

Efecto de coadyuvante a base de almidón de yuca en los procesos de maduración y pudrición de banano Cavendish

Juan Diego Diaz-Ochoa¹, José Felipe Bejarano¹, Andrés Mauricio Pinzón-Núñez², Sebastián Zapata-Henao²,
Mónica Patricia David-González², Gloria Marcela Pérez-Ochoa², Ariel Mauricio Vaca-Bohorquez¹, Felipe
Salcedo-Galán^{1*}

¹Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, Bogotá 111711, Colombia. ²Centro de Investigaciones del Banano CENIBANANO-AUGURA, Carepa-Antioquia 057850, Colombia.

***Autor de**

Correspondencia:

Felipe Salcedo-Galán
fsalced@uniandes.edu.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Tecnología de Postcosecha

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Diaz-Ochoa JD, Bejarano
JF, Pinzón-Núñez AM,
Zapata-Henao S, David-
González MP, Pérez-Ochoa
GM, Vaca-Bohorquez AM
y Salcedo-Galán F. 2024.

Efecto de coadyuvante a
base de almidón de yuca en
los procesos de maduración
y pudrición de banano

Cavendish. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*

1(1): 73

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2473

RESUMEN

El banano es una de las frutas tropicales más comercializadas a nivel mundial, sin embargo, las enfermedades fúngicas en postcosecha, como la pudrición de la corona, causan pérdidas importantes a los exportadores. En ese contexto, desarrollamos un recubrimiento a base de almidón de yuca que permite la incorporación de agentes antifúngicos, como también, la prolongación de la vida verde de la fruta. Estas formulaciones mostraron un efecto antifúngico en condiciones *in vitro* e *in vivo* reduciendo en un 60% la concentración de los fungicidas tradicionales para el control de la enfermedad y a su vez, prolongando la vida verde de la fruta.

Palabras clave: recubrimiento, postcosecha, manejo, vida verde, antifúngico.

ABSTRACT

Banana is one of the most traded tropical fruits worldwide, however, postharvest fungal diseases, such as crown rot, cause significant losses to exporters. In this context, we developed starch-based water-soluble coatings that regulate fruit ripening and incorporate antifungal agents. These formulations showed an antifungal effect *in vitro* and *in vivo* conditions, reducing the concentration of traditional fungicides by 60% to control the disease and, in turn, prolonging the green life of the fruit.

Keywords: coating, postharvest, management, green life, antifungal.



INTRODUCCIÓN

El banano es una de las frutas con mayor importancia económica y alimenticia en el mundo. Esta fruta tropical se encuentra entre las más producidas, consumidas y comercializadas globalmente, siendo la variedad Cavendish (*Musa AAA*) la de mayor importancia económica, pues representa cerca de la mitad del total de exportaciones globales de banano, con un promedio anual de 50 millones de toneladas por año (FAO, 2022). En el 2021, Colombia se ubicó como el quinto mayor exportador de banano generando 892 millones de dólares (AUGURA, 2022).

Según Odetayo *et al.* (2020), las principales limitaciones en el rendimiento productivo del cultivo de banano son las enfermedades fitosanitarias en precosecha; sin embargo, durante la comercialización, el fruto se ve afectado por factores bióticos y abióticos, altas precipitaciones y el desarrollo inadecuado en las actividades periódicas como el transporte, empaque y almacenamiento, causando pérdidas que varían entre el 10% y el 80%. En ese sentido, la pudrición de corona es conocida como una de las enfermedades postcosecha que ha generado mayores pérdidas económicas, llegando hasta el 30%, lo anterior se atribuye a los agentes causales de la enfermedad *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. (Lassois y de Bellaire, 2014). El tratamiento con fungicidas y las buenas prácticas agrícolas (BPA) han sido efectivos, sin embargo, estas moléculas cada vez son más reguladas por su impacto sanitario y medioambiental, como es el caso del Imazalil, Thiabendazol y Azoxystrobin que desde el 2020 sus LMR (límite máximo residual) disminuyeron a 0,01, 6 y 2 ppm respectivamente para la unión europea (Benavides y Yoshioka, 2022), destino del 70% de exportaciones del banano colombiano (AUGURA, 2022).

