



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Soft rot in organic banana pseudostem (*Musa sp*): Symptomatology, cultural and biochemical characterization, pathogenicity, and management alternatives

Pudrición blanda en el pseudotallo de banano orgánico (*Musa sp*): sintomatología, caracterización cultural y bioquímica, patogenicidad y alternativas de manejo

René Aguilar-Ancotta^{1,*} ; Wilk R. Ruiz¹ ; Arturo Morales-Pizarro¹ ; Robert Rafael-Rutte² ; James Tirado-Lara³ ; Manuel Saucedo-Bazalar⁶ ; César Tuesta-Albán¹ ; Silverio Apaza-Apaza⁴ ; Kathia K. Teodor⁵ 

¹ Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura. Peru.

² Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Sector 3 Grupo 1A 03 (Av. Central y Av. Bolivar) Villa El Salvador C.P. 15834, Lima. Peru.

³ Universidad Nacional de Jaén, Jr. Cuzco N° 250, Pueblo Libre. Jaén - Cajamarca. Peru.

⁴ Universidad Nacional del Altiplano. Av. Floral 1153. Puno. Peru.

⁵ Universidad Tecnológica del Perú. Av. Vice, cuadra 1 - costado Real Plaza. Piura. Peru.

⁶ Plant BIOTEC SRL, Pasaje La Granja 112, Cabuyal, Tumbes. Peru.

* Corresponding author: raancotta@hotmail.com (R. Aguilar-Ancotta).

Received: 18 July 2021. Accepted: 21 November 2021. Published: 15 December 2021.

Abstract

The banana (*Musa sp.*) is a very important crop in the socioeconomic development of Peru. The soft rot disease has been causing economic losses. The objective was to isolate and identify the causal agent of soft rot in banana and to implement management alternatives. Bacteria were isolated from pseudostem with soft rot symptoms from 11 producing areas in the Chira Valley. The pathogenicity tests were carried on pseudostem segments and banana shoots. The eight isolates were culturally, morphologically and biochemically characterized: All isolates were Gram negative, rod-shaped, with peritrichous flagella and colonies formed deep cavities on crystal violet pectate (CVP) medium. Biochemical tests showed a positive catalase reaction, gelatin hydrolysis, glucose and lactose fermentation, and tolerance to NaCl 5%. However, on TSI (Triple Iron Sugar) medium and erythromycin sensitivity only isolates A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa and A10 reacted positively and isolates A6Q and A11Sal negatively. Growth at 28, 30, 36, 36, 37 and 45 °C was positive for all eight isolates, with the exception A6Q and A11Sal which did not develop at 45 °C. Cultural characteristics, biochemical and pathogenicity tests allowed to identify six isolates as *Pectobacterium chrysanthemi* and two as *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*. Disease management is based on the use of certified suckers, adequate fertilization, organic matter applications, biocontrol agents and weevil insect control.

Keywords: Identification; *Pectobacterium*; *Musa sp*; biochemical tests; soft rot.

Resumen

El banano (*Musa sp.*) es un cultivo muy importante en el desarrollo socioeconómico del Perú. La enfermedad de la pudrición blanda viene causando pérdidas económicas. El objetivo fue aislar e identificar el agente causal de la pudrición blanda en banano e implementar alternativas de manejo. Las bacterias fueron aisladas del pseudotallo con síntomas de pudrición blanda de 11 zonas productoras del valle del Chira. La prueba de patogenicidad se realizó en segmentos de pseudotallos y en hijuelos de banano. Ocho aislamientos fueron caracterizados cultural, morfológica y bioquímicamente: Todos los aislamientos tuvieron forma de bacilo, fueron Gram negativos, con flagelos peritricos y las colonias formaron cavidades en medio Cristal Violeta Pectato (CVP). Las pruebas bioquímicas mostraron una reacción positiva a la catalasa, hidrólisis de gelatina, fermentación de glucosa y lactosa, y tolerancia al NaCl 5%. Sin embargo, en medio TSI (Triple azúcar de hierro) y sensibilidad a la eritromicina solo los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa y A10 reaccionaron positivamente y los aislados A6Q y A11Sal negativamente. El crecimiento a 28, 30, 36, 37 y 45 °C fue positivo para los ocho aislados, a excepción de A6Q y A11Sal no desarrollaron a 45 °C. Las características culturales, pruebas bioquímicas y de patogenicidad permitieron identificar seis aislados como *Pectobacterium chrysanthemi* y dos como *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*. El manejo de la enfermedad se basa en el uso de hijuelos certificados, adecuada fertilización, aplicaciones de materia orgánica, agentes biocontroladores y control del insecto picudo.

Palabras clave: Identificación; *Musa sp*; *Pectobacterium*; pruebas bioquímicas; pudrición blanda.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.061>

Cite this article:

Aguilar-Ancotta, R., Ruiz, W. R., Morales-Pizarro, A., Rafael-Rutte, R., Tirado-Lara, J., et al. (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.

