

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN



Evaluación *In vitro* de Productos para la Inhibición del Crecimiento de

Pectobacterium carotovorum Jonas.

Por:

JESÚS RUIZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero,

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Evaluación *In vitro* de Productos para la Inhibición del Crecimiento de

Pectobacterium carotovorum Jonas.

Por:

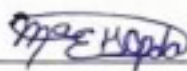
JESÚS RUIZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



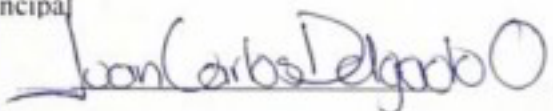
Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda

Asesor Principal



Dra. Adriana Antonio Bautista

Coasesor



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2026

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Jesús Ruiz López

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme paciencia, fuerza, sabiduría para seguir adelante y por todo lo bueno que me ha dado a mí y a mi familia.

A la “**UAAAN**” mi **Alma Mater**, la cual fue mi segundo hogar, que me recibió con los brazos abierto desde el primer pie que puse aquí, por alimentarme y por ofrecerme oportunidades que no tenía, por darme conocimientos, experiencias y enseñanzas, que siempre llevare en mi corazón.

A la **Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda** por darme la oportunidad de trabajar con ella, y orientarme para poder sacar adelante mi trabajo de tesis.

A la **Dra. Denisse Ramírez Rodríguez** por brindarme su apoyo en mi trabajo de mi tesis, en laboratorio, por sus consejos, explicaciones, observaciones y sobre todo por su tiempo y paciencia que me dio.

Al **Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz** por sus observaciones y sugerencias en mi escrito y ser parte de mi comité asesor.

A la **Dra. Adriana Antonio Bautista**, por aceptar ser mi coasesor y por sus observaciones en mi escrito y orientarme en mis tramites.

A la **T.A. María Cristina Sánchez Flores** por su tiempo en explicarme siempre con paciencia en mi trabajo de tesis en el laboratorio.

Al **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez**, por sus explicaciones para mi escrito.

A la **M.C. Lucero Elizabeth Aguilar Hernández**, por apoyarme en mi experimento y orientarme y aclararme dudas.

A la **Dra. María Alejandra Torres Tapia**, por ser parte de mi formación académica y estar siempre al pendiente de mi avance, como maestra y tutora.

Al **Ing. Raúl Gándara Huitrón**, que acepto ser mi coasesor de tesis y que me apoyo en mi etapa en la universidad.

A mis **Compañeros de clases**, por compartir momentos únicos y que jamás serán olvidados.

A los pocos que considero amigos, y que fueron mis roomies, como lo son: **Mike, Majo, Yolo, Joss, Chel y Lupita**, que fueron parte de momentos únicos que pasamos en la universidad y viviendo juntos.

Un agradecimiento especial a mi **M.A.**, la **Ing. Wendy Sherlin**, la cual pasé momentos inolvidables con ella, aventuras que no pensé tener con nadie, jamás olvidare los viajes a USA, que solo aguantamos tres días seguidos de compras.

A **Billie Eilish Pirate Baird O'Connell**, por sacar álbumes de calidad durante mi etapa de estudiante y en momentos de estrés, como lo fue, redactar este escrito. Y que me dan paz y tranquilidad, aunque la tormenta aun no pase.

DEDICATORIAS

A mis padres

María del Socorro López Alarcón

Jesús Ruiz Ruiz

A quienes amo con todo el corazón. Agradezco todo el apoyo incondicional que me han dado, por su esfuerzo para sacarme adelante, gracias por su confianza y permitirme llegar a lograr este sueño, este logro también es de ustedes. Te doy las gracias mama, por siempre cuidarme, preocuparte y estar al pendiente de mí, porque a pesar de andar cansada, siempre tuve comida preparada en la mesa, porque antes de ser madre, fuiste hija y nadie te enseñó a ser la más dedicada, por los abrazos, porque para mí son un curita al alma. A ti papa, que siempre quisiste salir adelante para que a mi no me faltara nada, que siempre me guiaste y educaste por el camino de bien, por enseñarme a ver el bien y el mal, por el sustento de toda mi vida, que nunca terminare de pagarte. Gracias por todo, siempre serán mi motor para seguir adelante.

A mis hermanos

Jose Alejandro, para mí has sido mi ejemplo que seguir y porque siempre se ha esforzado para salir adelante, porque siempre me has dicho que me esfuerce hasta alcanzar mis metas, y que siempre tenga en mente mis valores y apoyarme. A ti Andrea, por ser parte clave en mi vida, y permitirme compartir momentos que no olvidare y apoyarme.

A mis sobrinos

Alejandro y María Fernanda, por sacarme carcajadas, corajes, pero sobre todo por ser parte de mi vida. Ustedes me forjan a ser una buena persona, para que yo pueda ser un ejemplo en el futuro.

A mi cuñada

Ana Yessica Islas, que desde que llego a mi familia siempre hemos compartido momentos que recordare siempre

A mi tío y primos

Juan Ruiz, Diego Ruiz, Valerio Ruiz, Lazaro Jesus. Por sus esfuerzo de cada día para salir adelante y que nunca me faltara lo indispensable mientras me encontraba en la universidad, y por celebrar mi logro como suyo.

A mi tío **Lazaro Ruiz Ruiz** q.e.p.d

Que a pesar de ya no estar con nosotros, me dejo la enseñanza de siempre ser amable y sobre todo, ser humilde. Y que siempre lo tendré presente.

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los alimentos fundamentales a escala global, ocupando el cuarto puesto en producción tras el arroz, el trigo y el maíz. Su cultivo, distribuido en más de 150 países debido a su adaptabilidad y valor nutricional, se enfrenta a numerosas adversidades. A nivel mundial, se registran más de 70 enfermedades y desórdenes fisiológicos que causan daños significativos, especialmente en los tubérculos. Entre estos, *Pectobacterium carotovorum* destaca como un patógeno primario, generando pérdidas económicas cuantificadas entre 50 y 100 millones de dólares anuales a escala global. En consecuencia, el propósito de este estudio fue evaluar *in vitro* la eficacia inhibitoria de diversos compuestos frente a *P. carotovorum*, empleando las técnicas de dilución en caldo y antibiograma. La inhibición en la dilución en caldo se cuantificó mediante el conteo de unidades formadoras de colonias en cámara de Neubauer. Para el antibiograma, se midió el diámetro del halo de inhibición del crecimiento bacteriano. Los datos resultantes fueron analizados mediante un ANOVA y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el software SAS versión 9.0 para Windows. Se concluyó que, en la técnica de dilución en caldo, el sulfato de cobre pentahidratado indujo la mayor reducción bacteriana, registrando la concentración celular más baja. En el antibiograma, la combinación de estreptomicina y oxitetraciclina generó el halo de inhibición de mayor diámetro, demostrando ser el tratamiento más eficaz para este método.

Palabras clave: Antibiograma, halo, dilución en caldo, cámara de Neubauer

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS	VI
RESUMEN	VIII
INDICE DE CONTENIDO	IX
INDICE DE CUADROS	XIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3.- HIPÓTESIS	4
3.1. Hipótesis nula	4
3.2. Hipótesis alterna.....	4
4.- REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Origen y distribución.....	5
4.2. Taxonomía	5
4.3. Morfología.....	6
4.3.1. Raiz.....	6
4.3.2. Estolón	6
4.3.3. Tubérculo	7
4.3.4. Brote	7
4.3.5. Tallos.....	7
4,3,6. Hoja	8
4.3.7. Flor e inflorescencia.....	8
4.3.8. Fruto y semillas.....	8

4.4. Importancia del cultivo	9
4.5. Producción en México.....	9
4.6. Plagas	9
4.6.1. Polilla de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i>)	10
4.6.2. Pulgones (<i>Myzus persicae</i> y <i>Macrosiphum euphorbiae</i>)	10
4.6.3. Gusanos cortadores (<i>Agrotis spp</i>).....	11
4.6.4. Paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	11
4.7. Enfermedades causadas por hongos	11
4.7.1. Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>).....	11
4.7.2. Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>)	11
4.7.3. Costra negra o rhizoctonias (<i>Rhizoctonia solani</i>).....	12
4.8. Enfermedades causadas por bacterias	12
4.8.1. Marchitez bacteriana (<i>Ralstonia solanacearum</i>).....	12
4.8.2. Pudrición blanda (<i>Pectobacterium carotovorum</i>).....	13
4.9. Antecedentes de <i>Pectobacterium</i>	13
4.10. Caracterización del patógeno	14
4.11. Sintomatología.....	15
4.12. Epidemiología	16
4.13. Métodos de control.....	16
4.13.1. Cultural	16
4.13.2. Químico	17
4.13.2.1. Estreptomicina.....	18
4.14.2.2. Sulfato de Cobre Pentahidratado	18
4.13.2.3. Kasugamicina.....	18
4.13.3. Biológico.....	19
4.14. <i>Bacillus subtilis</i>	20
5.- MATERIALES Y METODOS	22
5.1. Localización del Experimento	22
5.2. Recolección del material.....	22

5.3. Aislamiento del patógeno.....	22
5.3.1. Purificación del patógeno	23
5.4. Caracterización del patógeno.....	23
5.4.1. Tinción de Gram.....	24
5.4.2. Prueba de R Y U.....	24
5.4.3. Prueba de Catalasa.....	25
5.4.4. Prueba de Oxidasa	25
5.4.5. Prueba de Levana	25
5.4.6. Prueba de Oxidación-Fermentación.....	26
5.4.7. Prueba de Arginina	26
5.4.8. Prueba de Motilidad.....	27
5.4.9. Prueba de Crecimiento en 37°.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4.10. Prueba de Pudrición de Papa	¡Error! Marcador no definido.
5.4.11. Prueba de Hipersensibilidad al Tabaco.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4.12. Prueba de Hidrolisis de Gelatina	¡Error! Marcador no definido.
5.4.13. Hidrolisis de Esculina	¡Error! Marcador no definido.
5.4.14. Producción de Fosfatasa	¡Error! Marcador no definido.
5.4.15. Producción de Indol.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4.16. Prueba de Producción de Acido de Carbohidratos.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4.17. Prueba de Reducción de Sustancias de Sacarosa.....	¡Error! Marcador no definido.
5.5. Obtención de <i>Bacillus subtilis</i>	31
5.6. Técnica de dilución.....	31
5.7. Técnica de antibiograma.....	32
5.7.1. Tratamientos.....	33
5.8. Conteo de individuos en Cámara de Neubauer.....	33
5.9. Evaluación de los tratamientos por experimento	34
5.9.1. Dilución en caldo	34
5.9.2. Antibiograma	34
6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
6.1. Aislamiento y caracterización macroscópica del agente causal de la pudrición blanda en papa	35

6.2. Caracterización morfológica y bioquímica de <i>P. carotovorum</i> aislado de tubérculos de papa	35
6.2.1. Tinción de Gram.....	36
6.2.2. Prueba de RYU	36
6.2.3. Catalasa	¡Error! Marcador no definido.
6.2.4. Oxidasa	37
6.2.5. Levana	38
6.2.6. Oxidación/Fermentación.....	38
6.2.7. Arginina	38
6.2.8. Motilidad.....	39
6.2.9. Crecimiento en 37°C	39
6.2.10. Pudrición de papa	40
6.2.11. Hipersensibilidad al tabaco	40
6.2.12. Hidrolisis de gelatina	40
6.2.13. Hidrolisis de esculina	41
6.2.14. Producción de fosfatasa	41
6.2.15. Producción de indol	42
6.2.16. Producción de ácido de carbohidratos	42
6.2.17. Reducción de sustancias de sacarosa	43
6.3. Resultados de evaluación de productos mediante la técnica de dilución en caldo	43
6.3.1. Interacción Dosis x Tratamiento	45
6.4. Evaluación por antibiograma.....	47
7.- CONCLUSIONES.....	50
8.- LITERATURA CITADA.....	¡Error! Marcador no definido.
8.- ANEXOS	62

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los principales términos asociados a las enfermedades de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) ocasionadas por la podredumbre blanda causada por <i>Erwinia carotovora</i> (Pérombelon & Kelman, 1987).	15
Cuadro 2. Pruebas bioquímicas utilizadas para la caracterización morfológica de <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> (<i>Pectobacterium carotovorum</i>).....	23
Cuadro 3. Dosis de productos evaluadas por tratamiento.....	32
Cuadro 4. Dosis de productos evaluadas por cada tratamiento.	33
Cuadro 5. Resultados obtenidos en las pruebas empleadas para la caracterización de <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> (<i>Pectobacterium carotovorum</i>), de acuerdo con lo descrito por Schaad <i>et al.</i> (2001); Safrinet (2000).	35
Cuadro 6. Análisis de varianza de evaluación de los tratamientos contra <i>P. carotovorum</i> mediante la técnica de dilución en caldo	62
Cuadro 7. Análisis de varianza de evaluación de los tratamientos contra <i>P. carotovorum</i> mediante la técnica de antibiograma.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de diferentes tratamientos sobre la concentración	45
bacteriana de <i>P. carotovorum</i>	45
Figura 2. Concentración bacteriana de <i>P. carotovorum</i> en función del tratamiento y la dosis	47
Figura 3. Efecto de los Tratamientos sobre la Inhibición de <i>Pectobacterium carotovorum</i> a las 24 Horas	48
Figura 4. Efecto de los Tratamientos sobre la Inhibición de <i>Pectobacterium carotovorum</i> a las 48 Horas	50
Figura 5. Resultados obtenidos en las pruebas empleadas para la caracterización de <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> (<i>Pectobacterium carotovorum</i>), de acuerdo con lo descrito por Schaad <i>et al.</i> (2001)	63
Figura 6. Resultado obtenido en la Prueba Reducción de sustancias de sacarosa	64

1.- INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) tiene su procedencia en la zona de la vasta Cuenca del Lago Titicaca, en el altiplano del Collao, situado entre Perú y Bolivia. En esta área se disemina cerca del 50% de las variedades salvajes de este tubérculo y ocho especies cultivadas (Pineda & Hernández, 2020). Constituye uno de los alimentos vegetales más relevantes a nivel planetario, posicionándose como el cuarto en producción total tras el arroz, el trigo y el maíz, y su cultivo se realiza en más de 150 naciones debido a su adaptabilidad y aporte nutricional (FAO, 2025).

A nivel nacional, se siembra en múltiples zonas de México, siendo uno de los cultivos más destacables por superficie y volumen generado, y aporta de manera sustancial al trabajo rural y a la economía de muchas comunidades agrícolas (Rebollar Rebollar, 2011). En 2024, el volumen generado en México fue de aproximadamente 2,123,718 toneladas, obtenidas de 64,917 hectáreas, con un rendimiento medio de 32.7 toneladas por hectárea. Los estados líderes productores fueron Sonora (675,256 t), Sinaloa (474,637 t) y Estado de México (170,743 t). El valor económico total fue de 20,258.1 millones de pesos (Blog Agricultura, 2024).

Su producción se ve perjudicada por una amplia variedad de padecimientos y alteraciones fisiológicas, con más de 70 fisiopatías y enfermedades registradas; las cuales generan deterioros graves, particularmente en los tubérculos. Estas dolencias se presentan mediante tumores, máculas y descomposiciones en los tubérculos, los cuales pueden ser generados por diversos agentes causales, como hongos, bacterias, nematodos y virus (García-Ávila, 2018).

Entre los perjuicios más severos están las descomposiciones y modificaciones en la piel de los tubérculos, inducidas por bacterias y hongos. Estos agentes producen una sucesión de enzimas tales como pectinasas, celulasas, xilanasas y proteasas, las cuales degradan las paredes celulares del tubérculo, conduciendo a la licuefacción del tejido y la posterior necrosis celular. Las manifestaciones incluyen podredumbres secas o acuosas, alteraciones de color en los tubérculos y la distintiva podredumbre anular, siendo estos efectos ocasionados por hongos como *Fusarium spp.* y *Verticillium spp.*, y bacterias como

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *atrosepticum* y *Ralstonia solanacearum* (García-Ávila, 2018).

Pectobacterium carotovorum es uno de los patógenos primordiales que afectan a este cultivo, ocasionando mermas económicas considerables que se calculan entre 50 y 100 millones de dólares al año a escala global. Esta afección es considerada la más seria que impacta al tubérculo, especialmente en la etapa posterior a la cosecha, durante su conservación (Amaya Guerrero et al., 2021). La podredumbre blanda sigue siendo un reto constante en la producción de hortalizas, de manera especial en este cultivo. Si se consiguiera establecer un esquema eficaz para el manejo de este patógeno, se obtendría un efecto considerable en la sostenibilidad y en la disminución de costos dentro de los sistemas de producción. Actualmente, no existen procedimientos para suprimir las bacterias responsables de las podredumbres blandas en los tejidos infestados, lo cual supone que los productores no disponen de un mecanismo para remediar las plantas afectadas (Hernández et al., 2019).