En ese contexto, los recubrimientos funcionales, son una alternativa como tratamiento postcosecha, ya que además de sus resultados en el retardo de la maduración mediante su efecto barrera capaz de regular gases, humedad y aportar propiedades mecánicas, también permiten la incorporación de agentes activos antioxidantes y/o antimicrobianos (Thakur *et al.*, 2019; Jodhani y Nataraj, 2021; Lundgren *et al.*, 2021; Odetayo *et al.*, 2022). Bajo la misma filosofía de ofrecer una alternativa integradora y de baja toxicidad, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de un recubrimiento de almidón de yuca modificado, capaz de incorporar agentes activos, en busca de la reducción del uso de fungicidas y la prolongación de la vida útil de la fruta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Para el ensayo se utilizaron racimos de banano (*Musa AAA*) Cavendish en etapa de cosecha de 11 semanas. Los racimos fueron obtenidos de la finca Trapiche ubicada en la región del Urabá Antioqueño.

Preparación de suspensión fúngica. Las cepas de los hongos patógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., obtenidas del cepario de Augura-Cenibanano fueron activadas en placa de Petri en Agar Papa Dextrosa (PDA) con 150 ppm de sulfato de estreptomicina (SE) y dispuestas a una temperatura de 27°C durante 7 días. Posteriormente, se procedió a preparar las suspensiones fúngicas mediante un hematocimetro (Neubauer, Alemania) a una concentración de 5×10^5 conidios/mL para obtener una suspensión final de inoculación de 1×10^6 conidios/mL.

Preparación del coadyuvante. Se prepararon dos formulaciones, matriz de almidón modificado (MET1) y matriz más extracto vegetal (MET2). Las formulaciones MET fueron preparadas a una concentración de 0.016 p/v. Los fungicidas se manejaron a dos concentraciones reducidas: 40 % y 20 % respecto a la concentración de la mezcla usada tradicionalmente (thiabendazol 396 ppm + azoxystrobin 300 ppm) (Cuadro 1).

Evaluación *in vitro* contra agentes patógenos. El experimento se realizó por triplicado tomando como unidad experimental una caja de petri. La suspensión de conidios diluida 3 veces (1×10^3 conidios/mL) se utilizó como inóculo, en una relación 1:1 (v/v) entre la formulación MET y el inóculo, siendo este 100µL. Seguidamente, se incubaron por 48 horas y se realizó el conteo de colonias.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados *in vitro*.

Id	Tratamientos	Inoculación	Concentración de fungicidas (respecto al tradicional)	MET	Agentes Activos
T1	Control +	X	100%	-	-
T2	Control reducido	X	40%	-	-
T3	Control -	X	-	-	-
T4	MET1+2.5R	X	40%	X	-
T5	MET1+5R	X	20%	X	-
T6	MET2	X	-	X	X
T7	MET2+2.5R	X	40%	X	X
T8	MET2+5R	X	20%	X	X

Evaluación *in situ*. Basándose en los resultados *in vitro*, para la evaluación *in situ* se usaron las formulaciones de MET1 y MET2 con una concentración reducida al 40 % de fungicidas. Las variables de respuesta manejadas fueron la severidad de pudrición de corona, la firmeza de la cáscara y los sólidos solubles totales (SST). Se consideraron variables controladas las condiciones de la cava (Humedad relativa y Temperatura) y la presión de patógenos. Por otra parte, la exposición al etileno se consideró como variable no controlada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados *in situ*.

Id	Tratamientos	Inoculación	Concentración de fungicidas (respecto al tradicional)	MET	Agentes Activos
T1	Control +	-	100%	-	-
T2	Control -	X	-	-	-
T3	MET1	-	40%	X	-
T4	MET1+I	X	40%	X	-
T5	MET2	-	40%	X	X
T6	MET2+I	X	40%	X	X
T7	BC-1000	-	-	-	-
T8	BC-1000+I	X	-	-	-

La fruta se recibió después del proceso de desmane y deslatex, posteriormente en la misma finca se aplicaron los tratamientos correspondientes: inoculación con 200µL de la suspensión de conidios de patógenos con concentración de 1x10⁶ conidios/mL; aplicación mediante aspersión de 150 mL de tratamiento por caja; empaquetado y traslado a la cava. Una vez en la cava se mantuvo en condiciones controladas de 15±1 °C y 90 % de humedad relativa durante 20 días, después de lo cual se procedió a realizar la inducción de maduración mediante aplicación de etileno durante 5 días hasta las mediciones de las variables de respuesta.