1. Introducción

El banano *Musa* spp (Musaceae) es un cultivo tropical perenne de rápido crecimiento, y constantes cosechas durante todo el año (Dadrasnia et al., 2020). Actualmente, este cultivo se produce en Asia (54,1%), América (25,5%), África (18,4%). El banano es un fruto muy popular en la alimentación humana, produciéndose en más de 135 países como; la India con 30 Millones de toneladas (Mtn), China (11 Mtn), Indonesia (7 Mtn), Brasil (6,8 Mtn) y Ecuador (6,5 Mtn) y Filipinas (6 Mtn) (FAO, 2019). En Perú, la variedad Cavendish es muy importante en el desarrollo socioeconómico del país con 15,000 hectáreas (ha) dedicadas al cultivo de banano orgánico, produciéndose significativamente en Piura, seguido de Lambayeque, Tumbes y La Libertad (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2019). Este cultivo se ve seriamente amenazado por las diferentes enfermedades bacterianas, que causan importantes pérdidas económicas, afectando de esta manera la cadena de productiva del banano (Dadrasnia et al., 2020), cabe resaltar, uno de los principales problemas que enfrentan los productores bananeros del valle del Chira, es la pudrición blanda del pseudotallo, produciendo el colapso y muerte de plantas. La pudrición blanda es causada por los géneros de Pectobacteriaceae; *Pectobacterium* y *Dickeya*, que se caracterizan por su agresividad y producción de síntomas, mediante degradación enzimática de la pectina de los tejidos vegetales afectando la firmeza tisular de las plantas (Hugouvieux-Cotte-Pattat et al., 2014). Las pectobacterias de la pudrición blanda, se encuentra en todos los continentes y frecuentemente en zonas en donde se cultivan sus hospedantes. Sin embargo, su diversidad e impacto económico depende en gran medida de la diversidad de los cultivos agrícolas, las condiciones agroclimáticas y de su interés comercial (Van der Wolf et al., 2021). Cabe mencionar que el cultivo de la papa se ve seriamente afectado por estas Pectobacterias, así también otros cultivos de interés comercial y económico como: maíz, arroz, y banano. Por otro lado, el gran interés comercial de estos cultivos ha permitido la dispersión y propagación de estas Pectobacterias en los diferentes nichos ecológicos en el mundo (Toth et al., 2021; Charkowski, 2018; Ma et al., 2007). En el banano se ha reportado la presencia de agentes bacterianos causantes de la pudrición blanda como; *Dickeya zeae* en China (Zhang et al., 2014), *D. paradisiaca* en América del Sur y Central (Blomme et al., 2017), *D. paradisiaca* y *P. carotovorum* en la India (Gokul et al., 2019), entre otros países. El 2009, en China se reportó la presencia de pudrición blanda causado por *D. zeae* ocasionando pérdidas hasta en un 82% de su rendimiento en la zona infectada, con una incidencia que osciló entre 20% al 70% llegando hasta un 90%, asimismo, provocó la muerte de plantas en campo una semana después de la aparición de síntomas (van der Wolf et al., 2021; Zhang et al., 2014). Actualmente, en la región Piura-Perú no hay información descrita, ni investigaciones sobre la situación de esta enfermedad, y dada la importancia por su valor económico y su aporte a la seguridad alimentaria se plantearon los siguientes objetivos; aislar e identificar el agente causal de la pudrición blanda en campos

bananeros del valle del Chira e implementar alternativas de manejo.

2. Materiales y métodos

2.1 Muestreo y recolección

Las muestras se obtuvieron de plantas de banano con síntomas de pudrición blanda en el pseudotallo procedentes de diferentes sectores del valle del Chira. Se extrajeron pequeños segmentos de tejido infectado, y se colocaron en bolsas de papel kraft. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional de Piura para su análisis. El valle del Chira - Piura se encuentra ubicado a una altitud de 60 msnm, con una temperatura media de 24,4 °C, 63,7% de humedad relativa y 110,3 mm de precipitación anual (Távora, 2020).

2.2 Aislamiento bacteriano

Se tomó una pequeña porción de tejido con síntomas de pudrición blanda, se introdujeron en tubos de ensayo conteniendo 10 mL de agua destilada estéril, dejando en reposo durante 10 minutos para asegurar la liberación de células bacterianas. Luego, se realizó diluciones sucesivas hasta 10^{-8} , y con ayuda de un asa de Kolle estéril se trazaron 4 líneas en placas de Petri con medio AN (agar nutritivo) e incubadas a 29 ± 1 °C durante 24 horas.

2.3 Características culturales, morfológicas y bioquímicas

Se evaluó las características: culturales en medio AN (Snehalatharani & Khan, 2010), morfológicas mediante: tinción simple, Gram, tinción de flagelos (Skerman, 1960), y se sometieron a pruebas bioquímicas convencionales como: pruebas de catalasa, actividad pectolítica, hidrólisis de gelatina (Dickey & Kelman, 1988), prueba de TSI (Triple Azúcar Hierro); fermentación de lactosa en medio McConkey, la sensibilidad a la eritromicina, crecimiento en AN conteniendo 5% de NaCl (Schaad et al., 2001), crecimiento a diferentes temperaturas en AN (Shrestha et al., 2005).

2.4 Pruebas de patogenicidad

2.4.1 En laboratorio *in vitro*

Se utilizó segmentos del pseudotallo de dos meses de edad, desinfectándose la parte externa con alcohol al 70% durante 30 segundos, además fueron inmersos en una solución de hipoclorito de sodio al 1,5% durante 3 minutos, posteriormente se lavó con agua destilada estéril. La inoculación se realizó en cortes en forma de "V" en el centro del tejido, adicionando 0,5 mL de suspensión bacteriana (3×10^8 UFC/mL) incubadas durante 24 horas (Llanos, 1967).

2.4.2 En invernadero *in vivo*

Se emplearon hijuelos sanos de tres meses de edad, sembrados en envases de 10 L de volumen conteniendo sustrato estéril en proporción 1:1 (arena de río, suelo agrícola). Los hijuelos fueron inoculados con $0,5$ mL de suspensión bacteriana (3×10^8 UFC/mL) incubadas durante 24 horas, a 10 cm de altura sobre el nivel del sustrato. El testigo se inoculó con agua destilada estéril (Llanos, 1967).

2.5 Prueba de virulencia en rango de hospedantes

Se utilizó zanahoria, cebolla y tubérculos de papa, lavados con agua potable e inmersos en una solución de hipoclorito de sodio al 1,5% durante 2 minutos, luego se enjuagaron con agua destilada estéril, y con ayuda de un bisturí estéril se realizó una incisión en el centro del fruto. Se inoculó con 0,5 mL de suspensión bacteriana (3×10^8 UFC/mL) incubadas durante 24 horas. El testigo se inoculó con agua destilada estéril (Llanos, 1967).

