Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Estrategias alternativas para el control de la pudrición suave del fruto: antagonismo y modificaciones al embolse

José Pablo Vargas-Fernández[1]*, Edgar Valverde[2], Amy Wang-Wong[3], Miguel Muñoz-Fonseca[4]

[1]Escuela de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. [2]Corporación Bananera Nacional, La Rita, Pococí, Costa Rica. [3]Universidad de Costa Rica. Escuela de Agronomía. Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos. San José, Costa Rica. [4]Standard Fruit Company de Costa Rica, Depto. de Investigación y Desarrollo, Río Frío, Sarapiquí, Costa Rica

***Autor de correspondencia:** José Pablo Vargas-Fernández josepablo.vargasfernandez@ucr.ac.cr

***Contribución:** Artículo Científico

***Sección:** Fitosanidad

***Recibido**: 15 diciembre, 2025

***Publicado**: 30 abril, 2026

***Cita:** Vargas-Fernández JP, Valverde E, Wang-Wong A, Muñoz-Fonseca M. 2026. Estrategias alternativas para el control de la pudrición suave del fruto: antagonismo y modificaciones al embolse. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 125 https://doi.org/10.62498/ARTC.26125

RESUMEN

La Pudrición Suave del Fruto (PSF), causada por *Dickeya chrysanthemi,* es una enfermedad importante en banano, responsable de pérdidas económicas por deterioro y descarte de fruta. Su mayor incidencia ocurre en proyectos de renovación y depende de factores climáticos, prácticas culturales e insectos vectores. Tradicionalmente se ha manejado mediante medidas sanitarias y químicas, aunque con limitaciones económicas y ambientales. Este estudio evaluó estrategias alternativas basadas en microorganismos antagonistas y modificaciones al embolse del racimo para reducir la PSF. Se probaron dos formulaciones comerciales (*Bacillus subtilis* QST 713, Serenade®; y *Bacillus pumilus* QST 2808, Sonata®), aplicadas en distintas estructuras de la planta, y combinaciones de tipo y cierre de embolse. Los ensayos se realizaron en plantaciones comerciales de *Musa* AAA (cv. Gran Enano) en Río Frío, Guápiles y Valle de la Estrella (Costa Rica), durante periodos de baja y alta precipitación. En el periodo de baja precipitación, ambos biocontroladores redujeron significativamente la incidencia de la enfermedad, alcanzando disminuciones de hasta 68 %, especialmente cuando se aplicaron sobre la inflorescencia. En el periodo de alta precipitación, la reducción alcanzó hasta 82 %. Las modificaciones del embolse, como cierres temporales o doble embolse, redujeron la PSF hasta en 90 % durante el periodo de baja precipitación, aunque su eficacia disminuyó en condiciones de alta humedad. En conclusión, la integración de biocontroladores y prácticas culturales adaptadas al clima representa una alternativa sostenible y efectiva para el manejo de la PSF en banano.

Palabras clave: *Dickeya chrysanthemi*, Practicas agronómicas, *Bacillus* spp., Control biológico

ABSTRACT

Alternative strategies for the control of soft fruit rot: antagonism and bagging modifications. Soft Fruit Rot (SFR), caused by *Dickeya chrysanthemi*, is an important banana disease responsible for economic losses due to fruit decay and rejection. Its highest incidence occurs in plantation renovation projects and is influenced by climatic factors, cultural practices, and insect vectors. Traditionally, it has been managed through sanitary and chemical measures, although these present economic and environmental limitations. This study evaluated alternative strategies based on antagonistic microorganisms and modifications to bunch bagging to reduce SFR incidence. Two commercial formulations (*Bacillus subtilis* QST 713, Serenade®; and Bacillus pumilus QST 2808, Sonata®) were tested, applied to different plant structures, along with combinations of bagging type and closure duration. The trials were

Copyright: © 2026 por los autores. Licencia Acorbat Internacional. Este artículo es de acceso libre y distribuido bajo los términos de Acorbat Internacional

conducted in commercial plantations of *Musa* AAA (cv. Gran Enano) in Río Frío, Guápiles, and Valle de la Estrella (Costa Rica), during periods of low and high rainfall. During the low-rainfall period, both biocontrol agents significantly reduced disease incidence, achieving decreases of up to 68%, particularly when applied to the inflorescence. In the high-rainfall period, reductions reached up to 82%. Bagging modifications, such as temporary closures or double bagging, reduced SFR incidence by up to 90% during the dry period, although their effectiveness decreased under high humidity conditions. In conclusion, the integration of microbial biocontrol agents and climate-adapted cultural practices represents a sustainable and effective alternative for the management of SFR in banana.

Keywords: *Dickeya chrysanthemi,* Agriculture practices, *Bacillus* spp., Biological control

INTRODUCCIÓN

La Pudrición Suave del Fruto (PSF) es una enfermedad que deteriora la calidad del banano antes y después de la cosecha y causa pérdidas económicas significativas. El agente causal principal es *Dickeya chrysanthemi*, con participación de *Pectobacterium carotovorum*. Esta enfermedad se presenta con mayor frecuencia en plantaciones nuevas, donde la inversión inicial es alta, y provoca el descarte preventivo de fruta sana por la posibilidad de contaminación cruzada con exudados de frutos infectados (Vargas *et al.*, 2022). La incidencia de la PSF está influenciada por condiciones climáticas, prácticas culturales como la desflora (Guzmán *et al.,* 2017), la posible actividad de insectos vectores (Corby *et al.*, 2007) y la presencia de inóculo bacteriano en el campo. *D. chrysanthemi* es un habitante común de las plantaciones, capaz de sobrevivir en estigmas florales y en residuos de cosecha (Guzmán & Wang, 1998). Por ello, el periodo que inicia con el embolse y la manipulación de la inflorescencia, unas doce semanas críticas, constituye una ventana determinante para prevenir la enfermedad.

Las estrategias tradicionales de control, basadas en medidas sanitarias y culturales como la eliminación de residuos, la desinfección de herramientas y la prevención de lesiones durante la desflora (Martínez *et al.*, 2000), presentan limitaciones por su costo, complejidad y posibles efectos ambientales, por ello, se requieren alternativas complementarias. El embolse, práctica clave en la producción bananera, puede adaptarse para reducir el contacto del fruto con patógenos o sus vectores. Dado que *D. chrysanthemi* puede ser transmitida por insectos, estrategias como el doble embolse o el cierre temporal de la bolsa podrían disminuir la incidencia de PSF. Asimismo, los microorganismos antagonistas *Bacillus subtilis*, *B. pumilus* y *Pseudomonas fluorescens* constituyen una opción biológica prometedora para el control de *D. chrysanthemi* (Vargas *et al.*, 2022).

El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de dos formulaciones comerciales de microorganismos antagonistas, aplicadas en distintas estructuras de la planta y a la banda de fertilización, junto con modificaciones en el embolse del racimo, como estrategias para reducir la incidencia de la PSF.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se dividió en dos ensayos, la evaluación de la efectividad de formulaciones comerciales de microorganismos antagonistas (Ensayo I) y las modificaciones al embolse (Ensayo II). Ambos se llevaron a cabo en dos periodos: de semana 7 a 18 (≤ 100 mm/semana) y de semana 25 a 40 (≥ 100 mm/semana), en plantaciones renovadas de banano (*Musa* AAA, cv Gran Enano) de la empresa Standard Fruit Company de Costa Rica S.A. (Dole), ubicadas en Río Frío (Sarapiquí), Guápiles (Pococi) y Valle de la Estrella (Talamanca). Se trabajó con plantas en fase reproductiva o próximas a la emisión de la inflorescencia ("parición"). En ambos ensayos no se efectuaron inoculaciones artificiales de *D. chrysanthemi*; se aprovechó el inóculo natural presente en los lotes de renovación, donde la incidencia de la enfermedad era elevada.

En el Ensayo I, se evaluaron tres tratamientos en campo: un testigo sin aplicación (T1), Serenade® (T2) con *Bacillus subtilis* cepa QST 713 a 1 L ha^{-1} (1.0×10^{11} UFC ml^{-1}), y Sonata® (T3) con *Bacillus pumilus* cepa QST 2808 a 1 L ha^{-1} (1.0×10^{11} UFC ml^{-1}) de acuerdo con los resultados obtenidos por Vargas et al. (2022). En la inflorescencia, las formulaciones se aplicaron una vez con bomba de espalda Carpi® (boquilla 8002) después de la desflora y antes de bajar la bolsa, asperjando 0,1 L por inflorescencia sobre las manos. En la planta, la aplicación cubrió el pseudotallo, punto de inserción foliar y hojas, y la banda de fertilización, utilizando bomba de motor Solo® con un volumen total de 7 L por bloque (Figura 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Cada unidad experimental correspondió a una parcela de 625 m^2 (25 × 25 m), con una parcela útil de 400 m^2 y 80 plantas, bajo una densidad de 1524 plantas ha^{-1}. Entre parcelas se dispusieron dos hileras de borde para evitar la deriva de tratamientos.



Figura 1. Aplicación de formulaciones comerciales de microorganismos antagonistas para el control de la Pudrición Suave del Fruto (PSF). a) aplicación dirigida a la inflorescencia. b) aplicación dirigida a la planta y banda de fertilización.

En el Ensayo II, se evaluaron once tratamientos que combinaron tipo de bolsa y momento de desflora (Figura 2). El diseño experimental fue completamente al azar, con cuarenta repeticiones por tratamiento. Las plantas se distribuyeron aleatoriamente en parcelas de aproximadamente una hectárea, identificándose individualmente según número, repetición y tratamiento. En ambos ensayos, la incidencia de la Pudrición Suave del Fruto (PSF) se evaluó doce semanas después de aplicar los tratamientos, al cosechar los racimos de fruta en edad comercial. En cada racimo se contabilizaron los frutos enfermos para determinar la incidencia de la PSF (% PSF), y a partir de esta estimar la perdida comercializable (% Merma), considerando los 4 frutos adyacentes al fruto podrido, 1 fruto a cada lado y 2 en la parte inferior de la mano por contaminación con exudados, según la fórmula [% Merma = % PSF + (4 × % PSF)].

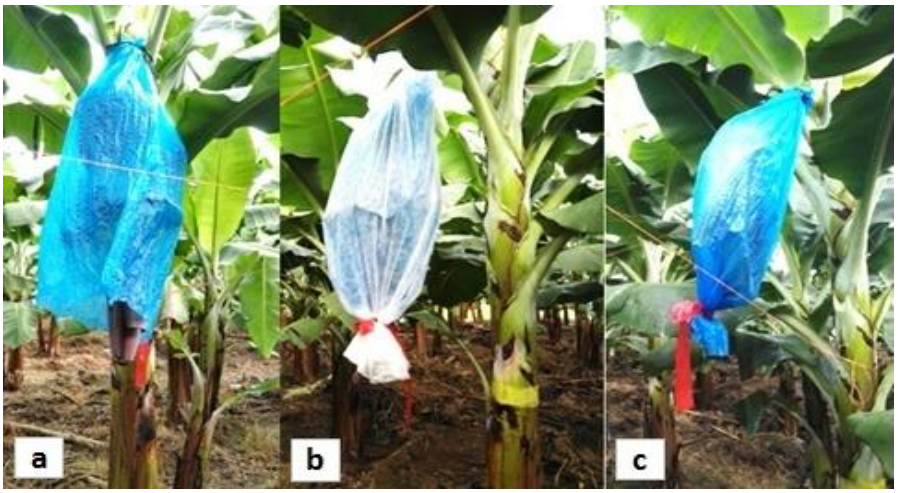


Figura 2. Modificaciones a la práctica de embolse. a) Tratamiento testigo, embolse comercial abierto con bolsa de polietileno azul de alta densidad (HDPE). b) Doble embolse con bolsa de polietileno azul de alta densidad y embolse agriban con bolsa blanca de tela de polipropileno (Agriban®). c. Embolse comercial cerrado con bolsa de polietileno azul de alta densidad (HDPE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de baja precipitación, la aplicación de *Bacillus pumilus* (Sonata®) y *Bacillus subtilis* (Serenade®) redujo la incidencia de la PSF en ambas localidades, aunque con distinta magnitud (Cuadro 2). En Río Frío y Valle de la Estrella, las aplicaciones dirigidas a la inflorescencia fueron las más efectivas, especialmente con *B. pumilus*, que logró disminuir la PSF entre 65 y 68 % respecto al testigo. En contraste, los tratamientos aplicados a la planta y la banda de fertilización mostraron reducciones menores, lo que sugiere que el sitio de aplicación influye en la colonización y persistencia del agente biológico aplicado. Estos resultados coinciden con Guzmán y Wang (1998), quienes atribuyen la dinámica de colonización bacteriana a las condiciones microambientales del tejido y su exposición al inóculo del patógeno.