Considerando el impacto desfavorable de las podredumbres blandas en la producción de este tubérculo, esta indagación tiene como finalidad evaluar diferentes compuestos *in vitro* para la supresión de *Pectobacterium carotovorum*.

2.- OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Aislar, identificar y caracterizar la bacteria asociada a la pudrición blanda en papa, para evaluar *in vitro* la eficacia inhibitoria de diferentes moléculas como potenciales agentes de control.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar el agente causal de la pudrición blanda en el cultivo de papa.
- Determinar el efecto *in vitro* de antibióticos o agroquímicos sobre el crecimiento de *Pectobacterium carotovorum*.

3.- HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis nula

Los productos evaluados no inhiben significativamente el crecimiento de *Pectobacterium carotovorum*, bajo las condiciones *in vitro*.

3.2. Hipótesis alterna

Al menos uno de los productos evaluados inhibe significativamente el crecimiento *in vitro* de *Pectobacterium carotovorum*, bajo las condiciones del ensayo.

4.- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen y distribución

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie cuyo génesis es americano, siendo así frecuente hallarla en extensas áreas del continente, donde los labradores han concentrado sus esfuerzos en su cultivo. No obstante, su trayectoria histórica señala que su epicentro de domesticación se sitúa en la cuenca del lago Titicaca (Bolivia-Perú) y el septentrión peruano, con una antigüedad superior a los diez siglos. Su plasticidad agronómica se atribuye a su tolerancia a variados regímenes térmicos, fotoperíodos, edáficos, entre otros factores (Montaldo, 1984).

Lujan (1996), consigna que este tubérculo fue domesticado en Sudamérica, concretamente en Bolivia, en la región interlítica entre el Poopó y el Titicaca, pese a que las evidencias primigenias proceden del cañón de Chilca, con datación de 10,500 años, al sur de Lima, Perú. Pese a la existencia de posturas disímiles sobre su procedencia, se infiere con certidumbre que el altiplano peruano-boliviano constituye el foco originario de este pivotal cultivo.

4.2. Taxonomía

De acuerdo con Pineda & Hernández (1996), la taxonomía de este es:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Género: *Solanum*

Especie: *S. tuberosum* L.

4.3. Morfología

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye una planta anual, dicotiledónea, integrada en la familia Solanaceae. Su morfología vegetativa exhibe una talla promedio fluctuante entre 40 y 80 cm, determinada por el cultivar y las variables ecológicas. Su ciclo biológico abarca de 90 a 180 días, siendo la antesis una fase conspicua, que comúnmente se inicia alrededor del día 90 post-siembra y puede persistir por cerca de un mes. (INIA, 1982).

Los mismos autores reportan que el cultivo puede propagarse tanto de forma sexual como asexual. La reproducción sexual, mediante semilla botánica, se emplea principalmente con fines de investigación y mejoramiento genético, mientras que la reproducción asexual, a través de tubérculos, constituye el método predominante en los sistemas de producción comercial. Esta última forma de propagación permite considerar a la papa como una especie potencialmente perenne, aunque en la práctica agrícola se maneje como cultivo anual.

4.3.1. Raíz

La raíz representa una estructura hipogea primordial, cuya función cardinal es la captación de hídricos y solutos minerales. Su génesis procede de los nudos de tallos subterráneos, conformando colectivamente un sistema radicular de naturaleza filamentosa. Este sistema exhibe una considerable aptitud de propagación, logrando profundidades de hasta 80 cm; las raíces se disponen desde la superficie edáfica hasta el tubérculo seminal (Villanueva, 2017).

En el cultivo de la patata, el sistema radicular se compone de dos variedades: a) raíces fibrosas, dedicadas a la absorción de agua y nutrimentos, así como a la fijación de la planta, y b) raíces de reserva, que constituyen raíces laterales especializadas en el acopio de los asimilados fotosintéticos. (Huaman, 1992).

4.3.2. Estolón

El estolón es la estructura desde la cual derivan los tubérculos, que equivalen a tallos hipertrofiados y carnosos. En tallos y estolones, el tejido vascular exhibe inicialmente haces bicolaterales, con agrupaciones de células del floema de pared delgada situadas tanto en la zona externa del xilema como en su interior (Egúsquiza, 2000).

Los estolones son tallos laterales que proliferan horizontalmente bajo la superficie edáfica, procedentes de yemas situadas en la porción hipogea del tallo principal. Un atributo relevante es su longitud, que representa un carácter varietal significativo. En las papas silvestres predominan estolones extensos, en tanto que los programas de fitomejoramiento persiguen obtener variedades con estolones breves. Los estolones pueden propiciar la generación de tubérculos mediante la hipertrofia del ápice terminal; sin embargo, no todos los estolones logran tuberizar. Cuando un estolón no está cubierto por suelo, puede convertirse en un tallo aéreo con desarrollo foliar ordinario. (Huamán, 1986).

4.3.3. Tubérculo

Los tubérculos son estructuras caulinares hipertrofiadas y succulentas, formadas en el ápice de los estolones y dotadas de yemas u ojos, que posibilitan la propagación vegetativa del organismo (Pumisacho & Sherwood, 2002). Estas adaptaciones del tallo operan como órganos de acopio, en los cuales se depositan principalmente almidón, glúcidos y proteínas, constituyentes fundamentales para la reproducción y crecimiento del vegetal. Igualmente, los tubérculos exhiben una considerable polimorfia en cuanto a dimensiones, morfología y pigmentación, tanto de la epidermis como del parénquima interno. (Tapia & Fries, 2007).

4.3.4. Brote

El vástago emerge del ojo del tubérculo. Su tamaño y configuración pueden diferir según las condiciones de conservación del tubérculo previas. Tras la siembra, cada vástago se desarrolla y genera un tallo autónomo de la planta. (Villanueva, 2017).

4.3.5. Tallos

La planta de papa exhibe tres categorías de tallos: un tallo aéreo, donde se insertan las hojas, y dos estructuras caulinares hipogeas: los estolones y los tubérculos. El tallo principal se genera a partir del vástago del tubérculo semilla, y desde sus yemas nodales se diferencian los tallos secundarios. En contraste, el tallo estolonífero está compuesto por brotes laterales que brotan desde la base del tallo aéreo y proliferan bajo el suelo (Villanueva, 2017).

El aparato caular de la papa se constituye por tallos, estolones y tubérculos. Los individuos derivados de semilla botánica desarrollan solo un tallo principal, mientras que aquellos establecidos a través de tubérculos-semilla producen múltiples tallos. Los tallos laterales son ramificaciones que se originan a partir de los tallos primarios. (Inostroza, *et al.*, 2009).

4,3,6, Hoja

El follaje de la papa exhibe una filotaxia alterna; las hojas iniciales son de morfología simple, sucedidas posteriormente por hojas compuestas imparipinnadas, constituidas por tres pares de folíolos laterales y un folíolo terminal. Entre los folíolos laterales pueden observarse folíolos de segundo orden (Morales, 2007).

Las hojas son compuestas, con aproximadamente 7 a 9 folíolos, y representan el principal órgano encargado de la captación de energía lumínica y la biosíntesis de compuestos energéticos, como glúcidos y almidón, mediante la fotosíntesis (Huaman, 1992).

4.3.7. Flor e inflorescencia

El pedúnculo de la inflorescencia suele ramificarse en dos ejes primarios, los cuales a su vez se subdividen, generando una inflorescencia de índole cimosa (Inostroza et al., 2009).

De las ramificaciones de la inflorescencia surgen los pedicelos, en cuyos ápices se disponen los cálices. Cada pedicelo exhibe una zona de articulación que faculta la desunión de la flor o del fruto del tallo; esta articulación puede mostrar pigmentación en ciertos cultivares. Las flores de la papa son hermafroditas, al poseer aparatos reproductores andróginos, y cuentan con los cuatro verticilos florales fundamentales: cáliz, corola, estambres y pistilo. (Huamán, 1980).

4.3.8. Fruto y semillas

El fruto de la papa es una baya que se forma a partir del desarrollo del ovario y contiene en su interior semillas sexuales aptas para generar nuevas plantas, las cuales pueden alcanzar productividad satisfactoria bajo condiciones apropiadas de manejo (Villanueva, 2017). El fruto puede exhibir una superficie pubescente o glabra y posee forma elongada, con un ápice ligeramente acuminado; al madurar adquiere una pigmentación parda.

De acuerdo con Huamán (1986), cada fruto contiene entre una y cuatro semillas. Estas son pequeñas, de aproximadamente 3 mm, ligeramente comprimidas por un lado y convexas por el otro, con una morfología que puede ser irregular, angular o redondeada, y una coloración que varía de pardo a negra. El embrión y el endospermo están protegidos por una testa gruesa, rígida e impermeable, lo cual dificulta la germinación y hace necesario aplicar escarificación

mecánica o tratamientos químicos. Las semillas carecen de período de latencia y pueden mantener su viabilidad durante varios años.

4.4. Importancia del cultivo

La explotación agrícola de la especie *Solanum tuberosum* L. conforma un pilar trascendental de la producción agraria planetaria, merced a su ubicuidad y relevancia en los esquemas de provisión alimentaria. Este cultivo se establece en una heterogeneidad conspicua de regiones y condiciones atmosféricas, evidenciando su notable plasticidad ecológica y rendimiento eficiente (FAO, 2023). Desde el ángulo nutritivo, el tubérculo encarna una fuente preponderante de energía, primordialmente por su tenor en hidratos de carbono, vitaminas y oligoelementos esenciales para la nutrición humana (FAO, 2023). Su cometido adquiere singular magnitud en áreas donde las circunstancias ambientales constriñen el desenvolvimiento de otros cultivos cardinales, erigiéndose como un recurso táctico para la salubridad alimentaria (Villanueva, 2017).

4.5. Producción en México

Conforme a datos del SIAP, la cosecha nacional de este tubérculo en México totalizó 1,757,523 toneladas, procedentes de 65,266 hectáreas implantadas, con un rendimiento medio de 26.9 toneladas por hectárea (SIAP, 2024). Las entidades de Sonora, Sinaloa, Veracruz, Puebla y el Estado de México conglomeraron cerca del 86% de la producción agregada y el 76.3% del área cultivada. Colectivamente, estas jurisdicciones exhibieron un rendimiento promedio de 26.4 ton/ha, sobresaliendo Sonora con el mayor (37.2 ton/ha) y el Estado de México con el menor (14.1 ton/ha) (SIAP, 2024). En el lapso enero-octubre, Sonora se erigió como el principal productor, con 674,866 toneladas en 18,153 hectáreas, logrando 37.2 ton/ha. Le siguió Sinaloa, con 474,648 toneladas en 13,724 hectáreas, es decir, 34.6 ton/ha. Subsiguientemente se hallaron Veracruz, con 143,530 toneladas en 6,054 hectáreas (23.7 ton/ha); Puebla, con 134,380 toneladas en 5,955 hectáreas; y el Estado de México, con 83,261 toneladas en 5,887 hectáreas, esto es, 14.1 ton/ha (SIAP, 2024).

4.6. Plagas

El cultivo de la papa en México se ve influenciado por múltiples insectos nocivos que inciden de manera adversa en el desarrollo del vegetal, la productividad y la calidez del tubérculo.

La incidencia y gravedad de estas infestaciones guardan una estrecha vinculación con elementos climáticos, prácticas de conducción agronómica y atributos intrínsecos de las zonas productoras. Los perjuicios causados pueden ser inmediatos, al menoscabar tejidos de la planta, o mediatos, al propiciar la transmisión de agentes patógenos. Entre las primordiales plagas asociadas al cultivo sobresalen las subsiguientes:

4.6.1. Polilla de la papa (*Phthorimaea operculella*)

La polilla de la papa constituye uno de los insectos de mayor trascendencia económica en este cultivo. En su estadio larvario, ocasiona perjuicios sustanciales tanto en la fronda como en los tubérculos, pues las larvas horadan los tejidos configurando galerías internas. Estas afecciones merman el valor comercial del producto y propician procesos de putrefacción durante el almacenamiento, incrementando las mermas poscosecha (FAO, 2019; SENASICA, 2021). Esta palomilla representa un inconveniente particularmente severo en el acopio de tubérculos, donde puede generar deterioros considerables. En diversas indagaciones efectuadas en naciones como Túnez, Argelia y Turquía, se constató que, sin un manejo adecuado, esta plaga puede infestar hasta el 86% de los tubérculos almacenados durante un trienio. Este deterioro es especialmente preocupante, dado que los tubérculos pueden perder su aptitud, tornándolos impropios para el consumo o la transacción comercial. (Gobierno de México, 2021).

4.6.2. Pulgones (*Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae*)

Los áfidos son hemípteros fitófagos que se nutren de la linfa vegetal, induciendo decaimiento sistémico y merma del vigor fotosintético. Su significancia epidemiológica reside primordialmente en su aptitud para fungir como vectores virales, incluyendo al PVY, el cual puede propiciar mermas sustanciales en la productividad ante infecciones tempranas (Villanueva, 2017; SIAP, 2022).

Además de los perjuicios por succión, estos insectos son agentes clave en la diseminación de patógenos virales, como el PVY y el PLRV. Dichos virus pueden ocasionar pérdidas cercanas al 80% en el rendimiento, exacerbando el impacto económico. Las plantas infectadas no solo ven reducida su producción, sino que también pueden generar una tuberización de calidad comercial comprometida, agravando el escenario (Carbonell & Briozzo, 1975).

4.6.3. Gusanos cortadores (*Agrotis spp*)

Las larvas de lepidópteros nocturnos (noctuidos) afectan primordialmente al cultivo en fases juveniles, seccionando los tallos a ras de suelo. Este consumo provoca la muerte de plántulas recién emergidas y genera mermas en la densidad poblacional, lo que afecta a la uniformidad del cultivo y al rendimiento final, especialmente en agricultura de temporal (SENASICA, 2021).

El porcentaje de daño tuberoso atribuible a esta plaga es altamente variable, condicionado por las injerencias antropogénicas. Según las condiciones del cultivo y las tácticas de control implementadas, los perjuicios pueden oscilar entre un 5% y un 73% de los tubérculos. (Mannan *et al.*, 2004).

4.6.4. Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

La paratrioza (*Bactericera cockerelli*) es un hemíptero fitófago que succiona la linfa de cultivos solanáceos como la papa, el tomate y el chile. Su acción provoca daño directo al perforar los tejidos e inocular toxinas, generando un compromiso fisiológico. Además, actúa como vector epidemiológico de fitoplasmas y bacterias, pudiendo desencadenar procesos fisiopatológicos devastadores como la punta morada y el zebra chip. (Intagri, 2016).

4.7. Enfermedades causadas por hongos

4.7.1. Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

El tizón tardío de la papa, desencadenada por el oomiceto *Phytophthora infestans*, constituye una de las dolencias más devastadoras del cultivo a escala global, susceptible de acarrear quebrantos pecuniarios que exceden varios millardos de dólares anuales y lesionando hojas, tallos y tubérculos de la plantación ante una gestión inapropiada (Lamichhane, 2022).

4.7.2. Tizón temprano (*Alternaria solani*)

El tizón precoz aqueja primordialmente el aparato foliar de plantas de patata en estadios fenológicos avanzados. Manifiesta con mayor recurrencia en contextos de elevada humedad ambiental y temperaturas relativamente cálidas. Los indicios sintomatológicos se distinguen por manchas foliares pardo-oscuros con anillos concéntricos nítidamente demarcados y

clorosis periférica, lo que merma la área fotosintética activa y puede incidir adversamente en el rendimiento final del cultivo (Acuña, 2017). Esta patología puede ocasionar mermas de hasta el 30% en la producción, derivado de una defoliación prematura y una reducción de la actividad fotosintética, consecuencias cardinales de este mal fitosanitario (INIA Chile, 2025).

4.7.3. Costra negra o rhizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*)

Esta afección edáfica impacta estolones y tubérculos, generando deformaciones y costras oscuras en la superficie de estos últimos, lo que degrada su calidad comercial. En brotes juveniles, puede inducir chancros y necrosis tisular, comprometiendo la emergencia y el vigor vegetal. Su desarrollo se ve propiciado por la confluencia de suelos húmedos y temperaturas moderadas (Acuña, 2017).