3. Resultados y discusión

3.1 Sintomatología

En Pseudotallo, los síntomas se inician con manchas necróticas blandas de aspecto húmedo en la zona del corte de las vainas externas del pseudotallo, avanza hacia la parte basal llegando a infectar entre 50% a 70% de la capa externa (Figura 1c) y como síntoma avanzado se observa pudrición acuosa de coloración marrón oscuro con olor fétido. A medida que transcurren los días, y en los meses de verano donde la temperatura máxima llega a 37 °C (enero a marzo) las plantas pierden vigor, las hojas del tercio inferior se muestran amarillentas, se necrosan y colapsan. La severidad de la enfermedad reduce el diámetro del fuste entre 12 a 15 cm respecto a las plantas sanas llegando a medir hasta 48 cm. (plantas infectadas)

afectando, de esta manera, el tamaño de la racima, número de dedos y su calidad (Figura 1a). Así mismo, al reducir el diámetro del pseudotallo sufre ruptura al no poder soportar el peso de la racima (Figura 1b), y a nivel de rizoma se observó pudrición acuosa de olor fétido (figura 1d). Las características de los síntomas descritos coinciden con Blomme et al. (2017) y Ordosgoitty et al. (1974), siendo probable que la bacteria llega a la parte interna del rizoma por el daño del picudo *Cosmopolites sordidus*.

Augura (1997) y Gokul et al. (2019) indican que la pudrición acuosa se extiende desde la parte superior e inferior hasta alcanzar la base de la vaina, y desde la parte externa hasta la interna del pseudotallo llegando a infestar hasta la parte interna de las vainas y rizoma, generando el colapso de la planta. La incidencia de la enfermedad es favorecida por diversos factores como alta densidad de plantas, riego por aspersión, deshierbos inoportunos, mala nutrición, falta de desinfección de las herramientas de trabajo (machete y/o cuchillas), napa freática alta y otros (Blomme et al., 2017). Rivera & Ezavin (1980) observaron síntomas adicionales en plantas "Cavendish" (AAA) como la pudrición de la vaina de color crema a marrón oscuro a nivel del suelo, y posterior la formación de una cavidad necrótica en el rizoma.



Figura 1. Sintomatología de pudrición blanda por *Pectobacterium chrysanthemi* en el cultivo de banana A) diámetro del fuste muy reducido y racima pequeña, B) ruptura del pseudotallo, C) pudrición necrótica y blanda en las capas externas del pseudotallo, D) pudrición acuosa en el del rizoma, daño del picudo (flecha roja).

3.2 Aislamientos bacterianos

Se aislaron y se codificaron 11 cepas bacterianas de los diferentes sectores y distritos del valle del Chira-Piura (Tabla 1).

Tabla 1

Codificación de aislados bacterianos de banano orgánico en el valle del Chira-Piura

Distritos	Sectores	Ubicación Geográfica		Código de los aislados
		Latitud	Longitud	
Marcavelica	Marcavelica	4° 53' 04" S	80° 42' 18" W	A1M
	Marcavelica	4° 53' 01" S	80° 42' 29" W	A2M
	Mallaritos	4° 52' 18" S	80° 43' 19" W	A3Ma
	Mallaritos	4° 52' 15" S	80° 43' 27" W	A4Ma
	Mallares	4° 51' 12" S	80° 45' 18" W	A5Mall
	Quinta	4° 50' 43" S	80° 43' 31" W	A6Q
	Vista Florida	4° 52' 24" S	80° 44' 04" W	A7VF
	Samán	4° 50' 07" S	80° 44' 58" W	A8Sa
	Samán	4° 49' 42" S	80° 44' 53" W	A9Sa
	Querecotillo	Querecotillo	4° 49' 59" S	80° 38' 58" W
Salitral	Salitral	4° 51' 29" S	80° 41' 09" W	A11Sal

3.3 Identificación

3.3.1 Características culturales y morfológicas

En medio de cultivo AN, las colonias presentaron: consistencia mucoso-brillante de color amarillo cremoso, forma circular, convexa con bordes enteros, estos rasgos son característicos del género *Erwinia* spp coincidiendo con las descritas por Agrios (1995). La tinción simple y Gram permitió observar la morfología de los aislados bacterianos que fueron forma de bacilo, coloración rojo perteneciente al grupo Gram negativo (-). Según **García (2000)**, indica que las bacterias Gram (-) no retienen el colorante cristal violeta Gram y se tiñen con facilidad con safranina Gram, debido a las escasas capas de peptidoglucano. La tinción de flagelos permitió observar su naturaleza peritrica, resultados similares obtuvo Brenner et al. (2005) indicando que las bacterias del género *Pectobacterium* se caracterizan por presentar flagelos peritricos.

3.3.2 Caracterización bioquímica

Todos los aislados bacterianos tuvieron una reacción positiva a la prueba de la catalasa, produciendo una reacción efervescente al agregar alícuotas de peróxido de hidrogeno (H₂O₂) (Figura 2a). Asimismo, **Ragavil et al. (2019)** reportan una reacción positiva en la prueba de la catalasa para el género *Pectobacterium*. La actividad pectolítica, se observó en la degradación y formación de hendiduras en la superficie del medio CVP (Cristal Violeta Pectato) (Figura 2b). Esta degradación evidencia la actividad de las especies pectinolíticas, permitiendo identificar el género *Pectobacterium* spp. = *Erwinia* spp.,

estos resultados coinciden con los obtenidos por **Cuppels & Kelman (1974)** en cuanto a la selectividad del medio CVP para aislar *Pectobacterium* spp. de plantas con presencia de pudrición blanda en tubérculos de papa. Para la hidrólisis de gelatina, la reacción fue positiva observando una consistencia acuosa a líquida de los aislados (licuefacción) (Figura 2c), resultados que coincide con lo reportado por **Schaad (2001)**, en la identificación de *P. carotovorum* y *P. chrysanthemi*. En medio de cultivo TSI (triple azúcar hierro) los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa y A10 se evidenció la presencia de dióxido de carbono (Figura 2d), sin embargo, en los aislados A6Q y A11Sal no se presentó. Resultados similares fueron obtenidos **Kado (2006)** citado por **Ragavil et al. (2019)** en medio de glucosa de extracto de levadura con carbonato de calcio (YGC) un medio específico para especies de *Pectobacterium*; que produce la segregación y liberación del carbonato como dióxido de carbono. En medio McConkey la reacción fue positiva para la colonia de aislados (A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa, A10, A6Q, A11Sal) los cuales tomaron una coloración rosada, indicando de esta manera la capacidad de fermentar lactosa (Figura 3a).

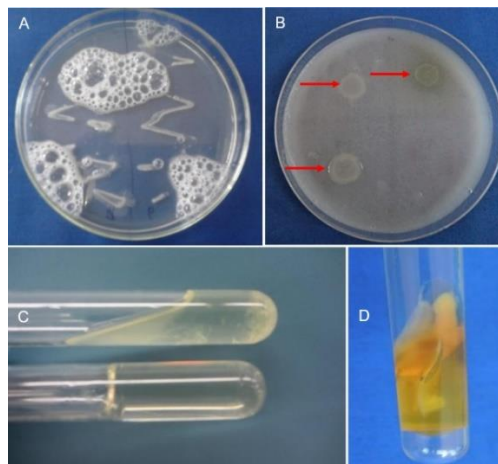


Figura 2. Caracterización bioquímica de aislados bacterianos: A) prueba de catalasa positiva por la presencia de burbujas efervescentes, B) presencia de hendiduras en la superficie del medio CVP, C) licuefacción del medio Gelatina Nutritiva con todos los aislados y D) presencia de gas en el fondo del medio TSI con los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa y A10Que.

3.3 Pruebas diferenciales

Sensibilidad a eritromicina. Los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa, A10, reaccionaron en forma positiva desarrollando halos de inhibición (Figura 3b), a diferencia de los aislados A6Q, A11Sal. Según **García (2000)**, *P. chrysanthemi* y *P. carotovorum* ssp. *atroseptica* son sensibles y desarrolla un halo inhibitorio frente eritromicina y *P. carotovorum* ssp. *carotovorum* no desarrolla el halo inhibitorio en presencia de eritromicina. Todos los aislados a 5°C mostraron un desarrollo negativo, no obstante, a 28, 30, 36, 37 y 45°C su desarrollo fue positivo para los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa, A10, a diferencia de los aislados A6Q y A11Sal a 45°C no mostraron desarrollo (Figura 3c y Tabla 2). **García (2000)** indica que *P. chrysanthemi* agente causal de la

podrición blanda y pierna negra en papa, se desarrolló a 28, 30, 35, 36, y 45°C, pero no entre 3 a 6°C; además reporta que *P. c. ssp. carotovorum* no se desarrolla a 3, 6 y 45°C a diferencia de *P. c. ssp. atroseptica* que muestra un desarrollo entre 3 a 6 °C. Todos los aislados mostraron ser tolerantes a NaCl presentando un desarrollo normal de la colonia (Figura 3d y Tabla 2). García (2000), indica también que *D. chrysanthemi*, *P. c. ssp. atroseptica* y *P. c. ssp. carotovorum* se desarrolla en forma normal en medios con NaCl 5%.

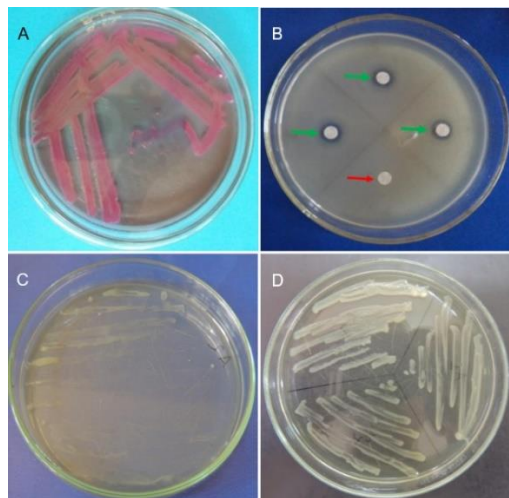


Figura 3. Pruebas diferenciales de los aislados: A) colonia de color rojo rosado en medio McConkey, B) halos de inhibición (flecha verde) con eritromicina en los aislados A2M, A3Ma, A5Mall, A7VF, A9Sa y A10, testigo (flecha roja) C) crecimiento de colonias a 45°C y D) desarrollo de colonias bacterianas en medio AN con 5% de NaCl.

3.4 Pruebas de patogenicidad

Los primeros síntomas *in vitro* e *in vivo* se observaron a los 3 días después de la inoculación (ddi) presentando manchas necróticas con aspecto húmedo en la zona de inoculación, avanzando hacia la parte superior e inferior de esta, cubriendo la capa externa e interna del pseudotallo, luego entre los 7 a 15 ddi los síntomas fueron más remarcados observando la necrosis, pudrición acuosa y el olor fétido del tejido (Figura 4). Resultados similares fueron obtenidos por Ordosgoitty et al. (1974), quienes reportan en el cultivo de plátano los síntomas iniciales de la pudrición 3 ddi, y 7 ddi la pudrición es más

remarcada, resultados que difieren de los obtenidos por Ragavil et al. (2019) y Thomas et al. (2008). En condiciones *in vivo*, los síntomas se presentaron 6 ddi, observándose una coloración amarillenta en hojas inferiores a superiores y a 16 ddi se presentó la pudrición completa del pseudotallo y con olor fétido.