Análisis estadístico. El análisis de los datos se realizó haciendo uso del software libre R (versión 4.2.2) (R Core Team, 2022). Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los test de Shapiro-Wilk y Bartlett de la librería stats. El análisis de firmeza se basó en un ANOVA ONE-WAY, seguido del test para comparaciones múltiples LSD (diferencia mínima significativa) de Fisher, igualmente presente en la librería stats. Dada la no normalidad de las otras variables fueron analizadas mediante el test no paramétrico Kruskal-Wallis de la librería agricolae. En todas las pruebas estadísticas se mantuvo una confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación *in vitro*. Las unidades formadoras de colonias de *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., fueron contadas pasadas las 48 horas de incubación, obteniendo los resultados evidenciados en la figura 1. Los tratamientos T2, T5, T6 Y T8, no presentaron diferencias significativas cuando fueron comparadas con el control negativo (T3). Por el contrario, las formulaciones MET1 Y MET2 más la concentración al 40 % de fungicidas, T4 y T7 respectivamente, presentan en promedio una respuesta similar al control positivo. Sin embargo, el T7 no se diferencia estadísticamente del control negativo (T3). De igual manera, se observa que al incorporar los fungicidas a la misma concentración en formulaciones MET (al menos en MET1, tratamiento 4) se obtiene una mejor respuesta respecto a solo mezclarlos en agua (T2).

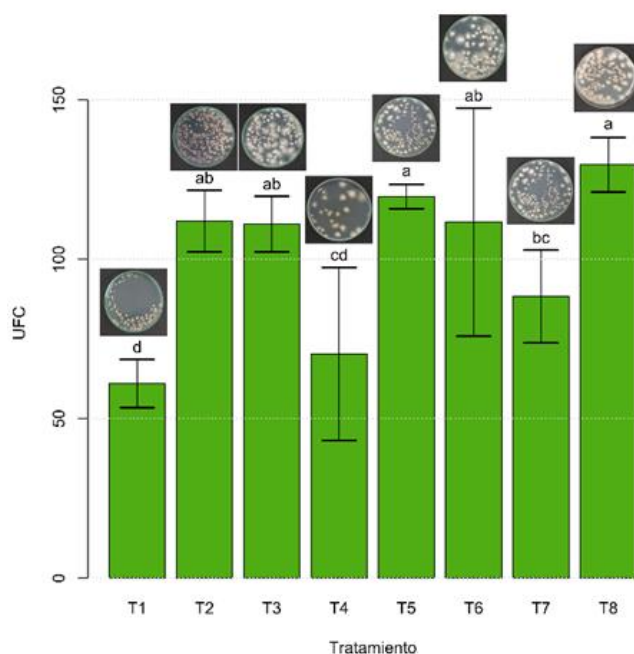


Figura 1. Número de colonias formadas (UFC) en cada tratamiento (los valores mostrados corresponden a la media $\pm$ SD, n = 3; Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Evaluación *in situ*. Las evaluaciones in situ se realizaron a los 25 días posteriores al ingreso en cava, con aplicación de etileno para inducción de maduración a los 20 días figura 2. De forma consistente con lo obtenido *in vitro*, los controles presentaron efectos esperados significativamente diferentes, con mayor grado de severidad en el

control negativo (75 % en promedio) y baja en el positivo (<10 %). Toda la fruta tratada con coadyuvante MET más una concentración de fungicidas al 40 % presento el mismo efecto que el control positivo, el cual se mantiene aún con en la fruta inoculada (Figura 3).

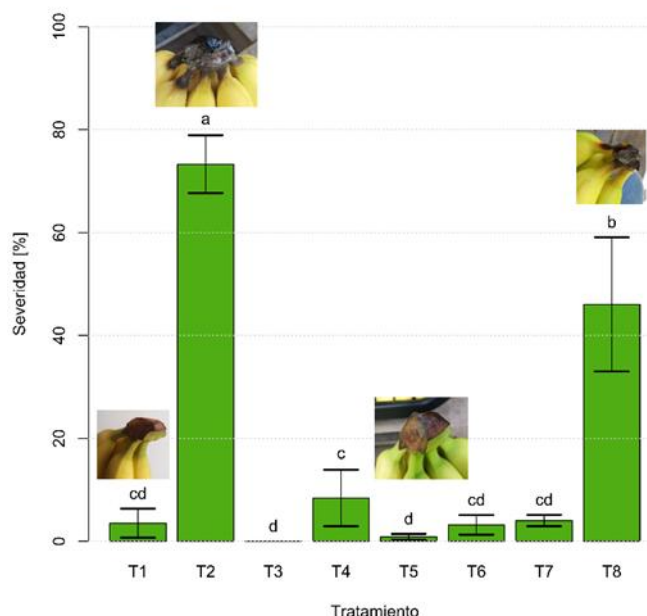


Figura 2. Porcentaje de severidad de pudrición de corona. Las imágenes corresponden a la representación de una pseudorepetición o cluster de banano (Los valores corresponden a la media $\pm$ SD, n = 5; Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Por otra parte, en cuanto a las pruebas de sólidos solubles totales (SST), solo las formulaciones MET presentan un contenido de SST significativamente menor frente al control negativo (T2). Sin embargo, al comparar con el tratamiento convencional (T1) el único efecto significativamente diferente es MET2 inoculado con la suspensión fúngica (T6), evidenciando °Brix más bajos que el resto de los tratamientos. Esta respuesta no se evidenció en ninguna de las otras formulaciones usadas, pues no hubo diferencia de °Brix entre la fruta con o sin presión de patógenos (Figura 3A). Por el contrario, para la evaluación de firmeza, se observa que las frutas inoculadas artificialmente con la suspensión fúngica, genera una disminución significativa en firmeza, evidenciado cuando se comparan frente al control positivo (T1) (Figura 3B).

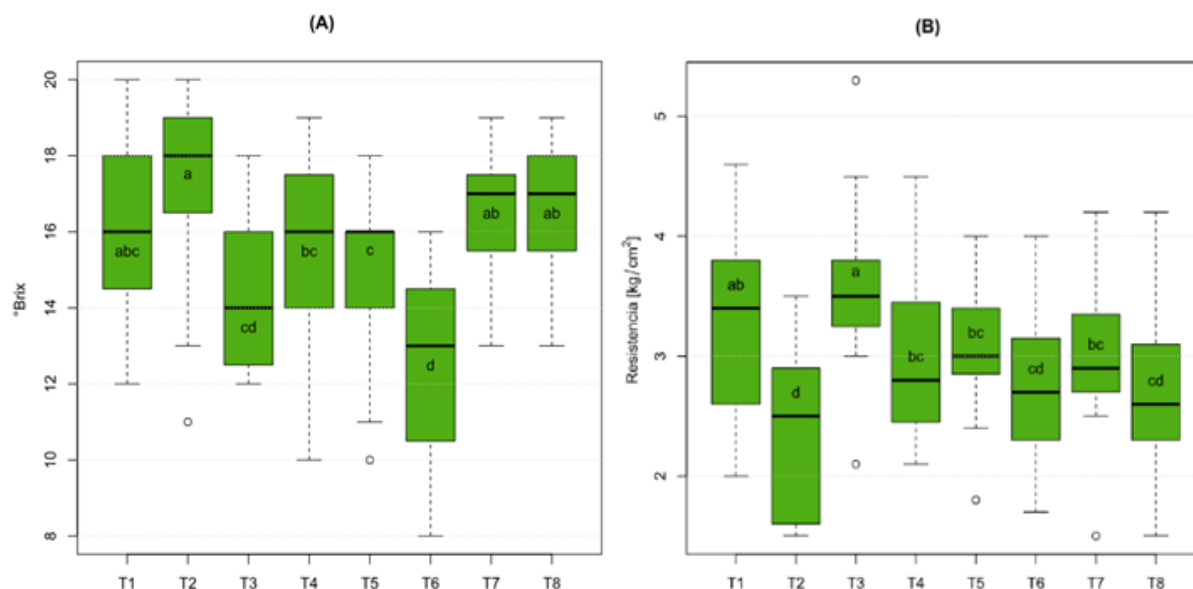


Figura 3. Evaluación in situ de Solidos Solubles Totales (SST/°Brix) y Firmeza. **A.** Solidos Solubles Totales (SST/°Brix), **B.** Firmeza. (n=15, Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Los SST guardan una relación directa con el grado de maduración del banano, caso contrario acontece con la firmeza de la fruta. En ese sentido, Los SST representados por °Brix aumentan con la maduración debido a que las reservas de almidón de la fruta se degradan en azúcares solubles, y la firmeza disminuye principalmente por la pérdida de agua y la actividad de enzimas asociadas a la maduración que modifican los polisacáridos de la pared celular y generan un ablandamiento de la cáscara (Yahia, 2018). En ese contexto, los resultados obtenidos en el presente trabajo presentan variaciones considerables, atribuibles posiblemente a la exposición no homogénea al etileno, es evidente una tendencia de la fruta tratada con formulaciones MET a tener un retardo en la maduración.

CONCLUSIONES

La inclusión de los recubrimientos MET a base de almidón modificado como coadyuvantes postcosecha presentan una alternativa que permite la reducción de fungicidas mientras aportan un efecto aparente de retardo de la maduración. En esta evaluación se evidenció que la incorporación de thiabendazol y azoxystrobin reducidos en la matriz MET permite controlar la enfermedad pudrición de corona causada por *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., en condiciones simuladas de embarque, con un

efecto al tratamiento convencional. De igual manera, se evidenció una prolongación de la vida verde de la fruta según los resultados de SST, firmeza y grado de maduración observado. Efecto no presente en el tratamiento convencional ni en el orgánico.

REFERENCIAS

1. AUGURA. (2022). Coyuntura Bananera 2021. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf>
2. