanacearum* de la papa y el control de *R. solanacearum*, podemos extraer varias conclusiones importantes. En primer lugar, se destaca la relevancia económica y agrícola de la papa a nivel mundial, siendo uno de los cultivos más importantes en términos de producción y consumo. Sin embargo, esta producción se ve amenazada por enfermedades, causada por la bacteria *R. solanacearum*, que presenta una alta variabilidad patogénica y puede afectar a una amplia gama de cultivos.

R. solanacearum es una bacteria que afecta a las plantas de papa, y se caracteriza por causar síntomas como la exudación de gotas lechosas del interior del tallo y la decoloración de los tubérculos. Estos signos pueden ser difíciles de detectar al principio. La bacteria se propaga principalmente a través de semillas contaminadas y la tierra que queda pegada a las herramientas agrícolas. Es crucial identificar estos síntomas temprano y tomar medidas para evitar la propagación de la enfermedad en los cultivos de papa.

Los métodos de control evaluados en este estudio ofrecen una variedad de estrategias para abordar la marchitez bacteriana, incluyendo enfoques culturales, genéticos, orgánicos y químicos. La transformación genética, como la introducción de genes como AtEFR, ha demostrado ser una alternativa prometedora para mejorar la resistencia de la papa a *R. solanacearum*. Además, los aceites esenciales de orégano y tomillo han mostrado ser efectivos como alternativas de control biológico contra esta bacteria, superando a los antibióticos convencionales en su capacidad inhibitoria.

3.2. RECOMENDACIONES

Fomentar la investigación continua en el campo de la fitopatología para mejorar nuestra comprensión de la biología de *Ralstonia solanacearum*. Esta bacteria presenta una alta variabilidad patogénica, lo que hace necesario estudiar en detalle su diversidad genética y los mecanismos de resistencia de las plantas hospedantes. Además, se requiere el desarrollo de nuevas estrategias de control que sean efectivas contra las distintas cepas de la bacteria.

Por otro lado, se recomienda promover prácticas agrícolas sostenibles que contribuyan a reducir la incidencia de la marchitez bacteriana. Esto incluye la implementación de técnicas

de manejo integrado de plagas y enfermedades, como la rotación de cultivos, el uso de semilla certificada y la aplicación de sistemas de riego eficientes. Estas medidas ayudarán a minimizar la propagación de la enfermedad y a mantener la salud de los cultivos de papa.

Además, es importante impulsar la adopción de variedades de papa resistentes a *R. solanacearum*. La introducción de genes de resistencia mediante técnicas de biotecnología agrícola ofrece una estrategia prometedora para mejorar la capacidad de las plantas para resistir la infección bacteriana. Esto puede contribuir significativamente a reducir las pérdidas de rendimiento y garantizar la seguridad alimentaria en regiones afectadas por la enfermedad.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEA. 2020. Marchitez bacteriana o podredumbre parda de la papa. Agencia de Extensión Agraria

Álvarez. 2013. Dirección General de Sanidad Vegetal. Dirección del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. (SENASICA, Ed.) (en línea). . Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/746658/FICHA_T_CNICA_MOKO.p df.

Amaya Guerrero, AP; Beltrán Pineda, ME; Alfonso Vargas, NC; Amaya Guerrero, AP; Beltrán Pineda, ME; Alfonso Vargas, NC. 2021. *Pectobacterium carotovorum*: agente fitopatógeno causante de la pudrición blanda en la papa (*Solanum tuberosum*) (en línea). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 22(2). DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1710.

Antezana, O. 2020. Marchitez bacteriana en papa DOI: <https://doi.org/10.1079/pwkb.20127801108>.

Castro, I; Contreras, A. 2011. MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE LA PAPA. 978-956-345-156-6. s.l., Universidad Austral de Chile. .

Center, IP; Servicio Nacional de Sanidad Agraria, P. 2017. ¿Qué es la marchitez bacteriana de la papa? (en línea). . Consultado 16 ene. 2024. Disponible en <https://hdl.handle.net/10568/96072>.

Coronel R, JA. (2019). Informe de rendimientos objetivos de papa 2019 (en línea). Ecuador, MAG. (economico). Disponible en http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2019.p df.

Crespo, C. 2023. Morfología de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) (en línea, sitio web). Consultado 3 mar. 2024. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/03/02/morfologia-de-la-planta-de-papa-solanum-tuberosum-l/>.

Cruz, PSS; Romanova, EV; Guamán, RNG; Cortázar, SMU; Abril, ÁFV. 2023. Caracterización morfológica y bioquímica de *Ralstonia solanacearum* Raza 2, bacteria patógena en cultivos de banano y plátano en El Carmen, Manabí, Ecuador. *Siembra* 10(1):e4305-e4305. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4305>.

EDIFARM & CÍA. 2013. Manual del cultivo de papa. s.l., Dr. Ing. rer nat. Carlos J. Falconi Borja Ph.D. Ingeniero en Recursos Naturales (Ing. Rer. Nat.) Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador) Doctor of Philosophy (Ph.D.) University of Constance (Alemania) University of Hohenheim (Alemania) Consultor – Científico.

EPPO. 2018. *Ralstonia solanacearum*, *R. pseudosolanacearum* and *R. syzygii* (*Ralstonia solanacearum* species complex). :32-63.

FAO. (2022). Propuesta para un Día Internacional de la Papa. s.l., Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. NJ507/s.

Fort, S; Ferreira, V; Murchio, S; Schwartzman, C; Galván, GA; Vilaró, F; Siri, MI; Dalla-Rizza, M; Fort, S; Ferreira, V; Murchio, S; Schwartzman, C; Galván, GA; Vilaró, F; Siri, MI; Dalla-Rizza, M. 2020. Potato plants transformed with the Arabidopsis EF-Tu receptor (EFR) show restricted pathogen colonization and enhanced bacterial wilt resistance under conditions resembling natural field infections (en línea). *Agrociencia* (Uruguay) 24(SPE2). DOI: <https://doi.org/10.31285/agro.24.413>.

Inostroza, J. 2009. Manual de papa para la Araucanía: manejo y plantación. .

MAG. (2023). BOLETIN SITUACIONAL Cultivo de papa. (en línea). s.l., Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2022/boletin_situacional_papa_2022.pdf.

Martínez, A; Carolla. 2019. Antecedentes para la producción de papas en Magallanes (en línea) (En accepted: 2020-12-15t01:35:29z). . Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6761>.

Melgar, J; Rivera, J; Brown, J; Weller, S. (2012). MARCHITEZ BACTERIANA EN SOLANÁCEAS: SU RECONOCIMIENTO Y MANEJO INTEGRADO (en línea). Honduras,

s.e. Disponible en
http://www.fhia.org.hn/descargas/Departamento_de_Proteccion_Vegetal/manual_marchitez_bacteriana.pdf.

Naranjo Feliciano, E; Martínez Zubiaur, Y. 2013. Avances en el diagnóstico de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*): situación actual y perspectivas en Cuba. *Revista de Protección Vegetal* 28(3):160-170.

Patrice, G. 2009. *Ralstonia solanacearum* raza 3 biovar 2 (en línea). s.l., s.e. . Disponible en https://plantpath.ifas.ufl.edu/rsol/RalstoniaPublications_PDF/Ralstonia_solanacearum_ES_PDF.pdf.

Priou, S; Aley, P; Chujoy, E; Lemaga, B; French, E. 2001. CONTROL INTEGRADO DE LA MARCHITEZ BACTERIANA DE LA PAPA. .

Ríos Morales, G. 2007. Distribución y variabilidad de *Ralstonia solanacearum* e.f. Smith agente causal de marchitez bacteriana en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L), en tres departamentos del norte de Nicaragua (Esteli, Matagalpa y Jinotega) (en línea). engineer. s.l., Universidad Nacional Agraria, UNA. 35 p. Consultado 16 ene. 2024. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1366/>.

Rivas Moran, TN. 2022. CUALES SON LAS PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) Y SUS MEDIDAS DE CONTROL (en línea). tesina. s.l., UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALAAHOYO. . Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19806/1/ECUACA-2022-IA-DE00007.pdf>.

Rojas, KDM. 2020. El cultivo de papa pastusa (*Solanum tuberosum* subespecie andígena) como alternativa productiva en la agricultura familiar del corregimiento La Granja (Sucre, Santander).

Rueda-Puente, EO; Juvera Bracamontes, JJ; Romo López, IG; Holguín Peña, RJ; Rueda-Puente, EO; Juvera Bracamontes, JJ; Romo López, IG; Holguín Peña, RJ. 2018. Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de orégano y tomillo contra *Ralstonia*

solanacearum. Revista mexicana de ciencias agrícolas 9(SPE20):4251-4261. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.995>.

Sánchez, M. 2021. Ralstonia Solanacearum en el cultivo de plátano en el Ecuador (en línea). s.l., Universidad Técnica de Babahoyo. . Disponible en <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10306>.

Sandra. 2023. Producción de papa en Ecuador y su importancia (en línea, sitio web). Consultado 3 mar. 2024. Disponible en <https://delmonteag.com.ec/produccion-de-papa-en-ecuador-y-su-importancia/>.

Yanchatipan Toapanta, DM. 2020. Monitoreo del Psílido bactericera cockerelli en el Cultivo de Papa (solanum tuberosum l.) en el Campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Salache, 2020. (en línea). bachelorThesis. s.l., Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC. . Consultado 3 mar. 2024. Disponible en <http://localhost/handle/27000/7047>.

4.2. ANEXOS



Figura 1. Decoloración gris-marrón de tejidos vasculares y exudado bacteriano en tubérculo de papa infectado por *R. solanacearum*



Figura 2. Exudado bacteriano saliendo del ojo de un tubérculo de papa infectado por *R. solanacearum*.



Figura 3. Leche que sale de una papa enferma.