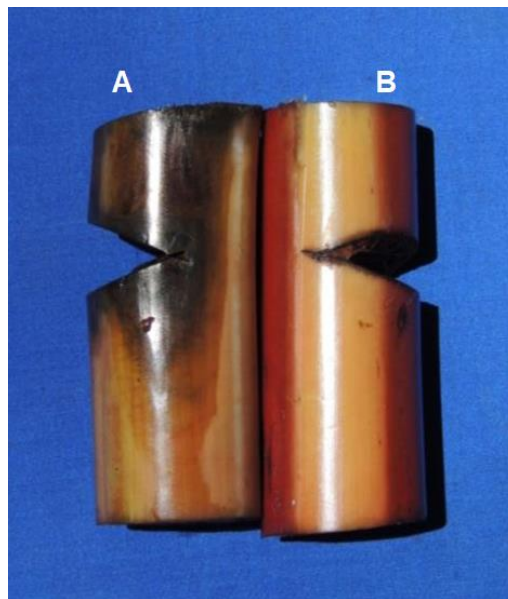


Figura 4. Patogenicidad en trozos de pseudotallo, A) se observa manchas necróticas de aspecto húmedo en la zona de inoculación, B) pseudotallo sano en el testigo.

Los síntomas de pudrición blanda en hospedantes como: tubérculos de papa, zanahoria (Figura 5) y en bulbos de cebolla, se observaron a los 2 ddi y 7 ddi los síntomas de pudrición fueron más remarcados junto a la emisión del olor fétido. Resultados similares fueron obtenidos por Nabhan et al. (2012) citado por Ragavil et al. (2019) en rodajas de papa y zanahoria inoculadas con las cepas bacterianas 2 a 7 ddi. Ragavil et al. (2019) registró un mínimo de 3 ddi para la pudrición completa en el tubérculo de la papa y 4 ddi para la pudrición de la zanahoria, con máximo de 5 a 7 ddi para este último, estos resultados difieren de los obtenidos por Doolotkeldieva et al. (2016) quienes observaron una pudrición completa de la zanahoria 14 ddi.

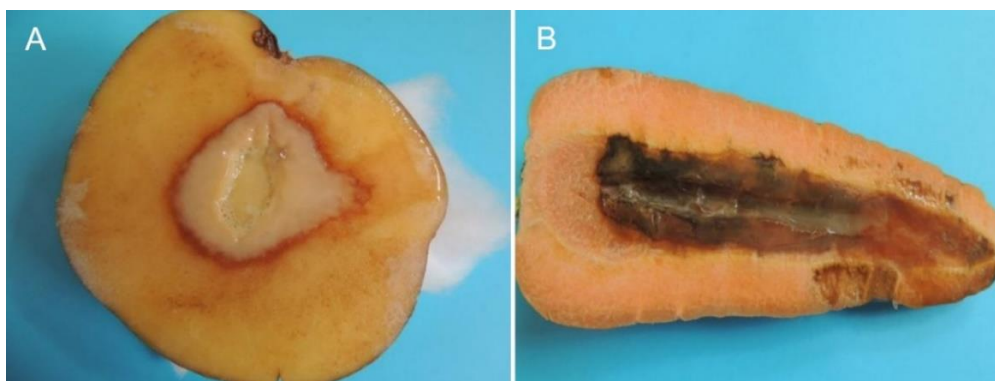


Figura 5. Síntomas de pudrición acuosa: A) en tubérculos de papa, B) en zanahoria.

Tabla 2

Resultados de las diferentes pruebas bioquímicas de los aislados bacterianos causantes de la pudrición blanda del banano

Reacciones bioquímicas	Cepas bacterianas								<i>P. carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	<i>P.</i> <i>chrysanthemi</i>
	A2M	A3Ma	A5Mall	A6Q	A7VF	A9Sa	A10Que	A11Sal		
Tinción Gram	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sensibilidad a eritromicina	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+
Tolerancia al NaCl 5%	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3-6 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 °C	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30 °C	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
36 °C	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
37 °C	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
45 °C	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+
Prueba de la catalasa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Degradación de pectatos (CVP)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hidrólisis de gelatina	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Formación de gas a partir de glucosa (TSI)	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+
Fermentadoras de glucosa y lactosa (TSI)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Fermentadoras de Lactosa (McConkey)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

3.5 Manejo integrado de pudrición blanda

El manejo de la enfermedad está basado en el uso de hijuelos certificados, buen drenaje en campo, corrección de deficiencias nutricionales, difusión de la etiología del patógeno y la enfermedad, aplicaciones de materia orgánica 20 t/ha, aplicaciones preventivas antes de los meses de verano sulfato de cobre granulado al voleo 5 kg/ha antes de los meses de verano (Aguilar-Ancotta et al., 2021; Teixeira et al., 2021). Haddad et al. (2018), Pegg et al. (2019), Martínez-Solórzano et al. (2020) mencionan que el Manejo Integrado de Enfermedades (MIE), busca garantizar la sanidad e inocuidad del cultivo realizando aplicaciones de enmiendas orgánicas, usando agentes de biocontrol para la supresión de los patógenos, coberturas vegetales (mejorarán las características físicas, químicas y biológicas del suelo, reducen pérdidas de agua de riego), la aplicación de fertilizantes inorgánicos apropiados mejoran los rendimientos y controlan plagas y enfermedades. En los últimos años, el uso irracional de agroquímicos ha impactado en forma negativa en el medio ambiente, salud de los seres vivos y en la económica, generando un interés en la búsqueda de alternativas armoniosas y respetuosas con el medio ambiente basados en el control biológico de enfermedades (Dadrasnia et al., 2020). Dita et al. (2018) citado por Aguilar-Ancotta et al. (2021) reportan que la aplicación de materia orgánica es esencial para la salud del suelo y supresión de patógenos, favoreciendo el desarrollo de microorganismos beneficiosos como *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* spp. entre otros. Dignam et al. (2019) citado por Aguilar-Ancotta et al. (2021) indican que los suelos supresivos a fitopatógenos poseen una mayor riqueza y diversidad de bacterias como *Bacillus* spp., *Chthonomonas* spp., *Pseudomonas* spp. y *Tumebacillus* spp. entre otros, remarcando sus