Rhizoctonia solani es un patógeno de relevancia que provoca la escorias negra en patata, menoscabando sustancialmente la calidad y volumen productivo. En áreas de cultivo, las pérdidas oscilan entre aproximadamente un 5 % y un 34 %, conforme a datos compilados de regiones donde el padecimiento es endémico y la presión del hongo está presente tanto en el suelo como en la semilla (Abo Akel, 2024).

4.8. Enfermedades causadas por bacterias

4.8.1. Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*)

Ralstonia solanacearum es una bacteria categorizada como bacilo Gram negativo, con dimensiones cercanas a $0,5 \times 1,5 \mu\text{m}$, lo que imposibilita su observación directa sin auxilio microscópico. El microorganismo presenta un flagelo polar único que le otorga motilidad, es de metabolismo aerobio estricto y prolifera óptimamente en un rango térmico de 28 a 30 °C. Se distingue además por su veloz multiplicación en condiciones propicias (Agrios, 1997).

El síntoma primordial asociado a esta dolencia es la marchitez del follaje, semejante a la inducida por estrés hídrico, pudiendo manifestarse en cualquier fase fenológica. Esta condición deriva de la oclusión del sistema vascular, originada por la acumulación de material mucilaginoso integrado por bacterias y desechos celulares procedentes de la degradación parietal, lo que interrumpe el transporte hídrico normal entreplanta (Acuña et al., 2021)

4.8.2. Pudrición blanda (*Pectobacterium carotovorum*)

La bacteria *Pectobacterium carotovorum*, previamente taxonomizada bajo el género *Erwinia* como *E. carotovora* subsp. *carotovora*, es un agente fitopatógeno vinculado a la putrefacción blanda en plantas cultivadas. Esta afección presenta una amplia dispersión en zonas de clima templado y subtropical, donde incide sobre múltiples especies hortícolas, tales como achicoria (*Cichorium intybus* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.), zanahoria (*Daucus carota* L.) y patata (*Solanum tuberosum* L.); en este último, la putrefacción blanda constituye una de las problemáticas sanitarias más severas a escala global durante la fase poscosecha. El desarrollo de la patología puede acontecer tanto en el suelo, pre-recolección, como durante el almacenamiento de los tubérculos, siendo el empleo de material de propagación infectado uno de los factores principales en la diseminación del patógeno, dado que los tubérculos contaminados suelen deteriorarse con posterioridad a la siembra (Reinoso et al., 2006).

4.9. Antecedentes de *Pectobacterium*

La putrefacción blanda de etiología bacteriana fue testimoniada inicialmente a los albores del siglo XX. En 1901, la enfermedad fue avistada en cultivos de zanahoria, a partir de los cuales se extrajo una bacteria fitopatógena que recibió la denominación *Bacillus carotovorus*. Con posterioridad, en 1902, el agente etiológico de la dolencia conocida como pierna negra de la papa fue identificado y designado *Bacillus atrosepticus*. Inicialmente, ambos microorganismos fueron considerados especies disímiles, criterio fundamentado primordialmente en su grado de virulencia y en la naturaleza del vegetal hospedante del cual fueron obtenidos (Pasanen, 2020).

Estas indagaciones sentaron los cimientos para postular que las bacterias fitopatógenas con flagelos peritricos conformaran un nuevo género bacteriano. Dicha proposición fue presentada en 1917 por el Comité de la Sociedad de Bacteriólogos Estadounidenses, el cual sugirió el apelativo *Erwinia* en honor al fitopatólogo estadounidense Erwin F. Smith. El género fue caracterizado por incluir bacterias patógenas de plantas, con desarrollo colonial de aspecto blanquecino y viscoso, generalmente anindólicas y con la aptitud de generar ácidos en medios específicos que contienen glúcidos (Pasanen, 2020).

La taxonomía del género *Erwinia* es enmarañada y comprende varios grupos, entre los cuales sobresale el grupo *carotovora*, que incluye a *E. chrysanthemi* y a las subespecies *E. carotovora* subsp. *carotovora* y *E. carotovora* subsp. *atroseptica*. Estos procariontes fueron ulteriormente reubicados dentro del género *Pectobacterium*; sin embargo, dicho apelativo no ha recibido consenso unánime, por lo que la utilización de *Erwinia* perdura con frecuencia en la literatura fitopatológica (Hauben et al., 1998)

Hauben y Swings (2015) describen la clasificación taxonómica de *Pectobacterium carotovorum*.

Dominio: Bacterias

Filo: Proteobacteria

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Enterobacteriales

Familia: Enterobacteriaceae

Género: *Pectobacterium*

Especie: *P. carotovorum*

4.10. Caracterización del patógeno

Pectobacterium carotovorum es una Gram - de manera bacilar, móvil y no esporulada, con capacidad para degradar pectinas. Presenta flagelos peritricos y forma colonias de color blanco cremoso en medios de cultivo. Su pared celular contiene lipopolisacáridos cuya composición variable permite su diferenciación serológica. Diversas estructuras celulares, como flagelos, pili y exopolisacáridos, participan en los procesos iniciales de infección y en la expresión de su virulencia (Amaya-Guerrero *et al.*, 2021).

4.11. Sintomatología

La infección de los tubérculos-semilla en las etapas iniciales posteriores a la siembra puede provocar fallas en la brotación, ya sea por la descomposición del tubérculo madre o por la contaminación y muerte de los brotes jóvenes antes o poco después de su emergencia. A lo largo del desarrollo del cultivo, las bacterias pueden desplazarse desde el tubérculo-semilla hacia el tallo, ocasionando su pudrición, así como alcanzar los tubérculos formados posteriormente a través de los estolones. En consecuencia, los síntomas pueden manifestarse tanto en la planta como en los tubérculos, en cualquier fase de crecimiento (Van *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Descripción de los principales términos asociados a las enfermedades de la papa (*Solanum tuberosum*) ocasionadas por la podredumbre blanda causada por *Erwinia carotovora* (Pérombelon & Kelman, 1987).

Término	Descripción
Falta de emergencia	Se presenta cuando el tubérculo-semilla se descompone o cuando los brotes mueren antes de emerger, impidiendo el establecimiento inicial de la planta.
Esquirol o pierna negra	La infección se inicia en el tubérculo madre y progresa hacia el tallo. Los síntomas incluyen pudrición basal de color oscuro, marchitez de hojas y tallos, con o sin amarillamiento, y en etapas avanzadas puede observarse un ahuecamiento del tallo.
Marchitez	Ocurre el decaimiento de tallos y hojas, generalmente bajo condiciones de temperatura elevada, sin que exista estrés hídrico ni evidencia visible de pudrición del tallo.
Podredumbre del tallo aéreo	Se precisa por la aparición de lesiones de color oscuro en el tallo, que no se originan en la zona de unión con el tubérculo-semilla.
Podredumbre apical del estolón	Afecta principalmente a los tubérculos formados en plantas con síntomas de pierna negra, provocando necrosis de tonalidades marrón oscuro a negro.

Podredumbre blanda del tubérculo	Se manifiesta como una descomposición de textura blanda y aspecto granular, con coloración crema a parda; suele presentar un olor desagradable asociado al tejido afectado.
Podredumbre lenticular	Consiste en lesiones hundidas y de color oscuro en las lenticelas infectadas; en fases tempranas puede limitarse a síntomas secos y firmes si la descomposición se detiene.

4.12. Epidemiología

El principal depósito del patógeno en el cultivo es el tubérculo seminal infectado, el cual puede albergar la bacteria de forma latente en lenticelas, lesiones o parénquima interno. La dolencia se expresa cuando las condiciones ambientales propician su proliferación, especialmente en contextos de elevada humedad durante el almacenamiento. Al activarse, el patógeno sintetiza enzimas que degradan la pared celular, induciendo la maceración de los tejidos y la necrosis celular (Charkowski, 2018).

La probabilidad de emergencia de la pudrición blanda depende de diversos factores, entre ellos la carga bacteriana y su localización lenticelar, la presencia de lesiones, la senescencia del tubérculo, la susceptibilidad varietal, así como el contenido de calcio y el estado hídrico tisular. Concomitantemente, el patógeno puede diseminarse desde plantas infectadas mediante insectos, o a través de aerosoles generados por el impacto pluvial, los cuales son vehiculizados por el viento e infectan tejidos lesionados de plantas sanas. (Acuña *et al.*, 2021).

4.13. Métodos de control

4.13.1. Cultural

El control cultural configura una táctica cardinal en el manejo de *Pectobacterium carotovorum*, bacteria fitopatógena responsable de la putrefacción blanda en diversos cultivos de relevancia agrícola. Este tipo de control se orienta primordialmente a mitigar los focos de inóculo y modular las condiciones ambientales que propician el desarrollo del patógeno, considerando que su erradicación deviene compleja una vez establecida la infección. (Amaya-Guerrero *et al.*, 2021).

Una de las prácticas culturales más importantes es el uso de material vegetal sano y certificado, ya que *P. carotovorum* puede diseminarse a través de tubérculos o plantas infectadas, facilitando la introducción del patógeno al sistema de producción. De igual forma, se recomienda evitar las labores agrícolas cuando las plantas se encuentran húmedas, debido a que la presencia de agua favorece la dispersión bacteriana por contacto mecánico entre plantas, herramientas y operarios (ICA, 2018).

La rotación de cultivos con especies no susceptibles coadyuva a mitigar el consorcio bacteriano edáfico. Aunque *P. carotovorum* puede subsistir en el ambiente por intervalos prolongados, la alternancia de cultivos y el manejo idóneo de los residuos fitosanitarios atenúan la presión patogénica sobre los cultivos vulnerables (Toth *et al.*, 2003).

4.13.2. Químico

La utilización de tratamientos químicos para el control de *Pectobacterium* en el cultivo de papa ha sido profusamente investigada. Entre los enfoques más empleados se encuentran los antibióticos, como la estreptomycin y la oxitetraciclina, aplicados para disminuir la incidencia de dolencias como la putrefacción blanda y la pierna negra. Algunas investigaciones han demostrado que sumergir los propágulos en una mezcla de estos antibióticos, o incluso en compuestos mercuriales, previamente a la siembra, contribuye a reducir tanto la podredumbre en campo como el menoscabo de los tubérculos en poscosecha (Bonde & de Souza, 1954; Czajkowski *et al.*, 2011). Sin embargo, estudios recientes indican que los tratamientos con estos antibióticos son cada vez más restrictivos debido a la emergencia de resistencias bacterianas, generando inquietud acerca de sus efectos adversos en la salud y el ecosistema (Czajkowski *et al.*, 2011).

Se han evaluado otros compuestos como el kasugamicín y la virginiamicina, que han mostrado efectos positivos en la reducción de la podredumbre blanda en los tubérculos. Sin embargo, también se ha observado que estos tratamientos tienen una efectividad limitada, ya que las bacterias se multiplican y propagan rápidamente una vez que la enfermedad se establece, lo que dificulta el control, además de la incapacidad de los químicos para penetrar de manera efectiva en los tejidos internos de los tubérculos afectados (Czajkowski *et al.*, 2011).

4.13.2.1. Estreptomicina

Conforme a Kang et al. (2023), compuestos como la estreptomicina se han empleado durante décadas para el control de fitopatologías bacterianas, circunstancia que ha propiciado la emergencia de consorcios bacterianos resistentes. Este antibiótico es utilizado en el ámbito agrícola para el manejo de dolencias bacterianas en cultivos. Su empleo más notorio se presenta en el control del tizón de fuego, una afección de elevada repercusión económica en pomáceas como el manzano y el peral, cuyo agente causal es *Erwinia amylovora*. Debido a la severidad de esta patología y a la celeridad de su diseminación en condiciones propicias, la estreptomicina ha sido incorporada como una herramienta relevante dentro de los programas de protección fitosanitaria (Rezzonico et al., 2009).

4.14.2.2. Sulfato de Cobre Pentahidratado

Este es un insumo de uso extendido en la agricultura. Además de su función nutricional, el cobre le confiere un valor añadido, al participar en la activación de enzimas vinculadas a los mecanismos de defensa vegetal frente a fitopatógenos (Fermagri, 2017).

Este compuesto está integrado por cobre, azufre, oxígeno y moléculas de agua. En estado natural se manifiesta como un sólido cristalino de tonalidad azul. En el contexto agrícola se utiliza no solo como fertilizante, sino también como agente con propiedades pesticidas, insecticidas y fungicidas, lo que explica su empleo generalizado (Stea, 2020).

Asimismo, su aplicación se extiende a otros ámbitos, como la reactivación en procesos de flotación de minerales de zinc, la industria petrolera, la producción de caucho sintético y acero, el tratamiento de asfalto natural, la elaboración de pigmentos cerámicos y ciertos preparados de índole medicinal (Terralia, 2016)

4.13.2.3. Kasugamicina

La kasugamicina inhibe la formación del complejo iniciador en el ribosoma 30S, evitando que los componentes necesarios para la traducción se ensamblen adecuadamente. Este medio

previene el inicio de la sinterización de proteínas desde el comienzo, lo que resulta en la incapacidad de la bacteria para producir proteínas esenciales para su supervivencia (Okuyama *et al.*, 1971). Xiong *et al.* (2025), utilizó la kasugamicina para controlar la podredumbre blanda causada por bacterias del género *Pectobacterium*, incluyendo *P. aroidearum* (un patógeno relacionado). Lo cual los resultados mostraron que la kasugamicina inhibió el crecimiento bacteriano en cultivo y redujo la virulencia del patógeno en plantas de konjac.

4.13.3. Biológico

La regulación biológica se concibe como una opción eficiente y perdurable para el gobierno de fitopatologías. Este planteamiento se fundamenta en el empleo de microorganismos benéficos o de agentes de procedencia biológica que atenúan la incidencia de patógenos mediante diversos mecanismos, como la síntesis de agentes antimicrobianos, la rivalidad por nutrientes y nicho, y la inducción de respuestas de resistencia sistémica en el huésped (Doolotkeldieva *et al.*, 2016).

Distintos microorganismos han sido valorados como agentes de regulación biológica frente a *Pectobacterium carotovorum*, entre ellos las rizobacterias promotoras del desarrollo vegetal, especies fluorescentes del género *Pseudomonas*, bacterias endófitas y *Bacillus subtilis*. Esta última ha evidenciado mayor eficiencia en la merma de la putrefacción blanda en tubérculos de papa, merced a su aptitud para formar endosporas que le confieren tolerancia a condiciones desfavorables, así como a la producción de metabolitos antimicrobianos — como lipopéptidos, antibióticos y bacteriocinas, que coadyuvan a la activación de los mecanismos de defensa vegetal (Abd El-Khair & Haggag, 2007; Gerayeli & Baghaee, 2018).

La regulación biológica puede fundamentarse en la utilización de microorganismos que constriñen el desarrollo de patógenos mediante la producción de sustancias inhibitorias, la competencia por recursos o la estimulación de mecanismos defensivos en la planta (Czajkowski *et al.*, 2011). En este sentido, se ha demostrado que bacterias acidolácticas inhiben a *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* mediante la generación de peróxido de hidrógeno, en tanto que microorganismos rizosféricos pueden reducir su patogenicidad al interferir los sistemas de comunicación celular del patógeno. (Gerayeli & Baghaee, 2018).

4.14. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es un bacilo ubiquo del suelo ampliamente reconocido por su potencialidad como agente de biocontrol en cultivos agrícolas, incluyendo la papa. Su actividad antagonista frente a bacterias fitopatógenas como *Pectobacterium carotovorum*, agente causal de la putrefacción blanda, se asocia primordialmente con la biosíntesis de metabolitos antimicrobianos, entre los que sobresalen lipopéptidos y otros compuestos bioactivos capaces de inhibir el desarrollo de microorganismos patógenos (Caulier et al., 2019; Stein, 2005).

Adicionalmente a la antibiosis, *B. subtilis* puede constreñir el desarrollo de patógenos mediante la competencia por nutrimentos en la rizosfera y la producción de sideróforos, los cuales merman la disponibilidad de hierro para bacterias fitopatógenas. Asimismo, diversas cepas poseen la capacidad de inducir mecanismos de defensa en las plantas, potenciando su resiliencia frente a infecciones bacterianas. Estos mecanismos sinérgicos respaldan su empleo como una alternativa sostenible dentro de los programas de manejo integrado de fitopatologías bacterianas en el cultivo de papa (González-León et al., 2022).

4.15. Dilución en caldo

La dilución en caldo constituye una metodología cuantitativa estándar empleada para valorar la sensibilidad bacteriana frente a agentes antimicrobianos mediante la determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI). Este procedimiento se fundamenta en la exposición controlada del inóculo a diluciones seriadas del compuesto activo en un medio líquido, permitiendo un análisis objetivo de su capacidad para suprimir la proliferación microbiana (Clinical Microbiology and Infection, 2003).

La técnica de dilución en caldo, particularmente en su modalidad de microdilución, se utiliza para establecer la CMI de antibióticos y otros agentes antimicrobianos frente a bacterias fitopatógenas. En este contexto, Shen et al. (2025) aplicaron dicha metodología para examinar la susceptibilidad de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* frente a estreptomicina, carvacrol y su consorcio.

El método consiste en preparar series de diluciones del antimicrobiano en un caldo de cultivo idóneo, las cuales son posteriormente inoculadas con una suspensión bacteriana estandarizada. Tras un período de incubación bajo condiciones controladas, se evalúa el

crecimiento microbiano. La CMI se define como la menor concentración del agente donde no se observa crecimiento macroscópico, convirtiendo a esta técnica en una herramienta cardinal para los estudios de susceptibilidad antimicrobiana (Clinical Microbiology and Infection, 2003).

4.16. Antibiógrama

El antibiógrama es una herramienta fundamental en microbiología diagnóstica, ya que permite discernir la respuesta de los microorganismos frente a distintos agentes antimicrobianos, determinando su sensibilidad o resistencia. Este procedimiento puede ejecutarse utilizando medios de cultivo líquidos o sólidos, en función de la estandarización metodológica (Chapter, 1991).

Para cuantificar con precisión el efecto de los antimicrobianos se emplean dos parámetros principales: la Concentración Inhibitoria Mínima (CIM) y la Concentración Bactericida Mínima (CBM) (Chapter, 1991). La CIM se define como la cantidad ínfima de un antibiótico que inhibe el crecimiento visible de un microorganismo bajo condiciones de laboratorio estandarizadas. Por otro lado, la CBM se refiere a la menor concentración del fármaco capaz de erradicar una proporción predeterminada del inóculo bacteriano en un intervalo temporal específico.

5.- MATERIALES Y METODOS

5.1. Localización del Experimento

La caracterización e identificación del patógeno, así como los ensayos, se ejecutaron en el laboratorio de Fitopatología situado en el Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila.

5.2. Recolección del material

El acopio del fitomaterial, el cual exhibía una semiología de putrefacción blanda y trasudado, se efectuó en la localidad de Los Altos, perteneciente al municipio de Ayahualulco, Veracruz, región emplazada en la zona montañosa central del estado, en las coordenadas geográficas 19.44688° N y 97.20232° O. Con posterioridad, las muestras se depositaron en una bolsa y se trasladaron al laboratorio de fitopatología de la universidad, en Saltillo, Coahuila, para su respectivo escrutinio.

5.3. Aislamiento del patógeno

El aislamiento del agente etiológico se realizó conforme a la metodología descrita por Schaad et al., (2001). Los tubérculos fueron lavados reiteradamente para eliminar los residuos de tierra, acto seguido se seccionaron por la mitad para visibilizar las lesiones. Una vez seccionado, se tomó una muestra del signo patognomónico, aproximadamente 1 g, procediendo a triturar el tejido con auxilio de una bolsa de maceración. Con el triturado se efectuaron diluciones escalonadas distribuidas en 10 tubos de ensayo con 9 mL de agua destilada estéril. Se tomó 1 mL del triturado y se adicionó al primer tubo, posteriormente se tomó 1 mL de la primera dilución y se transfirió al segundo tubo; iterando este proceso hasta la dilución final. Subsiguientemente, el contenido de cada tubo se inoculó en una caja Petri conteniendo medio de cultivo King B, mediante la técnica de siembra por espátula. Para ello, se depositaron 100 µL de la muestra en el centro de cada caja utilizando una micropipeta. La muestra fue posteriormente distribuida de manera homogénea sobre la superficie del medio, empleando un esparcidor de vidrio estéril.

5.3.1. Purificación del patógeno

Para la obtención de cultivos puros, se llevó a cabo estría cruzada mediante el uso de un asa bacteriológica. Se tomó una pequeña porción de la muestra inicial y se realizaron transferencias sucesivas en cajas Petri que contenían medio de cultivo King B, efectuándose un total de diez repeticiones. Posteriormente, las cajas Petri fueron incubadas a una temperatura de 26 ± 2 °C hasta su posterior utilización.

5.4. Caracterización del patógeno

Para la caracterización morfológica de *Pectobacterium carotovorum* se realizaron diversas pruebas bioquímicas. Estas incluyeron pruebas de identificación preliminar con lectura inmediata, pruebas rápidas con resultados obtenidos en menos de 5 horas y pruebas lentas, cuya lectura se efectuó entre las 24 y 72 horas; usadas en la metodología según Schaad *et al.* (2001) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pruebas bioquímicas utilizadas para la caracterización morfológica de *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (*Pectobacterium carotovorum*).

Prueba Bioquímica	Resultado Esperado
Tinción de Gram	-
RYU	+
Catalasa	+
Oxidasa	-
Levana	-
Prueba O/F	anaerobia facultativa
Arginina	-
Motilidad	+
Crecimiento en 37°	+
Pudrición de papa	+
Hipersensibilidad al tabaco	-
Hidrolisis de gelatina	+

Hidrolisis de Esculina	+
Producción de fosfatasa	-
Producción de Indol	-
Producción de ácido de carbohidratos:	
Lactosa	+
Melibiosa	+
Sorbitol	-
Reducción de sustancias de sacarosa	-

5.4.1. Tinción de Gram

Sobre una lámina purificada se depositó una lágrima de fluido incoloro. Inmediatamente, con auxilio de un lazo de siembra, se obtuvo un espécimen del cultivo y se dispersó sobre el soporte. Seguidamente, el frotis fue consolidado mediante termofijación, evitando la pirogenación. Acto seguido, se impregnó con violeta de genciana por sesenta segundos. Tras lavado con acueducto y eliminación del remanente húmedo, se añadió verdugo, permitiendo su acción por igual período. Subsiguientemente, se procedió a la decoloración utilizando alcohol etílico al 95% por treinta segundos, repitiendo el lavado acuoso. Posteriormente, se adicionó el cromóforo secundario de safranina por cuarenta y cinco segundos, se aclaró con agua y se sometió a desecación. Últimamente, la lámina fue sometida a escrutinio mediante microscopía fotónica con amplificación centenaria, empleando oleaje de inmersión.

5.4.2. Prueba de R Y U

Sobre una lámina depurada se dispuso una lágrima de hidróxido potásico al tres por ciento. Seguidamente, con un lazo de inoculación, se obtuvo un espécimen de un cultivo reciente y se dispersó sobre el reactivo, elevando el instrumento para valorar la viscosidad. El criterio de positividad radica en la generación de un filamento glutinoso.

5.4.3. Prueba de Catalasa

Para este ensayo se utilizó un cultivo microbiano de veinticuatro horas y peróxido de hidrógeno al 3.5%. Una mínima porción del inóculo se amalgamó con una gota del reactivo en una lámina limpia, atestiguándose la emergencia de efervescencia como indicativo de actividad.

5.4.4. Prueba de Oxidasa

Para el ensayo oxidásico se empleó un inóculo de un día. Con un anillo estéril se recogió una fracción del cultivo y se esparció sobre una placa comercial conteniendo N,N,N',N'-tetrametil-p-fenilendiamina dihidrocloruro. La lectura se efectuó entre diez y treinta segundos tras la siembra, considerándose positiva ante la aparición de una pigmentación índigo intensa.

5.4.5. Prueba de Levana

Este procedimiento valoró la capacidad microbiana para sintetizar el polisacárido exocelular levan a partir de sacarosa. Con un anillo estéril se tomó una muestra de cada aislado y se depositó sobre la superficie del medio específico, mediante estrías cruzadas en forma de puntos discretos.

Las placas se incubaron a 28 °C por veinticuatro a veintiocho horas, en posición invertida. Concluida la incubación, se procedió a un escrutinio macroscópico de las colonias, evaluando su relieve y textura.

La prueba se interpretó como positiva cuando las colonias exhibieron una morfología mucoide o pulvinada. La ausencia de dichos rasgos se consideró un resultado negativo.

5.4.6. Prueba de Oxidación-Fermentación

El sustrato Hugh y Leifson se confeccionó utilizando caseinopeptona, halita (NaCl), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), agar y timolsulfonaftaleína en una disolución hídrica al uno por ciento. Todos los constituyentes se amalgamaron homogéneamente en un recipiente de borosilicato de 125 mL, posteriormente se calibró el potencial hidrogeniónico a 7.1 y el medio se sometió a esterilización térmica húmeda a 121 °C por veinte minutos.

De forma paralela, se preparó una solución decimal de glucosa, la cual fue descontaminada por tamización y luego incorporada al fundamento estéril. El compuesto resultante se dispensó en cilindros de vidrio en alícuotas de 4.0 mL y se permitió su gelificación.

Sucedido un lapso de incubación de cuarenta y ocho horas, se insemnaron dos cilindros con el fitopatígeno. En uno se adicionó un oleaje mineral tridecontaminado hasta un calado cercano a 5 mm, mientras el segundo se conservó exento de este lípido. Adyacentemente, se dispuso un tercer cilindro virgen como testigo. Finalmente, todos los tubos se termostataron a 27 °C y se escutaron los desenlaces tras veinticuatro y cuarenta y ocho horas.

5.4.7. Prueba de Arginina

Partiendo de un inóculo previamente obtenido, se insemnaron dos de los tres cilindros con sustrato gelificado para el ensayo de arginina deshidrolasa mediante perforación. El tercer cilindro permaneció sin inocular, empleándose como testigo negativo mediante la introducción de una varilla recta previamente flameada.

Seguidamente, se adicionó aproximadamente 1 mL de oleaje mineral estéril a cada cilindro, con el fin de establecer condiciones anóxicas propicias para la actividad del complejo catalítico. Concluyentemente, los tubos se incubaron a 28 °C durante setenta y dos horas para permitir el desenvolvimiento de la reacción enzimática.

5.4.8. Prueba de Motilidad

El sustrato nutritivo empleado para la ejecución de este ensayo se confeccionó partiendo de peptona, concentrado cárnico, halita, agar microbiológico y líquido destilado. Los compuestos se amalgamaron en un frasco de cuello estrecho con una capacidad definitiva de 100 mL y, subsiguientemente, se depuraron térmicamente en autoclave a 121 °C a lo largo de un cuarto de hora.

Ulteriormente, se extrajo una porción de una colonia microbiana con 24 horas de desarrollo valiéndose de un ansa microbiológica estéril, con la cual se impregnó el sustrato confeccionado. En conclusión, los tubos impregnados se mantuvieron en termostato a una temperatura de 28 °C durante un ciclo de 24 horas para posibilitar la proliferación microbiana.

5.4.9. Análisis de Proliferación a 37°

Para efectuar este análisis se elaboró un sustrato nutritivo Kings B, con los siguientes compuestos: Peptona caseínica, Sulfato magnésico heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Fosfato dipotásico (K_2HPO_4), Agar microbiológico y Glicerina, en un frasco de cuello estrecho se conglomeraron homogéneamente en 250 mL de líquido destilado y se depuró térmicamente a 121 °C por 15 min. Posteriormente se transfirió a placas Petri y se dejó solidificar. Se ubica una placa Petri con sustrato en la estufa de incubación durante 1 hora a la temperatura de 37 °C, transcurrido el lapso, se extrajo y se procedió a impregnar auxiliándose de un ansa microbiológica en la cabina de flujo unidireccional una mínima porción de nuestra colonia microbiana juvenil, mediante la técnica de estría y se transfirió nuevamente a la estufa de incubación a la temperatura de 37 °C por 24 horas.

5.4.10. Pudrición de papa

Los tubérculos de papa se lavaron meticulosamente para eliminar vestigios de tierra y materias extrañas. Subsiguientemente, se descortezaron con un instrumento apropiado y se seccionaron en rodajas con un espesor cercano de 5 a 7 mm.

Cada rodaja se posicionó en una cámara saturada de humedad dentro de una placa Petri, sobre un papel absorbente estéril recortado en forma circular para cubrir el fondo de la placa. En la porción central de cada rebanada se efectuó una lesión, en la cual se impregnó el fitopatógeno empleando un ansa microbiológica. Adicionalmente, se reservó una rodaja sin impregnar como control para el cotejo de los resultados.

5.4.11. Prueba de Hipersensibilidad al Tabaco

Se preparó una suspensión microbiana con una concentración cercana a 1×10^8 UFC/mL, la cual fue calibrada mediante contraste con la escala de McFarland. Posteriormente, la suspensión se depositó en una jeringa estéril y se infiltró en un ejemplar juvenil de tabaco.

5.4.12. Prueba de Hidrolisis de Gelatina

El sustrato nutritivo se formuló partiendo de peptona, halita (NaCl), concentrado cárnico, gelatina, agar y líquido. Los constituyentes se integraron mediante calentamiento gradual hasta conseguir una mezcla homogénea. Ulteriormente, el sustrato fue depurado térmicamente en autoclave a 120 °C a lo largo de un periodo de 20 minutos. En conclusión, se impregnó un microorganismo con 24 horas de desarrollo utilizando un ansa microbiológica, y los tubos se incubaron a 25 °C durante 24 horas.

5.4.13. Hidrólisis de Esculina

Para la ejecución del ensayo, se confeccionó un sustrato nutritivo constituido por esculina, peptona, concentrado cárnico, citrato férrico, bilis bovina y líquido destilado. Los componentes se conglomeraron en un frasco de cuello estrecho que contenía 100 mL de líquido destilado y subsiguientemente se calentó para propiciar la disolución íntegra de los reactivos. Una vez elaborado, el sustrato se depuró térmicamente en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Posteriormente, se dispensaron 5 mL en cada tubo, los cuales se colocaron en posición oblicua hasta su solidificación. Una vez solidificado el sustrato, se impregnó uno de los tubos con una porción de una colonia microbiana juvenil, empleando un ansa microbiológica estéril bajo condiciones asépticas en una cabina de flujo unidireccional. Un segundo tubo se conservó sin impregnar y se utilizó como control del ensayo. Finalmente, los tubos se incubaron a una temperatura de 32 °C durante un ciclo de 24 horas, con el propósito de valorar la reacción microbiana en el sustrato preparado.

5.4.14. Generación de Fosfatasa

Para la ejecución de este ensayo, el sustrato nutritivo se formuló partiendo de agar nutritivo y fenolftaleína. El agar nutritivo se disolvió en 100 mL de líquido destilado y ulteriormente se depuró térmicamente en autoclave.

De modo separado, se preparó una solución de fenolftaleína al 0.05% empleando 5 mL de líquido destilado en un tubo de ensayo. Esta solución se incorporó al sustrato basal ya depurado mediante filtración. Acto seguido, el sustrato se distribuyó en placas Petri y se dejó solidificar. Una vez solidificado el sustrato, se tomó una porción de una colonia microbiana juvenil, la cual se sembró en las placas empleando la técnica de estría con un ansa microbiológica. En conclusión, las placas se incubaron durante 48 horas.

5.4.15. Generación de Indol

El sustrato nutritivo líquido se confeccionó partiendo de triptona y L-triptófano, posteriormente se distribuyó en tubos de ensayo en volúmenes de 5 mL y se depuró térmicamente en autoclave. Tras el proceso de depuración térmica, los tubos fueron impregnados con un microorganismo procedente de una colonia juvenil, utilizando un ansa microbiológica, y se incubaron a 28 °C.

5.4.16. Análisis de Producción Ácida a partir de Glúcidos

Para la ejecución del ensayo, se elaboró un sustrato basal partiendo de caldo peptonado al 1% y púrpura de bromocresol, empleando 150 mL de líquido destilado. La mezcla se homogeneizó y subsiguientemente se distribuyó en tres frascos de cuello estrecho de 100 mL, los cuales fueron depurados térmicamente en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. De manera independiente, se prepararon soluciones de los glúcidos melibiosa, sorbitol y lactosa, disolviéndolos en 5 mL de líquido destilado en tubos de ensayo. Estas soluciones se incorporaron a los frascos con el sustrato basal mediante filtración.

Una vez suplementados los sustratos con los glúcidos correspondientes, se distribuyeron en tubos de ensayo en volúmenes de 5 mL. Finalmente, los tubos se impregnaron con una porción de una colonia microbiana juvenil y se incubaron durante 72 horas.

5.4.17. Análisis de Reducción de Sustancias a partir de Sacarosa

El sustrato nutritivo empleado en este ensayo se formuló partiendo de peptona caseínica, concentrado cárnico y sacarosa. Estos componentes se disolvieron de manera uniforme en 100 mL de líquido destilado y ulteriormente el sustrato se distribuyó en tubos de ensayo con un volumen de 5 mL cada uno. Los tubos fueron depurados térmicamente en autoclave a 121 °C durante 15 minutos.