Durante el periodo de alta precipitación, la eficacia de ambos biocontroladores se mantuvo o incluso aumentó, reduciendo hasta 82 % respecto al testigo. Tanto *B. pumilus* como *B. subtilis* mostraron buen desempeño, aunque con variaciones según el sitio de aplicación. Las aplicaciones a la inflorescencia lograron las mayores reducciones, posiblemente porque la humedad elevada favoreció no solo el desarrollo del patógeno, sino también el establecimiento de las bacterias benéficas, que ejercieron mecanismos de competencia y antibiosis. Esto concuerda con Morikawa (2006) y Beauregard *et al*. (2013), quienes destacaron la capacidad de *Bacillus* spp. para formar

biocapas protectoras y producir compuestos antimicrobianos en condiciones húmedas. Además, las diferencias observadas entre tratamientos pueden atribuirse a los mecanismos de acción específicos: *B. subtilis* produce lipopéptidos cíclicos que alteran las membranas bacterianas e interfieren en el "quórum sensing" de *Erwinia chrysanthemi*, mientras que *B. pumilus* genera aminoazúcares y biofilms que bloquean la colonización del patógeno (Morikawa 2006).

Cuadro 2. Efecto de dos biocontroladores *Bacillus pumilus* (Sonata®) y *Bacillus subtilis* (Serenade®) en el % Merma por Pudrición Suave del Fruto (PSF) en función de la forma de aplicación y la época de precipitación en Río Frío y Valle de la Estrella.

		Baja precipitación		**Alta precipitación**	
		Inflorescencia	Planta y banda de fertilización	Inflorescencia	Planta y banda de fertilización
RF	T1 Testigo	2,85*	1,90	3,80	2,20
	T2 *B. pumilus*	1,40	1,25	0,70	1,00
	T3 *B. subtilis*	2,40	1,25	0,90	1,15
VE	T1 Testigo	3,30	1,05	2,70	1,65
	T2 *B. pumilus*	1,15	0,45	1,60	0,50
	T3 *B. subtilis*	2,10	0,30	1,10	0,70

RF: Río Frío. VE: Valle de la Estrella. *% merma por PSF.

Durante el periodo de baja precipitación, las modificaciones al embolse redujeron la incidencia de la PSF en las fincas evaluadas. En Río Frío, el cierre temporal del embolse sin desflora fue la estrategia más efectiva, evidenciando la importancia del aislamiento físico para impedir el ingreso de vectores como dípteros y otros insectos asociados a la transmisión de *Erwinia chrysanthemi*. De manera similar, en Valle de la Estrella, los tratamientos con cierre prolongado del embolse (hasta 12 semanas) disminuyeron la incidencia en más del 90 %, lo que confirma que el cierre del HDPE actúa como una barrera eficiente para el control del patógeno, coincidiendo con lo reportado por Barrera *et al.* (2008), quienes destacaron el papel del embolse cerrado en la protección del racimo frente a agentes infecciosos externos.

No obstante, durante la época de alta precipitación, la efectividad de estas modificaciones se redujo notablemente. En Guápiles, los tratamientos con embolse cerrado o doble embolse presentaron incidencias elevadas de PSF, probablemente debido al aumento de la humedad y la temperatura dentro del racimo, condiciones que favorecen la proliferación y dispersión de *Erwinia* spp. (Guzmán y Wang 1998). Así, mientras el embolse cerrado o doble embolse puede funcionar como una estrategia cultural eficaz en periodos secos, en ambientes húmedos podría generar un microclima favorable para el patógeno. Por ello, se recomienda ajustar su implementación a las

condiciones climáticas locales e integrarla dentro de un manejo cultural adaptativo que considere la interacción entre el hospedero, el patógeno y los factores ambientales que determinan la incidencia de la PSF.

Cuadro 3. Efecto de las modificaciones en el embolse y la desflora en el % Merma por Pudrición Suave del Fruto (PSF) en tres localidades bajo condiciones contrastantes de precipitación

	Baja precipitación		Alta precipitación
	RF	VE	G
T1 EmbCom abierto + desflora	2,83*	2.00	2.30
T2 EmbCom abierto - desflora	0,90	ND	ND
T3 EmbAgrib abierto + desflora	1,60	ND	ND
T4 EmbAgrib C 2 sem - desflora	0.40	ND	ND
T5 EmbCom C 2 sem + desflora	1.90	0.90	1.50
T6 EmbAgrib C 2 sem + desflora	ND	0.40	4.00
T7 EmbCom C 2 sem - desflora	0.80	ND	ND
T8 EmbCom C 4 sem + desflora	ND	1.45	4.10
T9 EmbAgrib C 4 sem + desflora	ND	0.50	2.40
T10 EmbCom C 12 sem + desflora	ND	0.25	2.20
T11 EmbAgrib C 12 sem + desflora	ND	0.50	2.00

*% merma por PSF. EmbCom: embolse comercial con bolsa de polietileno azul de alta densidad (HDPE). & EmbAgrib: embolse agriban con bolsa blanca de tela de polipropileno (Agriban®). C: número de semanas que se cerró la bolsa. RF: Río Frío. VE: Valle de la Estrella. G: Guápiles. ND: No hay datos disponibles.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que el manejo de la Pudrición Suave del Fruto (PSF) debe ajustarse a las condiciones climáticas de cada época del año para garantizar su efectividad. Durante la época seca, las aplicaciones dirigidas a la inflorescencia de las formulaciones de *Bacillus subtilis* (Serenade®) y *Bacillus pumilus* (Sonata®), acompañadas de modificaciones al embolse que limiten el ingreso de vectores, como el cierre temporal del embolse o la implementación de un doble embolse, mostraron una reducción en la incidencia de la enfermedad. Estas prácticas representan alternativas viables y sostenibles que pueden ser fácilmente incorporadas al manejo preventivo del cultivo bajo condiciones de menor humedad. Por el contrario, en la época lluviosa, el aumento de la humedad relativa y la temperatura dentro del embolse favorecieron el desarrollo del patógeno y disminuyeron la eficacia de estas mismas estrategias.

REFERENCIAS

Barrera J, Carolina D, José O. 2008. Contribución del desmane y embolse del racimo a la producción y calidad del plátano Hartón. Agronomía (Manizales) 15(1): 39-44.

Beauregard P, Chai Y, Vlamakis H, Losick R, Kolter R. 2013. *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 110 (17): 1621-1630.

Corby V, Pontaroli A, Shimkets L, Bennetzen J, Habel K, Promislow D. 2007. Geographical distribution and diversity of bacteria associated with natural populations of *Drosophila melanogaster*. Applied and Environmental Microbiology 73(11): 3470-3479.

Guzmán M, Wang A. 1998. Descripción de los síntomas, identificación del agente causal y determinación de la fuente de inóculo de la pudrición suave del dedo en banano (*Musa* AAA). CORBANA 23(50):109-124

Guzmán M, Villalta R, Martínez I. 2017. Relación entre la desflora en el campo del racimo de banano (*Musa* AAA, cv. Grande Naine) y la pudrición bacteriana suave del dedo. CORBANA 37-43(63):47-61,

Martínez I, Villalta R, Guzmán M. 2000. Plegable divulgativo Nº. 2: Pudrición suave del dedo de banano (*Pectobacterium carotovorum* Waldee). Costa Rica, Corporación Bananera Nacional. 2 p.

Morikawa M. 2006. Beneficial biofilm formation by industrial bacteria *Bacillus subtilis* and related species. Journal of Bioscience and Bioengineering 101(1): 1-8.

Vargas Fernández JP. 2022. Identification of banana soft rot associated microorganisms and *in vitro* evaluation of microbiological and chemical control alternatives. Agronomía Costarricense, 46(2), 45–58. https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52046