mecanismos de competitividad y antagonismo. Vargas (2017) con la aplicación de *B. subtilis* cepa QST713 y *B. pumilus* QST2808 obtuvo mayor efecto antagonista, disminuyendo en 80% de incidencia de la pudrición blanda en frutos de banano. Rao et al. (2017), observaron la supresión de vermicompost enriquecido con *B. subtilis* IIHR BS-2, en el desarrollo de enfermedades bacterianas, fúngicas y nematodos, así también, mejoró el rendimiento en el cultivo de zanahoria. La aplicación *B. subtilis* dirigida al suelo en el momento de la siembra demostró ser una alternativa prometedora en el control biológico de la pudrición del rizoma del banano (Rajamanickam et al., 2018). Se observó que *B. subtilis* MJMP2 produce compuestos lipopéptidos y metabolitos secundarios que poseen actividades antimicrobianas contra patógenos vegetales (Cheng et al., 2016). El uso de *B. amyloliquefaciens* KC-1 durante el período de crecimiento de las plantas es una estrategia eficaz para la prevención de la pudrición blanda en el cultivo de col china (Cui et al., 2019). Antagonistas *P. fluorescens* SC3, *P. parafulva* SC11 y *B. velezensis* tuvieron efecto inhibitorio sobre *D. zeae* y mejoraron el rendimiento del cultivo de banano (Li et al., 2020). Voisard et al. (1989) y Keswani et al. (2020) reportan a *P. fluorescens* habita en la rizósfera, y produce metabolitos secundarios 2,4-diacetilfloriglucinol, pioluteorina, pirrolnitrina, fenazinas y cianuro de hidrógeno e indican su efecto promotor de crecimiento (rizobacterias) en plantas, además, producen sideróforos contribuyendo a la supresión de enfermedades. A partir de *Bacillus* spp. endófitos se desarrolla biopesticidas para suprimir el desarrollo de enfermedades bacterianas de una manera ecológica (Sarangi & Ramakrishnan, 2017). Los compuestos a base de cobre (Cu) tienen efecto bactericida, liberando de forma lenta y constante el ion Cu^{2+} en contacto con el agua, siendo absorbidos por las

células bacterianas hasta que su acumulación resulta ser letal. Los cúpricos actúan por contacto y en manera preventiva, formando una barrera protectora en la superficie del tejido vegetal (Heck et al., 2019). La resistencia inducida con ácido salicílico a 1000 ppm promovió la inmunidad endógena contra *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*, e indujo el crecimiento vegetal, cumpliendo un papel importante en el manejo de la pudrición blanda del banano (Kalaivanan et al., 2020). La bacteria *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* es usado en el control de la pudrición blanda en patatas en Egipto (Marei et al., 2020). Fertilización adecuada y equilibrada, complementado con calcio (Ca) es el factor más importante para el control de enfermedades (Rahman & Punja, 2007; Aurivan et al., 2017). Fernández et al. (2013) compararon diversas medidas de MIE y concluyeron que la desinfección de herramientas con NaOCl (3,5%) reducen hasta en un 80% la enfermedad producida por *D. paradisiaca* en plátano. Así también, el control del agente diseminador y predisponente como el picudo (*C. sordidus*), reduce la incidencia de la enfermedad en campo (Blomme et al., 2017). Actualmente, se usan diferentes estrategias en el control del picudo. Rojas et al. (2019) reportan el uso trampas de pseudotallo + plátano maduro como atrayente, capturando un promedio 10,82 individuos por trampa. En Mallares y Salitral (Piura) con *B. bassiana* CCBLE- 265 causó el 70 % de mortandad de adultos del picudo (More, 1996).

4. Conclusiones

En banano, los síntomas observados en campo, *in vivo* e *in vitro* como manchas necróticas con aspecto húmedo de color marrón con olor fétido, son característicos de la pudrición blanda. Las características culturales, bioquímicas y pruebas de patogenicidad permitieron identificar seis aislados de la especie *Pectobacterium chrysanthemi* y dos aislados a *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*. El manejo de pudrición blanda se basa en el empleo hijuelos certificados, buen drenaje, fertilización balanceada, aplicaciones de materia orgánica 20 t/ha aplicaciones preventivas en los meses de noviembre y diciembre sulfato de cobre granulado al voleo 5 kg/ha, desinfección de herramientas de trabajo y control del picudo.

Descargos de responsabilidad

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Agradecimiento

Al Ing^o Manuel Ramos, por su apoyo en la obtención de muestras y movilidad.