Tras el enfriamiento del sustrato, se procedió a la impregnación con una porción proveniente de una colonia microbiana juvenil. Subsiguientemente, los tubos se mantuvieron en agitación durante un ciclo de dos días. La lectura de los resultados se efectuó tras la adición del reactivo

de Benedict, posteriormente los tubos se colocaron en un baño termostático a una temperatura cercana de 95 a 100 °C.

5.5. Obtención de *Bacillus subtilis*

Las esporas de *Bacillus subtilis* fueron proporcionadas en un matraz con capacidad de 500 mL. Para favorecer su multiplicación, se prepararon 200 mL de caldo nutritivo en un matraz separado, el cual fue esterilizado en autoclave.

Posteriormente, bajo condiciones asépticas en una cámara de flujo laminar, el caldo nutritivo se añadió al matraz que contenía las esporas, con el fin de evitar contaminaciones. Finalmente, el cultivo se mantuvo en agitación continua durante un periodo de una semana.

5.6. Técnica de dilución

La acción supresora se cuantificó mediante la metodología de dilución en bouillon. Para este fin, se emplearon compuestos mercantiles, escogidos conforme a referencias bibliográficas, para el manejo del procariota fitopatógeno. El procedimiento se ejecutó en cilindros de prueba que contenían 10 mL de bouillon enriquecido (MCD LABS) cada uno.

Para cada tratamiento se evaluaron tres concentraciones (Cuadro 3), con 10 repeticiones por concentración, además de un testigo absoluto y un testigo del producto. Posteriormente, a cada una de las 10 repeticiones se le inocularon 100 µL de la suspensión bacteriana, previamente ajustada a 1×10^8 UFC/mL mediante la escala de McFarland.

El testigo del producto consistió en un tubo sin inoculación bacteriana, mientras que el testigo absoluto estuvo compuesto únicamente por la suspensión bacteriana en caldo nutritivo (MCD LABS). Finalmente, todos los tubos se incubaron durante 24 horas.

Cuadro 3. Dosis de productos evaluadas por tratamiento.

Tratamientos	Designación del Tratamiento	I.A	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
T1	Kasumin®	Kasugamicina	825 µL	550 µL	330 µL
T2	Ultramyl® 100	Estreptomicina	0.066g	0.044g	0.022g
		+			
		Oxitetraciclina			
T3	Sulfalcob 25®	Sulfato de Cobre Pentahidratado	1.65g	1.5g	0.825g
T4	Kateme®	Extracto de <i>Larrea tridentata</i>	2200 µL	1650 µL	1100 µL
T5	<i>B. subtilis</i>	-----	2000 µL	1500 µL	1650 µL
Testigo Absoluto	Caldo nutritivo + <i>P. carotovorum</i>	-----	----	----	----

µL= Microlitros, g= Gramos

5.7. Técnica de antibiograma

Para la realización de este experimento, se utilizaron productos comerciales seleccionados para el control de la bacteria fitopatógica, cajas de medio King B y discos estériles de papel filtro Whatman número 2, con un diámetro de 10 mm.

Las diferentes dosis de los productos (Cuadro 4) se disolvieron en 40 ml de agua destilada estéril. Posteriormente, los discos fueron sumergidos en la solución durante 2 horas, con el objetivo de que se impregnaran adecuadamente con el químico.

En condiciones de asepsia, se sembró una suspensión bacteriana, previamente ajustada a 1×10^8 UFC/mL utilizando la escala de McFarland, sobre toda la superficie de la placa, y enseguida se colocó un disco impregnado con el producto químico. Este procedimiento se repitió para todos los tratamientos, lo que dio como resultado 6 repeticiones por tratamiento. Finalmente, las placas se incubaron durante 24 horas.

5.7.1. Tratamientos

Cuadro 4. Dosis de productos evaluadas por cada tratamiento.

Tratamiento	Producto Comercial	Ingrediente Activo	Dosis
T1	Kasumin®	Kasugamicina	200 µL /40mL H ₂ O
T2	Ultramyl® 100	Estreptomicina + Oxitetraciclina	0.4g/40mL H ₂ O
T3	Sulfalcob 25®	Sulfato de cobre pentahidratado	0.024g/40mL H ₂ O
Testigo	Agua destilada	-----	40 mL

µL: Microlitros, g: Gramos

5.8. Conteo de individuos en Cámara de Neubauer

Para la enumeración de unidades se empleó una réplica y el control absoluto de cada posología de las intervenciones. De cada una se captaron 1000 µL del espécimen, los cuales se atenuaron en 9 mL de líquido. Subsiguientemente, se sustrajeron 100 µL de la atenuación con un instrumento de microaspiración y se depositaron en la cubeta de Neubauer. Acto seguido, la cubeta se inspeccionó en un visor de lentes múltiples y se ejecutó la cuantificación de unidades. Se aplicó la ecuación para adquirir UFC/mL.

$$N \times 1000/0.02m^3$$

Donde N, es el número de individuos contados por cuadro.

5.9. Evaluación de los tratamientos por experimento

5.9.1. Dilución en caldo

La represión de *P. carotovorum* se valoró mediante la enumeración de unidades en la cubeta de Neubauer. Los desenlaces obtenidos fueron subyugados a un escrutinio de variancia (ANOVA) y examen de segregación de promedios con el ensayo de Tukey al 0.05 de trascendencia para develar disimilitudes relevantes entre intervenciones. Se empleó el programa informático SAS edición 9.0 para el sistema operativo Windows.

5.9.2. Antibiógrama

Para el perfil, la valoración se efectuó mediante la mensuración del diámetro de la aureola de represión del crecimiento microbiano. Para el control, únicamente se consideró la dimensión del disco como referente. Se obtuvieron representaciones digitales de los recipientes de cultivo, las cuales fueron luego transferidas al programa ImageJ.JS versión 0.5.8. Esta aplicación posibilitó escudriñar con exactitud las áreas de supresión conformadas alrededor de los discos embebidos con las sustancias químicas, propiciando así la cuantía del efecto represor sobre la proliferación microbiana. Posteriormente, los desenlaces fueron subyugados a un escrutinio de variancia (ANOVA). Para el cotejo entre intervenciones, se aplicó un examen de segregación de promedios mediante el ensayo de Tukey, con un umbral de trascendencia de 0.05, con el fin de establecer disimilitudes relevantes entre las intervenciones.

6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Aislamiento y caracterización macroscópica del agente causal de la pudrición blanda en papa

Se obtuvieron procedencias microbianas desde tuberculos de *Solanum tuberosum* L., que exhibían indicios manifiestos de descomposición lítica. Los tejidos dañados evidenciaron una pigmentación oscilante entre color hueso y pardo claro, con una contextura mollar y granulosa, sumada a un efluvio ofensivo. Tras veinticuatro horas de incubación, las congregaciones desarrolladas mostraron coloraciones albinas a beis, con una contextura levemente mantecosa, conformación asimétrica y relieve convexo. Igualmente, se percibieron ulceraciones húmedas, relucientes y de textura tersa, acompañadas de un efluvio penetrante, vinculado a la acción catalítica de los microbios aislados. Los atributos macroscópicos constatados concuerdan con los referidos para *Pectobacterium carotovorum* según Schaad y colaboradores (2001).

6.2. Caracterización morfológica y bioquímica de *P. carotovorum* aislado de tubérculos de papa

Para la determinación de la procedencia microbiana se ejecutaron ensayos exploratorios, así como pruebas metabólicas y fisiológicas. Estos procedimientos permitieron corroborar su correspondencia con *Pectobacterium carotovorum*. Los desenlaces obtenidos para cada uno de los exámenes aplicados al fitopatógeno se exhiben en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados obtenidos en las pruebas empleadas para la caracterización de *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (*Pectobacterium carotovorum*), de acuerdo con lo descrito por Schaad *et al.* (2001); Safrinet (2000).

Prueba Bioquímica	Resultado Obtenido
Tinción de Gram	-
RYU	+
Catalasa	+
Oxidasa	-
Levana	-

Prueba O/F	anaerobia facultativa
Arginina	-
Motilidad	+
Crecimiento en 37°	+
Pudrición de papa	+
Hipersensibilidad al tabaco	-
Hidrolisis de gelatina	+
Hidrolisis de esculina	+
Producción de fosfatasa	-
Producción de Indol	-
Producción de ácido de carbohidratos:	
Lactosa	+
Melibiosa	+
Sorbitol	-
Reducción de sustancias de sacarosa	-

6.2.1. Tinción de Gram

Al realizar la observación en el microscopio óptico, se evidenció que la bacteria adquiriría una tonalidad rosada a rojiza y presentaba una morfología de bacilos largos. Estos atributos permiten catalogarla como un microorganismo con reacción Gram negativa, dado que ostenta una lámina celular tenue y una envoltura externa, lo cual obstaculiza la retención del compuesto cromático de violeta de genciana-yodo. Conforme a Fernandes (2016), los microorganismos Gram negativos se distinguen por presentar un estrato fino de entramado molecular de azúcares y péptidos que no consigue fijar dicho compuesto durante el proceso de coloración, ocasionando la desaparición de la pigmentación violácea y favoreciendo la infiltración de la safranina, la cual impregna las unidades celulares de color escarlata.

6.2.2. Prueba de RYU

La caracterización del microorganismo se fundamentó en el ensayo de solubilidad mediante hidróxido de potasio, ejecutado sobre una muestra extendida. El desenlace fue afirmativo al

detectarse una consistencia glicerizada que posibilitó la hebra de un hilo al retirar el asa del soporte. Esta acción ocurre cuando el reactivo provoca la desintegración de unidades con envoltura celular frágil, permitiendo la emancipación del material genético, el cual produce una apariencia gelatinosa. Conforme a la Dirección General de Sanidad Vegetal y el Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (2013), la manifestación de dicho hilo es típica de microorganismos Gram negativos, en tanto que la falta de glicerosidad se asocia a aquellos Gram positivos.

6.2.3. Catalasa

El escrutinio bioquímico develó que el ente posee facultad catalasa, lo cual se corroboró al interactuar con peróxido de hidrógeno dispuesto sobre el espécimen. El fenómeno se exteriorizó mediante la producción perceptible de oxígeno en figura de efervescencia, consecuencia de la degradación del H_2O_2 inducida por dicho biocatalizador. Esta conducta se alinea con lo consignado por Aguilar et al. (2021), quienes registraron que las colonias pertenecientes al género *Pectobacterium* exhiben invariablemente una reacción afirmativa al ensayo de catalasa, discernible como una ebullición tras la incorporación del compuesto.

6.2.4. Oxidasa

La lectura de la prueba se realizó dentro de un intervalo de 10 a 30 segundos posteriores a la aplicación de la muestra. Una reacción positiva se reconoce por la aparición rápida de una coloración azul violácea intensa en menos de 10 segundos. No obstante, en el análisis correspondiente a *Pectobacterium* no se observó ninguna modificación cromática al depositar el cultivo en la placa reactiva, lo que confirma un resultado negativo y evidencia la ausencia de la enzima citocromo oxidasa. Según lo señalado por Apolinario (2018), la prueba de oxidasa constituye una herramienta diagnóstica empleada para identificar la capacidad de las bacterias de sintetizar citocromo C oxidasa. En este contexto, los géneros *Pectobacterium* y *Dickeya* (anteriormente clasificadas como *Erwinia*) se caracterizan por presentar especies oxidasas negativas, ya que su metabolismo anaerobio impide la actividad de dicha enzima, limitando su desarrollo en existencia de oxígeno y la creación de un sistema funcional de citocromo oxidasa.

6.2.5. Levana

Tras el periodo de incubación, se evaluaron los medios y se observó que no hubo crecimiento convexo mucoso de las colonias. Ustun *et al.* (2016) reportaron resultados similares y explicaron que *Pectobacterium carotovorum* da negativo en la prueba de producción de levan en pruebas bioquímicas estándar. Según los autores, esta bacteria no produce levansucrasa, la enzima responsable de la síntesis de levan, un polímero de fructosa derivado de la sacarosa.

6.2.6. Oxidación/Fermentación

Tras un periodo de incubación de 48 horas, se evaluó el comportamiento metabólico de la bacteria en los distintos tubos de ensayo. El tubo control permaneció sin modificaciones visibles en su coloración, mientras que aquellos incubados tanto en condiciones aerobias como anaerobias presentaron un cambio cromático de azul a amarillo. Esta variación se explica por la utilización de carbohidratos por parte del microorganismo, lo que genera productos ácidos que alteran el pH del medio, evidenciando una respuesta positiva característica de bacterias con metabolismo anaerobio facultativo.

Estudios previos realizados por García-Estrada *et al.* (2000) describieron resultados similares al analizar dos cepas bacterianas (A y B) asociadas al género *Erwinia*. En su investigación, la prueba de oxidación-fermentación permitió diferenciar los tipos metabólicos, donde la coloración amarilla indicó actividad metabólica y el color azul correspondió a los tubos control. En particular, la cepa A mostró un patrón de metabolismo oxidativo-fermentativo de la glucosa.

6.2.7. Arginina

Después de completar el tiempo de incubación, se procedió a la evaluación de la prueba. No se observó ningún cambio en la coloración del medio, lo que sugiere que no se produjo arginina dihidrolasa. Según Ustun *et al.* (2016), reportó resultados parentescos y explico a que se debía este resultado, debido a que esta bacteria no sintetiza la enzima arginina

dihidrolasa. Esta enzima es la encargada de transformar la arginina en citrulina y amonio. La ausencia de esta enzima en *P. carotovorum* es lo que causa el resultado negativo en la prueba. Este comportamiento es característico de esta especie y se emplea como un criterio para diferenciar *P. carotovorum* de otras especies en pruebas bioquímicas estándar como el API 20E. Este rasgo ha sido registrado como parte del perfil diagnóstico de *P. carotovorum* en varios estudios microbiológicos.

6.2.8. Motilidad

Después de realizar la inoculación del patógeno y su incubación, se observó la reacción de la bacteria. A las 24 horas, se evidenció su movilidad en el medio, lo que permitió confirmar un resultado positivo en la prueba de motilidad. Li *et al.* (2019) reportaron resultados similares e indicaron que *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* presenta un resultado positivo en la prueba bioquímica de motilidad debido a la presencia de flagelos dispuestos peritriquicamente, que posibilitan el desplazamiento de la bacteria a través de medios semisólidos. Los autores señalaron que esta organización de flagelos le otorga a *P. carotovorum* la capacidad de moverse hacia áreas donde puede penetrar y propagarse en los tejidos vegetales. Además, la motilidad contribuye a la virulencia de la bacteria, facilitando su adherencia a superficies y la formación de biofilms.

6.2.9. Crecimiento en 37°C

Transcurrido el tiempo de incubación, se pudieron apreciar colonias de *Pectobacterium carotovorum* desarrolladas sobre el medio de cultivo, las cuales presentaron una coloración beige, aspecto húmedo y brillante, con bordes generalmente lisos y una consistencia suave. Estas características macroscópicas son concordantes con lo descrito para bacterias del género *Pectobacterium*, conocidas por formar colonias cremosas y ligeramente elevadas debido a su capacidad de producir enzimas pectinolíticas. En este sentido, Diarra *et al.* (2011) indicó resultados similares y documentaron que aislamientos de *P. carotovorum* subsp. *Carotovorum* lograron crecer en agar nutritivo incubado a 37 °C, empleando esta característica como un criterio complementario en la identificación fenotípica de la bacteria.

6.2.10. Pudrición de papa

A las 24 horas posteriores a la inoculación, se registraron manifestaciones evidentes de la actividad bacteriana en las rodajas de papa inoculadas. Estas presentaron una coloración blanquecina a beige, una textura cremosa y un olor desagradable, características asociadas con el desarrollo de pudrición blanda. En contraste, las rodajas utilizadas como testigo no mostraron alteraciones visibles ni signos de deterioro del tejido. De acuerdo con los resultados que reportado por Torres-Bojórquez *et al.* (2016), la prueba de inoculación en rodajas de papa constituye un método confiable para evaluar la patogenicidad bacteriana. Asimismo, los autores señalan que esta técnica permite la identificación y clasificación de bacterias fitopatógenas, debido a su capacidad para producir enzimas pectolíticas responsables de la maceración del tejido parenquimatoso y la consecuente pérdida de la integridad estructural del hospedante.

6.2.11. Hipersensibilidad al tabaco

Tras la inoculación de la suspensión bacteriana en hojas de tabaco, no se evidenciaron signos visibles de reacción de hipersensibilidad ni alteraciones en el tejido vegetal. Únicamente se observaron pequeñas lesiones mecánicas en los puntos donde se produjo el contacto con la aguja durante el procedimiento. Esta conducta se armoniza con lo consignado por Glasner *et al.* (2008), quienes evidenciaron que linajes de *Pectobacterium carotovorum* adolecen de un mecanismo de excreción clase III operativo, resultando imprescindible para desencadenar la reacción de hipersensibilidad en vegetales ajenos a la hospedería.

6.2.12. Hidrolisis de gelatina

Después de 24 horas de incubación, se observó que el medio perdió su consistencia, evidenciado por la licuación de la gelatina, lo que confirma un resultado positivo en la prueba. Este fenómeno se debe a la capacidad de *Pectobacterium carotovorum* para producir enzimas que descomponen proteínas, las cuales son responsables de romper la gelatina. Según Barrios (2015) demostraron en sus resultados de sus pruebas que realizaron y reportaron que los microorganismos que muestran una hidrólisis positiva de gelatina son aquellos que producen

gelatinasas, enzimas proteolíticas que convierten el medio sólido en líquido. De manera similar, Victoria & Barros (1969) reportaron, en experimentos con *E. carotovorum*, un crecimiento bacteriano filiforme acompañado de la licuación del sustrato entre el segundo y tercer día de incubación.

6.2.13. Hidrolisis de esculina

Se realizó la evaluación de la prueba y se observó un cambio de coloración en el medio, pasando de color claro a negro, en contraste con el color de su testigo, lo que indica un resultado positivo. Eshghpour, (2018) reportó resultados similares que en la caracterización bioquímica de *Pectobacterium carotovorum*, se ha observado que este patógeno puede dar resultado positivo en la prueba de hidrólisis de esculina como parte de su perfil metabólico. De acuerdo con Sapkota, (2022) la esculetina liberada se combina con iones férricos presentes en el medio, formando un complejo marrón-negro visible, lo que indica un resultado positivo.

6.2.14. Producción de fosfatasa

Tras la incubación y crecimiento de la bacteria, fue agregado hidróxido de amonio para la lectura, lo cual no hubo coloración, lo cual la bacteria no produce fosfatasa. De acuerdo con los resultados de Andrade *et al.* (2020), los aislamientos de *Pectobacterium carotovorum* presentan de manera consistente resultados negativos en la prueba bioquímica de fosfatasa, lo cual se emplea como un criterio adicional para su identificación y diferenciación de otros fitopatógenos bacterianos. Este comportamiento se explica por el tipo de metabolismo de la bacteria, el cual está principalmente dirigido a la producción de enzimas pectinolíticas involucradas en la degradación de tejidos vegetales, más que a la síntesis de fosfatasas detectables mediante pruebas bioquímicas convencionales.

6.2.15. Producción de indol

La lectura de la prueba se realizó después de un periodo de incubación de 48 horas. Durante la evaluación no se observó la aparición de una coloración roja o rojiza en la superficie del medio, lo que indicó un resultado negativo. Este comportamiento sugiere que el microorganismo evaluado no produjo indol a partir del triptófano. Apolinario (2018), a partir del análisis de diversas pruebas bioquímicas, reportó que los aislamientos pertenecientes al género *Dickeya* presentan resultados positivos para la prueba de indol, a diferencia de las especies del género *Pectobacterium*, las cuales no manifiestan dicha reacción. De manera similar, Tolga *et al.* (2019) documentaron que *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* mostró una respuesta negativa en esta prueba. Esto gracias a sus resultados similares que obtuvieron. En términos generales, la aparición de un anillo rojo en la zona superior del tubo evidencia la presencia de indol, mientras que una tonalidad amarillenta indica la ausencia de este compuesto; la coloración observada se origina por la reacción de los pirroles contenidos en el indol.

6.2.16. Producción de ácido de carbohidratos

Tras una semana de incubación, los medios que contenían melibiosa y lactosa evidenciaron un viraje cromático hacia tonalidades que oscilaron entre púrpura y rojo anaranjado, mientras que el sustrato con sorbitol permaneció sin modificaciones visibles. Este comportamiento indica que el microorganismo logró desarrollarse y utilizar ciertos carbohidratos como fuente metabólica, produciendo compuestos ácidos que alteraron el pH del medio. Dicho cambio fue detectado mediante el indicador púrpura de bromocresol, el cual responde a la acidificación del entorno. Resultados similares fueron reportados por Luna-Rodríguez *et al.* (2009) en su estudio sobre enterobacterias relacionadas fenotípicamente con *Pectobacterium chrysanthemi* y *P. carotovorum* subsp. *Carotovorum*, asociadas a pudriciones blandas en *Cucurbita pepo*, donde la capacidad de fermentar lactosa y generar ácido resultó clave para diferenciar y clasificar la variabilidad entre los aislamientos analizados.

6.2.17. Reducción de sustancias de sacarosa

Tras ponerla a baño maría y agregarle el reactivo de Benedict, no hubo cambios de coloración en el medio. De acuerdo con sus resultados similares de Silva *et al.* (2020), la prueba de reducción de sustancias a partir de sacarosa no es un rasgo bioquímico constante dentro de las especies del género *Pectobacterium*. En los resultados obtenidos, la mayoría de las cepas evaluadas no redujeron sustancias a partir de sacarosa, aun cuando cumplieran con otros criterios fenotípicos típicos del género, como ser Gram negativas, fermentativas, catalasas positivas y oxidasas negativas.

6.3. Resultados de evaluación de productos mediante la técnica de dilución en caldo

Según el análisis de varianza realizado en la evaluación de los tratamientos mediante la técnica de dilución en caldo, se evidenció una diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$) (Cuadro 6. Ver en Anexos). De acuerdo con la Figura 2. El tratamiento Testigo presentó la mayor concentración bacteriana 6.3×10^6 UFC/mL, ubicándose en un grupo estadísticamente independiente (letra D), lo que confirma la ausencia de efecto inhibitorio y lo diferencia significativamente de todos los tratamientos evaluados.

Los tratamientos T1 (Kasugamicina) y T3 (Sulfato de cobre pentahidratado) mostraron las menores medias las cuales son 1.8×10^6 y 1.4×10^6 UFC/mL, sin mostrar diferencia significativa entre ellos. Esto indica que ambos tratamientos lograron la mayor reducción bacteriana y no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí respecto a los demás tratamientos y al testigo.

Pavitra *et al.*, (2025) reportaron resultados similares, coincidiendo en que los antibióticos y los compuestos cúpricos presentan una elevada actividad antibacteriana contra este fitopatógeno en condiciones *in vitro*. En su estudio, evaluaron kasugamicina, validamicina, plantamicina, frente a *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, observando que la kasugamicina y los compuestos a base de cobre generaron una inhibición del 70% en comparación con los controles.

El T2 (Estreptomicina + Oxitetraciclina) y T4 (Extracto de *Larrea tridentata* (gobernadora) obtuvieron una media en la concentración bacteriana de 3.1×10^6 y 3.4×10^6 UFC/mL, lo que indica que su efecto inhibitorio fue intermedio. Ambos tratamientos redujeron significativamente la carga bacteriana en comparación con el testigo, aunque en menor magnitud que T1 y T3.

Resultados similares publicados por Nguyen Trung Vu *et al.*, (2022) reportaron que la estreptomicina ha sido utilizada históricamente para el control de la pudrición blanda; sin embargo, su acción frente a *P. carotovorum* no es uniforme, ya que distintas cepas presentan desde susceptibilidad clara hasta respuestas parciales o reducidas, incluso a concentraciones equivalentes a las recomendadas comercialmente. Esta variabilidad limita su capacidad de lograr una inhibición completa del patógeno, lo que coincide con el efecto moderado evidenciado en T2.

De manera similar, el tratamiento T4 mostró una reducción parcial de la carga bacteriana, como los resultados reportados por Morales-Ubaldo *et al.*, (2021), quienes evaluaron el extracto de *L. tridentata* frente a bacterias fitopatógenas como *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Pseudomonas syringae* y *Xanthomonas campestris*, observando una actividad antibacteriana dependiente del tipo de extracto y, en general, de potencia moderada, al requerir concentraciones elevadas para lograr inhibición. En conjunto, estos antecedentes permiten interpretar que tanto los antibióticos como los extractos botánicos pueden disminuir significativamente la población bacteriana sin alcanzar un control total, lo que justifica la similitud estadística y el nivel de eficacia intermedia observado en los tratamientos T2 y T4.

Por su parte, *Bacillus subtilis* (T5) presentó un valor promedio de 4.2×10^6 UFC/mL, mostrando el menor efecto inhibitorio en el estudio, pero aun significativamente distinto del testigo. Resultados similares reportados por Feng *et al.* (2024), donde se analizó el uso de *Bacillus subtilis* frente a la pudrición blanda ocasionada por *Pectobacterium carotovorum*, se evidenció que la eficacia del control estuvo directamente relacionada con la concentración aplicada del agente biocontrolador. También reportaron que tanto el tratamiento testigo como aquellos ensayos realizados con concentraciones reducidas (1×10^5 y 1×10^6 UFC/mL) presentaron altos niveles de descomposición del tejido vegetal durante el almacenamiento, lo que indica que a bajas dosis *B. subtilis* no logra una inhibición significativa del patógeno.

No obstante, el efecto antagonista se incrementó conforme aumento la concentración del microorganismo aplicado.



Figura 1. Efecto de diferentes tratamientos sobre la concentración bacteriana de *P. carotovorum*

6.3.1. Interacción Dosis x Tratamiento

De acuerdo con la Figura 3. El grupo testigo (T0), mantuvo los valores más altos de carga bacteriana en las tres dosis evaluadas, confirmando la ausencia de actividad inhibitoria. Por el contrario, los tratamientos T1 (Kasugamicina), T2 (Streptomycin + Oxitetracycline), T3 (Copper pentahydrate sulfate), T4 (Extract of *Larrea tridentata* (Governadora)) and T5 (*Bacillus subtilis*) showed different levels of microbial reduction depending on the dose.

In particular, T2 showed a dose-dependent behavior, as the bacterial concentration decreased progressively as the dose increased (D1 > D2 > D3). The treatment T3 showed stability in its effect, maintaining low values similar in all doses, which suggests that its antimicrobial action does not vary with concentration. In the case of T1, the greatest inhibition was observed in the lowest dose, while increments

en la dosis no produjeron mejoras adicionales. Para T4 y T5, las diferencias entre dosis fueron menores y no se identificó una tendencia consistente de mayor eficacia a dosis más altas.

La presencia de interacción significativa confirma que el efecto de la dosis depende del tratamiento utilizado, indicando que la eficacia antimicrobiana está más relacionada con las características propias de cada tratamiento que con un simple aumento en la concentración aplicada.

En diversos estudios recientes, se han reportado resultados similares a los obtenidos, explicando que la actividad antimicrobiana no siempre sigue una relación lineal con la dosis aplicada, lo que se refleja en los resultados de este experimento.

Morales-Márquez *et al.* (2025) explican que los extractos de *Larrea tridentata*, aunque efectivos, muestran una respuesta no lineal dosis-dependiente debido a la diversidad de metabolitos presentes, lo que puede justificar la variabilidad en la eficacia de T4.

En un contexto similar, Pérez-Palma *et al.* (2019) demostraron que el sulfato de cobre mostró una acción estable sin depender de la concentración, lo cual refuerza el resultado de que T3 mantiene un efecto consistente en todas las dosis. Además, Parra-Cota (2024) destaca que el biocontrolador *Bacillus subtilis* ejerce su actividad antimicrobiana de forma dependiente de la cepa y las condiciones ambientales, lo que podría explicar la falta de un patrón claro entre las dosis en T5.

Finalmente, un estudio sobre extractos vegetales de *Asystasia variabilis* (2025) confirma que la actividad antimicrobiana de plantas puede depender de la dosis, pero no siempre de manera proporcional, similar a los resultados obtenidos con los tratamientos T4 y T5. Sin antes, hay que mencionar que Singh & Mitchison (1955) reportaron resultados similares de acuerdo con el comportamiento dosis-dependiente en la reducción microbiana con la combinación de estreptomicina y oxitetraciclina, donde la reducción progresiva de la carga bacteriana aumentaba con la dosis, lo que concuerda con los resultados obtenidos en T2 (estreptomicina + oxitetraciclina). Este efecto sinérgico a ciertas dosis se debe a las acciones complementarias de ambos antibióticos en la inhibición de la síntesis proteica bacteriana (BenchChem, 2025).

En conjunto, estos resultados sugieren que la eficacia antimicrobiana está influenciada por factores específicos de cada tratamiento más que por un simple aumento en la concentración.

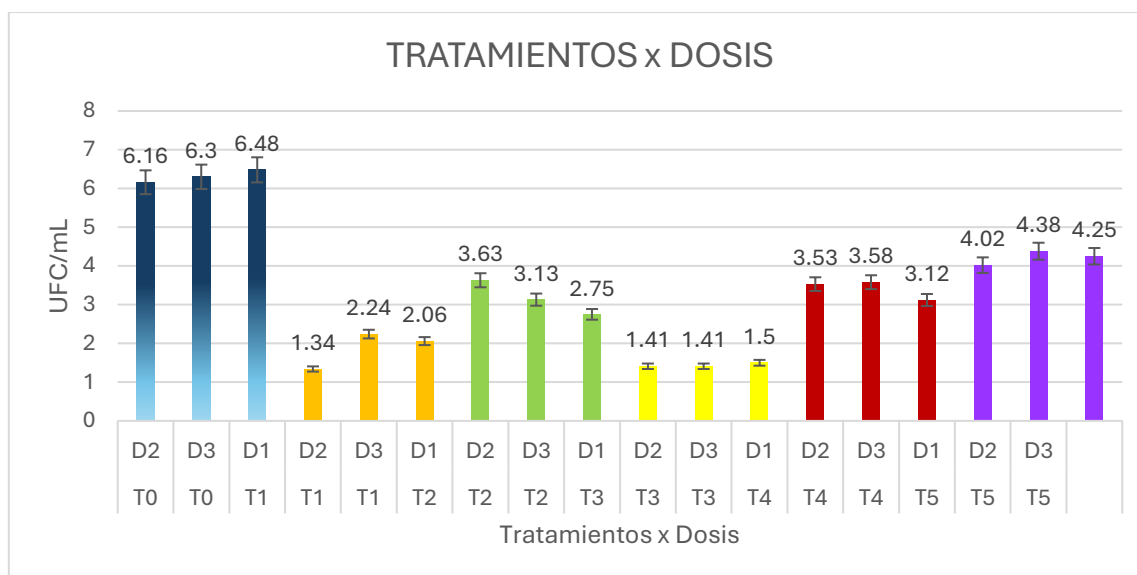


Figura 2. Concentración bacteriana de *P. carotovorum* en función del tratamiento y la dosis

6.4. Evaluación por antibiograma

De acuerdo con el análisis de varianza en la evaluación de los tratamientos mediante la técnica de antibiograma, evidenció una diferencia significativa ($P < 0.0001$), entre los tratamientos (Cuadro 7. Ver en Anexos).

En el análisis de inhibición a las 24 horas de acuerdo con la Figura 4, el T0 (Testigo) tuvo una nula inhibición, mientras que el T2 (Estreptomicina + Oxitetraciclina) mostró el mayor efecto de inhibición con un halo de 24.38 mm, lo que indica una inhibición significativa de *P. carotovorum*. Estos resultados se alinean con revisiones que destacan la variabilidad en susceptibilidad de fitopatógenos ante antibióticos como oxitetraciclina y estreptomicina cuando se emplea antibiograma (Islam *et al.*, 2024).

En comparación, T1 (Kasugamicina) (11.88 mm) y T3 (Sulfato de cobre) (12.42 mm) mostraron una inhibición mucho menor. Estos resultados confirman que T2 es el tratamiento más eficaz de los evaluados, mientras que T1 y T3 presentan una eficacia limitada.

Los datos obtenidos en el análisis de difusión en agar muestran que la combinación estreptomicina + oxitetraciclina produjeron el mayor halo de inhibición frente a

Pectobacterium carotovorum; esto coincide con informes donde la estreptomicina y derivados similares, generaron amplias zonas de inhibición contra *Pectobacterium* spp. cuando se evaluó su eficacia *in vitro*, alcanzando diámetros entre ~11 y 27 mm (Baz *et al.*, 2012) y comparables a los halos mayores observados con antibióticos clásicos en estudios con tagmycin/streptomycin (Pavitraa *et al.*, 2025).

Por otro lado, estudios similares han registrado que compuestos de cobre y kasugamicina exhiben halos de inhibición relativamente menores frente a *P. carotovorum* 10.5–17.5 mm para cobre esto de acuerdo con Uribe-Lorío *et al.* (2024) y 1.16 mm para kasugamicina de acuerdo con Pavitraa *et al.*, (2025), lo que concuerda con la menor eficacia observada para el sulfato de cobre y kasugamicina.

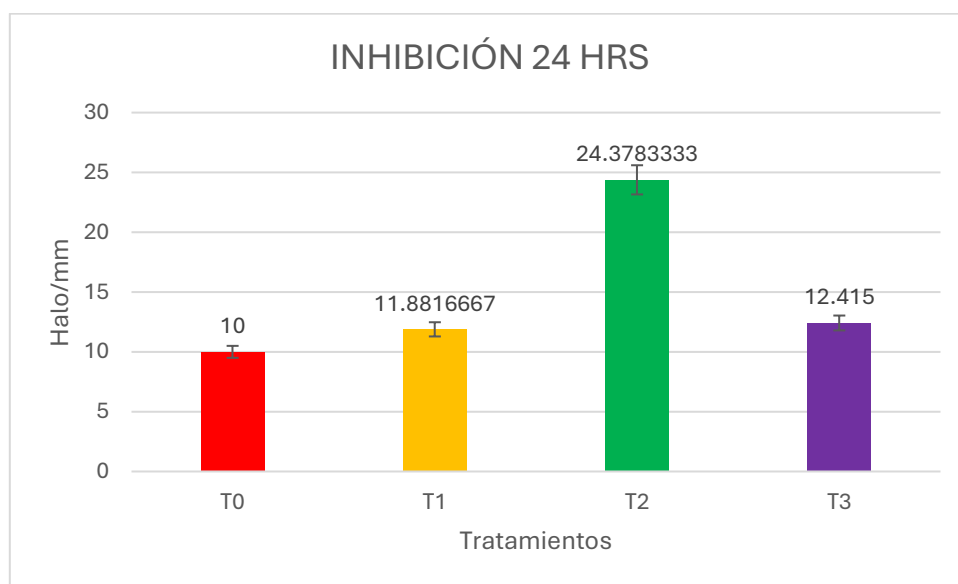


Figura 3. Efecto de los Tratamientos sobre la Inhibición de *Pectobacterium carotovorum* a las 24 Horas

Evaluación a las 48 Horas

De acuerdo con la Figura 5, el T0 (Testigo). No hay cambios. El valor se mantiene en 10 mm tanto a las 24 como a las 48 horas, lo que demuestra que no hay ningún efecto significativo de inhibición a lo largo de las dos mediciones.

Mientras que el T1, hay un ligero aumento (de 11.88 mm a 12.19 mm). Aunque el aumento es pequeño, muestra que el tratamiento T1 tiene una ligera efectividad, que se estabiliza entre las 24 y las 48 horas. Sin embargo, sigue siendo el segundo más bajo en inhibición, por lo que su impacto es relativamente pequeño comparado con T2. Por lo tanto, el T2, se mantiene como el más eficaz en ambas mediciones. La diferencia de 0.06 mm entre las mediciones (de 24.38 mm a 24.44 mm) es mínima, lo que indica que su efecto es estable y duradero. No se observa una disminución en su eficacia a las 48 horas, lo que sugiere que T2 tiene un efecto prolongado y constante.

Por último, en el T3 no hay variación en la inhibición entre las mediciones de 24 y 48 horas, manteniéndose en 12.42 mm. Esto sugiere que T3 tiene un efecto de inhibición constante.

Diversos estudios han demostrado que el tiempo de incubación puede influir en la magnitud de la zona de inhibición observada en ensayos de difusión en agar. Por ejemplo, Puspita *et al.* (2021) reportaron que los diámetros de las zonas de inhibición a las 48 h fueron mayores que a las 24 h, lo que sugiere un incremento de la actividad antimicrobiana detectable con tiempos de lectura más largos.

Finalmente, Aslam (2024) destacó que la duración de la incubación tiene una influencia significativa en el tamaño de los halos de inhibición, lo que apoya la importancia de incluir mediciones a diferentes tiempos, como 24 h y 48 h, al evaluar la eficacia de tratamientos antimicrobianos.

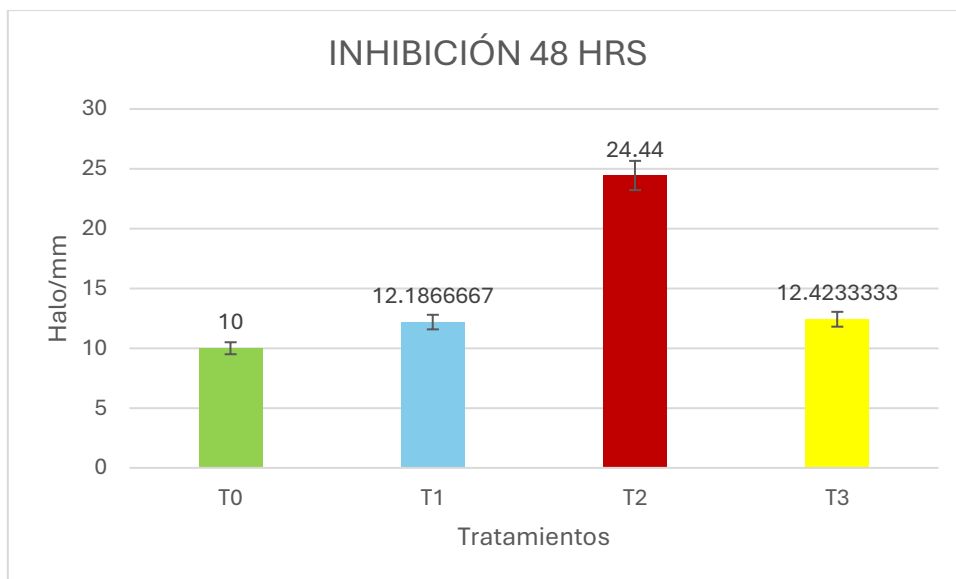


Figura 4. Efecto de los Tratamientos sobre la Inhibición de *Pectobacterium carotovorum* a las 48 Horas

7.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la técnica de dilución en caldo, el sulfato de cobre pentahidratado mostró la mayor reducción bacteriana. Mientras que, en la técnica de antibiograma, la estreptomicina + oxitetraciclina presentó el mayor halo de inhibición con 24.38 mm a las 24 h y 24.44 mm a las 48 h, siendo el más eficaz en esa técnica.

LITERATURA CITADA

- Abd El-Khair, H., & Haggag, K. H. (2007). Application of some bactericides and bioagents for controlling the soft rot disease in potato. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(5), 463-473. <http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/rjabs/rjabs/2007/463-473.pdf>
- Abo-Akel, S. (2024). *Testing the susceptibility of some potato cultivars to black scurf caused by Rhizoctonia solani* [Resumen]. *Journal of Biological Sciences*, 17(1), 10-18.
- Acuña B., Ivette. (2017). Rizoctoniasis de la papa. Instituto de investigaciones agropecuarias INIA. Chile. Ficha técnica 52 Sanidad vegetal. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/FichasTecnicasSanidadVegetal/Ficha%2052%20Rizoctoniasis%20de%20la%20papa.pdf>
- Acuña B., Ivette. (2017). Tizón temprano de la papa. Instituto de investigaciones agropecuarias INIA. Chile. Ficha técnica 49 Sanidad vegetal. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2018/01/Ficha-49-Tizon-temprano.pdf>
- Acuña, I.; Sandoval, C.; Sepúlveda. 2021. Enfermedades de la papa: Plataforma de evaluación de riesgo sanitario. INIA, Chile. <http://enfermedadespapa.inia.cl>.
- Agrios, G. N. (1997). *Plant pathology* (4th ed.). Academic Press.
- Aguilar-Ancota, R., Ruiz, W. R., Morales-Pizarro, A., Rafael-Rutte, R., Tirado-Lara, J., Saucedo Bazalar, M., Tuesta-Albán, C., Apaza-Apaza, S., & Teodor, K.T. (2021). Pudrición blanda en el pseudotallo de banano orgánico (*Musa* sp): sintomatología, caracterización cultural y bioquímica, patogenicidad y alternativas de manejo. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 571-578 p.
- Amaya-Guerrero, A. P., Beltrán Pineda, M. E., & Alfonso Vargas, N. C. (2021). *Pectobacterium carotovorum*: agente fitopatógeno causante de la pudrición blanda en la papa (*Solanum tuberosum*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2).

- Andrade, A. C., Rodrigues, K. L., Oliveira, T. K., de Souza, J. G. G., Costa, R. K. R., & de Souza, R. C. (2020). *Diversity of Pectobacterium strains by biochemical, physiological, and molecular characterization*. Bioscience Journal, 36(2), 316–323.
- Anónimo (2025). *In vitro antibacterial activity of plant extract (Asystasia variabilis)*. Journal of Plant Research, 68(2), 201-208.
- Apolinario, G. (2018). Identificación bioquímica y molecular de bacterias patógenas aisladas de plantas de papa (*Solanum tuberosum*) cultivadas en Chirgua, Edo. Carabobo, Venezuela. (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad Central de Venezuela.
- Aslam, M. S. *Effect of Incubation Time on Zone Size of Antimicrobials*, JHRLMC (2024).
- Barrios, D. A. (2015). Identificación de bacterias patógenas aisladas de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) con síntomas de pudrición blanda, colectadas en Sanare, Estado Lara. (Tesis de Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología).
- Baz, M., Lahbabi, D., Samri, S.E., *et al.* (2012). *In vitro inhibitory activity of Streptomyces isolates against Pectobacterium spp.* ResearchGate.
- BenchChem. (2025). *The Synergistic Interplay of Streptomycin and Oxytetracycline: A Technical Guide for Researchers*.
- Blog Agricultura. (2024). *Estadísticas del cultivo de papa en México*.
- Bonde R, de Souza P, 1954. Studies on the control of potatobacterial seed-piece decay and blackleg with antibiotics. American Journal of Potato Research 31, 311–6.
- Carbonell, J., & Briozzo, J. (1975). *Plagas de la papa: Pulgones*. Ministerio de Agricultura y Pesca – Estación Experimental Las Brujas (Hoja de Divulgación No. 30). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).
- Castro, M. A. S., & Acero, G. J. (2021). Control alternativo de *Fusarium oxysporum* Schltdl y *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee *et al.*, mediante el uso de aceites esenciales como una alternativa biológica. Revista Environment & Technology, 2(1) 96-121 p. <https://doi.org/10.56205/ret.2-1.6>

- Caulier, S., Nannan, C., Gillis, A., Licciardi, F., Bragard, C., & Mahillon, J. (2019). Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Frontiers in Microbiology*, 10, 302. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
- Charkowski, A.O. (2018). La cara cambiante de las enfermedades bacterianas de pudrición blanda. *Revisión Anual de Fitopatología*, 56:269-88.
- Clinical Microbiology and Infection. (2003). *Method for the determination of minimum inhibitory concentration (MIC) by broth dilution*. Clinical Microbiology and Infection, 9, 1–7.
- Czajkowski, R., Pérombelon, M. C. M., Van Veen, J. A., & Van der Wolf, J. M. (2011). Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: A review. *Plant Pathology*, 60(6), 999–1013. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02470.x>
- Czajkowski, R., Pérombelon, M. C. M., Veen, J. A., & Van Der Wolf, J. M. (2011). Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: A review. *Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02470.x>
- Diarra, B., *et al.* (2011). *Molecular typing of Pectobacterium carotovorum isolated from potato tuber soft rot in Morocco*. *Annals of Microbiology*, 61, 1–8.
- Dirección General de Sanidad Vegetal - Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (DGSV-CNRF). (2013). Protocolo de Diagnóstico de *Ralstonia solanacearum* (Smith,1896) Yabuuchi *et al* 1995. Marchitez bacteriana de la papa. Estandarizado en proceso de revisión. SAGARPA -SENASICA, 11 p.
- Doolotkeldieva, T., Bobusheva, S., & Suleymankisi, A. (2016). Biological Control of *Erwinia carotovora*ssp. *carotovora* by *Streptomyces* Species. *Advances in Microbiology*, 6(2), 104-114. <https://doi.org/10.4236/aim.2016.62011>
- Egúsquiza, B. R. (2000). La papa: Producción, Transformación y comercialización. Lima, Perú.

- Eshghpour, E. (2018). *Phenotypic and genotypic characteristics of causal Pectobacterium strains* (gelatine and esculin hydrolysis positive results). CAB International Digital Library.
- FAO. (2019). *Guía para el manejo integrado de plagas en el cultivo de la papa*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2023). *La papa y la seguridad alimentaria*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Feng, P., Zhang, X., Godana, E. A., Ngea, G. L. N., Dhanasekaran, S., Gao, L., Li, J., Zhao, L., & Zhang, H. (2024). *Control of postharvest soft rot of green peppers by Bacillus subtilis through regulating ROS metabolism*. Postharvest Biology and Technology / (PMPP—según el registro de ScienceDirect), 102280. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102280>.
- Fermagri. (2017). Sulfato de cobre. Obtenido de <http://www.fermagri.com/sulfatode-cobre.html>
- Fernandes, M. (2016). Identificación de aislados bacterianos patogénicos obtenidos de hojas de papa (*Solanum tuberosum* L.) colectadas en el valle del río Mucujún, Estado Mérida. (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad Central de Venezuela 5-10 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). *Celebrating the potato: a global treasure for food security and biodiversity*.
- García-Ávila, C.J., Valenzuela-Tirado, G.A., Anastasio, F., Ruiz-Galván, I., MorenoVelázquez, M., Hernández-Macías, B., López-Buenfil, J.A., Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J.M., Quezada-Salinas, A., & Ávila-Quezada, G. (2018). Organisms associated with damage to post-harvest potato tubers. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(2): 308-320 p.
- García-Estrada, R. S., Juárez, R. C., Carrillo, F. JA., Allende, M.R., Márquez, Z.I., Rangel, M., & Dolores, M. (2000). Marchitez bacteriana en Chile Bell causada por *Erwinia carotovora* subsp *carotovora*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 18 (2) 120- 124 p.

- Gerayeli, N., & Baghaee S. (2018). Evaluation of the antagonistic potential of *Bacillus* strains against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and their role in the induction of resistance to potato soft rot infection. *European Journal of Plant Pathology*, 150(4), 1049-1063. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1344-0>
- Glasner, J. D., Yang, C. H., Reverchon, S., Hugouvieux-Cotte-Pattat, N., Condemine, G., Bohin, J. P., ... Perna, N. T. (2008). Genome sequence of the plant-pathogenic bacterium *Dickeya dadantii* 3937. *Journal of Bacteriology*, 190(24), 8094–8100. <https://doi.org/10.1128/JB.00924-08>
- Gobierno de México. (2021). *Manejo fitosanitario de la papa*.
- González-León, Y., et al. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: microorganismos de interés biotecnológico para la agricultura sostenible. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, e520. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Goszczyńska, T., Serfontein, J.J., & Serfontein, S. (2000). Introduction to practical phyto bacteriology; a manual for phyto bacteriology
- Hauben, L., & Swings, J. (2015). *Erwinia*. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–19 p.
- Hauben, L., Moore, E.R., Vauterin, L., Steenackers, M., Mergaert, J., Verdonck, L., & Swings, J. (1998) Phylogenetic position of phytopathogens within the Enterobacteriaceae. *Syst Appl Microbiol*, 21(3): 384-97 p.
- Hernández, Y., Mejías, R., Madriz P., Paiva, B., & Rodolfo, P. (2019). Alternativas de control de *P. carotovorum* Jones, causante de la pudrición blanda de la papa. *Revista Facultad de Agronomía*, 45: 20-31 p.
- Huamán, Z. (1980). Botánica sistemática y morfología de la papa. (C. I. Papa, Ed.) *Boletín de Información Técnica* 6(6), 20.
- Huamán, Z. (junio de 1992). Botánica Sistemática y morfología de la Planta de Batata o Camote. (C. I. CIP, Ed.) *Boletín de Información Técnica* 25, 24. Obtenido de https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/botanica_camote.pdf

- Huamán., Z. (1986). Botánica Sistemática y Morfología de la Papa. (C. I. Papa, Ed.) Boletín de Información técnica, 23.
- I.N.I.A.1982. Ciclo de los cultivos agrícolas. 1ª edición. S.A.R.H., Mexico, D.F.
- INIA Chile. (2025). Ficha técnica sobre el tizón temprano del cultivo de papa. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Chile.
- Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (2009). Botánica y morfología de la papa. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias (193). Obtenido de file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/NR36476.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2018). *Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas*. ICA, Colombia.
- Intagri. (2016). *Manejo integrado de la paratrizoza (Bactericera cockerelli)*. INTAGRI.
- Islam, T., et al. (2024). *Antibiotic resistance in plant pathogenic bacteria: oxytetracycline and streptomycin relevance*. MDPI Plants, 13(8), 1135.
- Kang, Y. J., Kim, J. H., Lee, S. M., Kim, H. J., y Park, S. Y. (2023). *Bacillus velezensis* CE 100 suppresses soft rot disease caused by *Pectobacterium carotovorum* and promotes growth of cucumber plants. Frontiers in Microbiology, 14, 1221478. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1221478>
- Lamichhane, S. (2022). *Potato late blight caused by Phytophthora infestans: From molecular interactions to integrated management strategies*.
- Li, L., et al. (2019). *Comparative genomic analysis of Pectobacterium and insights into flagellar motility*. BMC Genomics. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5831-x>
- Luján L. C. 1996. La historia de la papa. Boletín de la Papa, Volumen 1, Número 2
- Luna-Rodríguez, M., Toledo-González, A., & Iglesias-Andreu, L.G. (2009). Identificación de enterobacterias causantes de pudriciones blandas en Cucurbita pepo L. en Veracruz, México. Revista Mexicana de Fitopatología 27:64-68 p.

- Mannan, M. A., Hossain, M. A., Ali, M. R., & Tasmin, R. (2004). Integrated Pest Management of Potato Cutworm, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel). *Pak. J. Sci. Ind. Res.*, 47(1), 56-59.
- Montaldo, A. (2010). Cultivo y mejoramiento de la papa. Ed. J Escobo B. San José CR. CIDIA - IICA. 681 p. (serie de libros y materiales educativas/IICA n° 54) Mondino, C.
- Montaldo, A. V. 1984. Cultivo y mejoramiento de la papa. Primera Edición. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. pag. 39-40.
- Morales, G. R. (2007). Distribución y variabilidad de *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, agente causal de la marchitez bacteriana en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L), en tres departamentos del norte de Nicaragua (Estelí, Matagalpa y Jinotega). Managua, Nicaragua.
- Morales-Márquez, M., Pérez-González, C., & López-Córdoba, R. (2025). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de Larrea tridentata sobre cepas bacterianas*. *Journal of Medicinal Plants*, 43(2), 124-136.
- Morales-Ubaldo, A. L., Rivero-Pérez, N., Ávila-Ramos, F., Aquino-Torres, E., Prieto-Méndez, J., Hetta, H. F., & Zaragoza-Bastida, A. (2021). *Bactericidal activity of Larrea tridentata hydroalcoholic extract against phytopathogenic bacteria*. *Agronomy*, 11(5), 957. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050957>
- Nguyen Trung Vu, Roh, E., Nguyen Thi, T., & Oh, C. S. (2022). *Antibiotic resistance of Pectobacterium Korean strains susceptible to the bacteriophage phiPccP-1*. *Research in Plant Disease*, 28(3), 166–171. <https://doi.org/10.5423/RPD.2022.28.3.166>
- OECD. 1997. Organisation for Economic Co-operation and Development. Consensus Document on the Biology of *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* (Potato).
- Okuyama, A., Machiyama, N., Kinoshita, N., & Tanaka, T. (1971). *Inhibition by kasugamycin of initiation complex formation on 30S ribosomes*. *Biochem Biophys Res Commun*.

- Panev, K., Arsov, E., & Mitrev, S. (2024). *Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum* - Causal Agent of Soft Rot of Peppers Produced in the Strumica Region. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, 22(2), 73-79.
- Parra-Cota, F. (2024). *Uso de Bacillus subtilis como biocontrolador para el manejo de patógenos bacterianos*. *Microbial Control*, 58(3), 257-269.
- Pasanen, M. (2020). Caracterización de *Pectobacterium* tensiones que causan blandura podredumbre y pata negra de la papa en Finlandia. (Tesis académica de la Facultad de Agronomía y Silvicultura) Universidad de Helsinki, 8-10 p.
- Pavitra, S., Yenjerappa, S. T., Amaresh, Y. S., Ajithkumar, K., Ashok, H., & Mahadevaswamy, (2025). *In vitro evaluation of chemicals and antibiotics against Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum causing soft rot*. *International Journal of Advanced Biochemistry*
- Pérez-Palma, R., González-Rivas, S., & Aguirre, J. (2019). *Evaluación de la actividad antimicrobiana del sulfato de cobre frente a cepas patógenas*. *Revista Mexicana de Ciencias*, 45(4), 113-120.
- Pérombelon M., & Kelman A. (1987). Blackleg and other potato diseases caused by soft rot *Erwinias*: Proposal for revision of terminology. *Plant Disease*, 71(3) 293-294 p.
- Pineda, C. R., & Hernández, C. E. (1996). Genética y mejoramiento de la papa. *Comunicaciones y Asociados Ltda*, págs. 57-69. Obtenido de <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-bac-20.500.12324>
- Pumisacho, & Sherwood. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. En I. Cip. Quito.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Puspita, J. N. *et al. Against Escherichia coli and Staphylococcus aureus*, IJMLST (2021).

- Rebollar-Rebollar, S. (2011). *Profitability of potato (Solanum tuberosum L.) crop in Mexico*. Revista TSA.
- Reinoso, P. Y., Romero, C. L., García, S. A., Gutiérrez, P. J., & Álvarez-Rivera, V.P. (2006). Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género *Bacillus* 51 antagonistas de *Pectobacterium carotovorum*. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, 10 (3), 187-191 p.
- Rezzonico, F., Stockwell, V. O., & Duffy, B. (2009). Plant agricultural streptomycin formulations do not carry antibiotic resistance genes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 53(7), 3173–3177. <https://doi.org/10.1128/AAC.00036-09>
- Şafrinet. 2000.-Manual for Phytopbacteriology Introduction to Practical Phytopbacteriology, Compiled by Gozzazynskot, T., J.J Serfontein and S Serfontein, Bacterial Disease Unit ARC Plant Protection Resecar 1ªed. Institute Pretoria South Africa 83 pag.
- Sapkota, A. (2022). *Esculin Hydrolysis Test: Principle, Procedure, Results, Uses*. MicrobeNotes.
- Schaad, N. W., Jones, J. B., & Chun, W. (2001). *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria* (3rd ed.). APS Press.
- SENASICA. (2021). *Manual técnico para el manejo fitosanitario del cultivo de la papa*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción agrícola de papa en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción de papa en México: Datos de producción, superficie y rendimiento al cierre de octubre de 2024*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>.
- Shen, Y., Li, Y., Wang, L., Wu, C., Su, X., & Tian, Y. (2025). *Carvacrol and Streptomycin in Combination Weaken Streptomycin Resistance in Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum*. Plants, 14(6), 908.

- Silva, A. S., Luz, J. M. Q., Tebaldi, N. D., & Morais, T. P. (2020). *Diversity of Pectobacterium strains by biochemical, physiological, and molecular characterization*. Bioscience Journal, 36(2), 316–323. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-46256>
- Singh, B., & Mitchison, D. A. (1955). The bactericidal activities of combinations of streptomycin, isoniazid, p-aminosalicylic acid (PAS), oxytetracycline (Terramycin) and viomycin against *Mycobacterium tuberculosis*. *Microbiology*, 13, 176.
- Stea, M. (2020). Sulfato de cobre pentahidratado: estructura, propiedades, usos. Obtenido de <https://www.lifeder.com/sulfato-de-cobre-pentahidratado/>
- Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: Structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, 56, 845–857. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). Guía de campo de cultivos andinos. (Primera Edición ed.). Lima, Perú.
- Terralia. (2016). COBRE 25%. SS Sulfato de cobre pentahidratado. Obtenido de https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_composition?composition_id=13411
- Tolga, K. C., Kiliç, S. M., Uçar, S., Canca, E., & Dikbaş, N. (2019). Isolation of *Pectobacterium carotovorum*, identification with 16s rna, phytase activity and characterization of the bacteria. Obtenido de <https://doi.org/10.21203/rs.2.18716/v1>.
- Torres-Bojórquez, A.I., Cervantes-Díaz, L., Núñez-Ramírez, f., Morales-Maza, A., & Samaniego-Gámez, B. Y. (2016). Primer reporte de *Pectobacterium* spp. asociada a *Opuntia ficus* en Baja California, México. IDESIA (Chile), 34 (4),69- 71.
- Toth, I. K., van der Wolf, J. M., Saddler, G., *et al.* (2003). Survival and spread of soft rot erwinias in soil and plant material. *Plant Pathology*, 52, 671–679.
- Uribe-Lorío, L., *et al.* (2024). *The susceptibility of some Pectobacterium carotovorum strains examined to antibiotics*. *Mexican Journal of Phytopathology*. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/257799726>

- Ustun, I., Erkan, M., & Celik, S. (2016). *Pectobacterium carotovorum*: Identification and characterization of biochemical traits. *Journal of Bacteriology*, 94(5), 874-880.
- Ustun, N., *et al.* (2016). *Biochemical tests on Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum: Report of negative reactions including levan production and others. Journal of Microbiological Methods.*
- Vallad, G. E. (2010). *Comparación de la actividad antimicrobiana de kasugamicina y otros bactericidas.* Plant Disease, 94(10), 1245-1252.
- Van, G. F., Van der Wolf, J. M., & Toth, I. K. (Eds.). (2021). Plant diseases caused by Dickeya and Pectobacterium species.
- Victoria, J. I. & Barros, O. (1969). Etiología de una nueva enfermedad del plátano (*Musa paradisiaca* L.) Y prueba de susceptibilidad de variedades del género *Musa*. *Acta Agronómica*, 19 (2), 89–104 p.
- Villanueva, J. (2017). *Producción y manejo del cultivo de la papa.* Editorial Académica.
- Villanueva, R. O. (2017). Manual del cultivo de papa para pequeños productores en la sierra norte del Perú. Lima: Graficoz Publicidad Eficaz.
- Xiong, C., Zhou, X., Tu, Y., Zhu, Y., Du, X., Li, K., & Liu, F. (2025). *Kasugamycin disrupts membrane transport and reduces virulence in Pectobacterium atrosearum to control konjac soft rot. Phytopathology Research*, 12(1).

8.- ANEXOS

Cuadro 6. Análisis de varianza de evaluación de los tratamientos contra *P. carotovorum* mediante la técnica de dilución en caldo

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	17	235.8592500	13.8740735	78.40	<.0001
Error	72	12.7410000	0.1769583		
Total corregido	89	248.6002500			

R-cuadrado: 0.948749

Coefficiente De variación: 12.35431

Media: 3.405000

Cuadro 7. Análisis de varianza de evaluación de los tratamientos contra *P. carotovorum* mediante la técnica de antibiograma

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	7	1544.2804	220.611485	447.34	<.0001
Error	40	19.726583	0.493165		
Total corregido	47	1564.00698			

R-cuadrado: 0.987387

Coefficiente De variación: 4.772185

Media: 14.71563

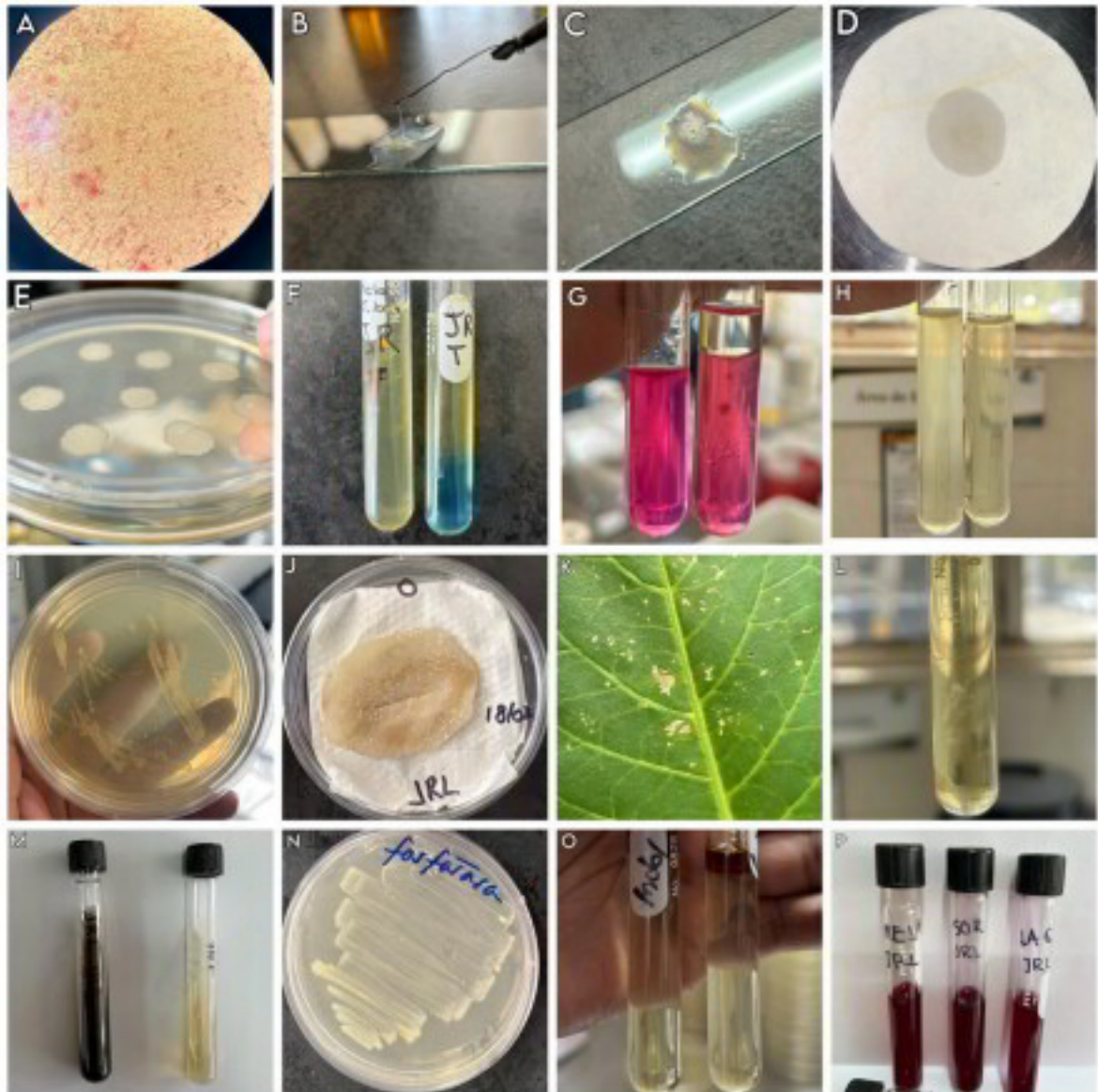


Figura 5. Resultados obtenidos en las pruebas empleadas para la caracterización de *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (*Pectobacterium carotovorum*), de acuerdo con lo descrito por Schaad *et al.* (2001). A) Tinción de Gram, B) Prueba de RYU, C) Prueba de Catalasa, D) Prueba de oxidasa, E) Prueba de Levana, F) Prueba de O/F, G) Prueba de Arginina, H) Prueba de Motilidad, I) Prueba de Crecimiento en 37°C, J) Prueba de Pudrición de Papa, K) Prueba de Hipersensibilidad al Tabaco, L) Prueba de Hidrólisis de Gelatina, M) Prueba de Hidrólisis de Esculina, N) Prueba de Producción de Fosfatasa, O) Prueba de Producción de Indol, P) Prueba de Producción de Carbohidratos.

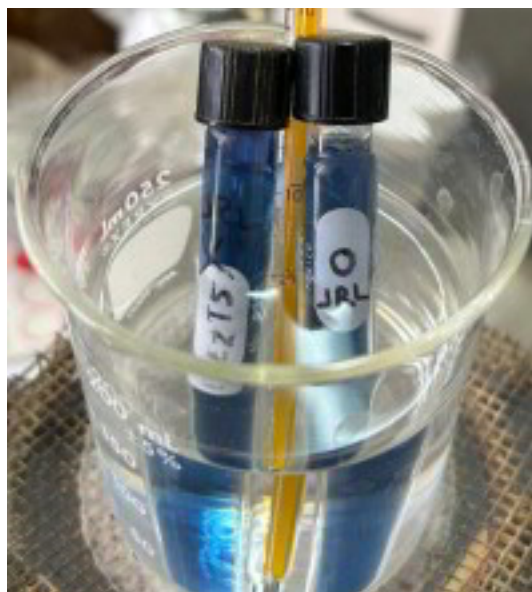


Figura 6. Resultado obtenido en la Prueba Reducción de sustancias de sacarosa