ORCID

R. Aguilar-Ancocota  <https://orcid.org/0000-0002-3965-6096>
 W. R. Ruiz  <https://orcid.org/0000-0003-4723-267X>
 A. Morales-Pizarro  <https://orcid.org/0000-0003-3966-6689>
 R. Rafael-Rutte  <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>
 J. Tirado-Lara  <https://orcid.org/0000-0001-6626-957X>
 M. Saucedo-Bazalar  <https://orcid.org/0000-0003-0990-2484>
 C. Tuesta-Albán  <https://orcid.org/0000-0002-8239-6461>
 S. Apaza-Apaza  <https://orcid.org/0000-0003-1279-9342>
 K. K. Teodor  <https://orcid.org/0000-0003-3353-1820>

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Ancocota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256.
- Augura (1997). *Manual de labores en fincas bananeras*. Augura.
- Aurivan, S. de F., Edson, A. P., Adélia, A. A. P., María, G. de O. S., Humberson, R. S., & Cristian, D. P. P. (2017). Interaction between potassium (K) and calcium (Ca) on the severity of yellow sigatoka in banana plants. *African Journal of Agricultural Research*, 12(16), 1353-1361.
- Blomme, G., Dita, M., Jacobsen, K. S., Pérez, L., Molina, A., et al. (2017). Bacterial diseases of bananas and onset: current state of knowledge and integrated approaches toward sustainable management. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1290.
- Charkowski, A. O. (2018). The Changing Face of Bacterial Soft-Rot Diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 56(1), 269-288.
- Cui, W., He, P., Munir, S., He, P., He, Y., et al. (2019). Biocontrol of soft rot of chinese cabbage using an endophytic bacterial strain. *Front. Microbiol.* 10:1471.
- Cheng, J., Jaiswal, K. S., Yang, S. H., & Suh, J. W. (2016). Endophytic *Bacillus subtilis* MJMP2 from kimchi inhibits *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, the pathogen of rice bacterial blight disease. *J. Appl. Biol. Chem.* 59 (2), 149-154.
- Cuppels, D., & Kelman, A. (1974). Evaluation of selective media for isolation of soft-rot bacteria from soil and plant tissue. *Phytopathology*, 64(4), 468-475.
- Dadrasnia, A., Usman, M. M., Omar, R., Ismail, S., & Abdullah, R. (2020). Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32(4), 2336-2342.
- Dickey, R. S., & Kelman, A. (1988). *Erwinia "Carotovora" or soft rot group. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria* (2nd ed). *The American Phytopathological Society* (APS.Press).
- Dignam, B. E. A., O'Callaghan, M., Condron, L. M., Raaijmakers, J. M., Kowalchuk, G. A., & Wakelin, S. A. (2019) Impacts of long-term plant residue management on soil organic matter quality, *Pseudomonas* community structure and disease suppressiveness. *Soil Biology and Biochemistry* 135, 396-406.
- Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S., & Staver, C. P. (2018). *Fusarium* Wilt of Banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1468.
- Doolotkeldieva, T., Bobusheva, S., & Suleymankisi, A. (2016). Biological control of *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora* by streptomycetes species. *Advances in Microbiology*, 6(02), 104.
- FAO. (2019). Datos y cifras del banano. FAO 2019 [citado el 03 de marzo de 2021].
- García, R. (2000). Especies y subespecies de *Erwinia*, causantes de pudrición blanda y pierna negra en la papa cultivada, en el estado de Mérida - Venezuela. *Revista forestal venezolana*, 44(1), 107-114.
- Gokul, G. G., Louis, V., Namitha, P. M., Mathew, D., Girija, D., et al. (2019). Variability of *Pectobacterium carotovorum* causing rhizome rot in banana. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 60-81.
- Fernández, J., Chavarría, U., Brown, D., & Dita, M. A. (2013). Evaluación preliminar de tratamientos para el manejo de la pudrición por *Erwinia* sp. en plátano en Rivas, Nicaragua. In *Resúmenes del II Congreso Latinoamericano y del Caribe de Plátanos y Bananos, Armenia, Colombia. Maccaresse: Bioversity international*.
- Haddad, F., Rocha, L. S., Soares, A. C. F., Martins, I. P. S., Teixeira, L. A. J., et al. (2018). Management of *Fusarium* wilt of bananas in Minas Gerais, Brazil. In *X International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Agroecological Approaches to Promote Innovative Banana*, 1196, 137-146.

- Heck, D. W., Ghini, R., & Bettioli, W. (2019). Deciphering the suppressiveness of banana Fusarium wilt with organic residues. *Applied Soil Ecology*, 138, 47-60.
- Hugouvieux-Cotte-Pattat, N., Condemine, G., & Shevchik, V. E. (2014). Bacterial pectate lyases, structural and functional diversity. *Environmental Microbiology Reports*, 6(5), 427-440.
- Kado, C. I. (2006). *Erwinia* and related genera. *The prokaryotes*, 6, 443-450.
- Kalaivanan, R., Eraivan, K., Thiruvudainambi, S., Senthil, N., Beulah, A., & Harish, S. (2020). Chemical inducers in priming the induction of defense enzymes and phenols in banana and resistance to soft rot disease caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(05), 2806-2817.
- Keswani, C., Singh, H. B., García-Estrada, C., Caradus, J., He, Y., W., Mezaache-Aichour, S., et al. (2020). Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important bacteria as next-generation pesticides. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 104, 1013-1034.
- Llanos, C. (1967). Una nueva enfermedad del plátano en el Valle del Cauca: la bacteriosis. *Agricultura Tropical*, 23(12), 806-812.
- Li, J., Hu, M., Xue, Y., Chen, X., Lu, G., Zhang, L., & Zhou, J. (2020). Screening, identification and efficacy evaluation of antagonistic bacteria for biocontrol of soft rot disease caused by *Dickeya zaeae*. *Microorganisms*, 8(5), 697.
- Ma, B., Hibbing, M. E., Kim, H. S., Reedy R. M., Yedidia, I., et al. (2007). Host range and molecular phylogenies of the soft rot enterobacterial genera *Pectobacterium* and *Dickeya*. *Phytopathology*, 97(9), 1150-1163.
- Marei, E. M., Embaby, A. A., & El-Affifi, S. I. (2020). Controlling soft rot disease of potatoes caused by *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* via virulent bacteriophages. *J. of Agricultural Chemistry and Biotechnology, Mansoura Univ.*, 11(12), 345-351.
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2019). Exportaciones de banano orgánico superan los US\$ 117 millones hasta setiembre de este año, nota de prensa. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minagri/noticias/65980-exportaciones-de-banano-orga-nico>.
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. (2020). Marchitez por Fusarium raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259-276.
- More, V. L. (1996). Evaluación de *Beauveria bassiana* y nematodos entomopatógenos potenciales controladores biológicos del picudo del banano. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Piura. Perú.
- Nabhan, S., De Boer, S. H., Maiss, E., & Wydra, K. (2012). Taxonomic relatedness between *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *odoriferum* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasilense* subsp. nov. *Journal of Applied Microbiology*, 113(4), 904-913.
- Ordosgoitzy, F., Santos, P. R., & Haddad, G. O. (1974). La pudrición acuosa del pseudotallo del plátano y su presencia en tres regiones plataneras de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 24(4), 97-106.
- Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T., & Turner, D. W. (2019). The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. *Frontiers Plant Science*, 10, 1395.
- Ragavil, G., Muthamilan, M., Nakkeeran, S., Kumaravadeivel, N., Sivakumar, U., & Suganthi, A. (2019). Molecular detection of the causative agent of soft rot (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*) in banana (*Musa* sp.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(11), 1854-1868.
- Rao, M. S., Kamalnath, M., Umamaheswari, R., Rajinikanth, R., Prabhu, P., et al. (2017). *Bacillus subtilis* IHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot. *Sci. Hortic.* 218, 56-62.
- Rahman, M., & Punja, Z. K. (2007). Calcium and plant disease. En Datnoff L. E., Elmer, W. H., & Huber, D. M. (Eds.), *Mineral Nutrition and Plant Disease* (pp. 79-93). APS Press, Saint Paul, MN, EE. UU.
- Rajamanickam, S., Karthikeyan, G., Kavino, M., & Manoranjitham, S. K. (2018). Biohardening of micropropagated banana using endophytic bacteria to induce plant growth promotion and restrain rhizome rot disease caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Scientia Horticulturae*, 231(27), 179-187.
- Rivera, N. (1978). Estudio comparativo de dos nuevas enfermedades bacterianas en áreas plataneras de Cuba. *Agrotecnia de Cuba*, 10, 35-44.
- Rivera, N., & Ezavin, M. (1980). Necrosis del cormo del plátano causada por *Erwinia chrysanthemi*. *Ciencia Técnica en la Agricultura. Protección de plantas*, 18, 59-69.
- Rojas, R. J., Maldonado, V. C., Meza, Z. O., Lazo, R. Y., & Palacios, P. J. (2019). Uso de trampas con atrayentes para el monitoreo de *Cosmopolites sordidus* y *Metamasius* spp. en plátano barraganete. *Centro Agrícola*. Cuba.
- Sarang, T., & Ramakrishnan, S. (2017). Isolation of endophytic *Bacillus* spp. possessing antimicrobial properties. *Trends in Biosciences* 10(2), 457-461.
- Schaad, N. W., Jones, J. B., & Chun, W. 2001. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 373 p.
- Shrestha, R., Lee, S. H., Hur, J. H., & Lim, C. K. (2005). The effects of temperature, pH, and bactericides on the growth of *Erwinia pyrifoliae* and *Erwinia amylovora*. *Plant Pathology Journal*, 21(2), 127-131.
- Stover, R. H. (1972). Banana, plantain and abaca diseases. *Banana, plantain and abaca diseases*.
- Skerman, V. B. (1960). A guide to the identification of the genera of bacteria. *Academic Medicine*, 35(1), 92.
- Snehalatharani, A., & Khan, A. N. A. (2010). Biochemical and physiological characterisation of *Erwinia* species causing tip-over disease of banana. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 43(11), 1072-1080.
- Távora, H. M. (2020). *Efectos del cambio climático en la productividad del banano orgánico en el valle del Chira - Sullana - Piura*. Tesis de maestría. Universidad de Piura, Perú.
- Teixeira, L., Heck, D., Nomura, E., Vieira, H., & Dita, M. (2021). Soil attributes, plant nutrition, and Fusarium wilt of banana in São Paulo, Brazil. *Tropical Plant Pathology*. 1-12.
- Thomas, P., Swarna, G. K., Patil, P., & Rawal, R. D. (2008). Ubiquitous presence of normally non-culturable endophytic bacteria in field shoot-tips of banana and their gradual activation to quiescent cultivable form in tissue cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 93(1), 39-54.
- Toth, I. K., Barny, M. A., Brurberg, M. B., Condemine, G., Czajkowski, R., Elphinstone, J. G., & Yedidia, I. (2021). *Pectobacterium* and *Dickeya*: environment to disease development. In *Plant Diseases Caused by Dickeya and Pectobacterium Species* (pp. 39-84). Springer.
- van der Wolf, J. M., Acuña, I., De Boer, S. H., Brurberg, M. B., Cahill, G., Charkowski, A. O., & Yedidia, I. (2021). Diseases caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species around the World. In *Plant Diseases Caused by Dickeya and Pectobacterium Species* (pp. 215-261). Springer, Cham.
- Vargas, F. J. (2017). Evaluación de la efectividad de microorganismos antagonistas y modificación a la práctica de embolsado del racimo sobre la incidencia de la pudrición suave de frutos (*Erwinia chrysanthemi*) en banano (*Musa* sp.), en plantaciones de la zona Caribe de Costa Rica. Tesis de pregrado. Universidad de Costa Rica.
- Voisard, C., Keel, C., Haas, D., & Défago, G. (1989). Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *Embo J.* 8, 351-358.
- Zhang, J., Shen, H., Pu, X., Lin, B., & Hu, J. (2014). Identification of *Dickeya zaeae* as a causal agent of bacterial soft rot in banana in China. *Plant Disease*, 98(4), 436-442.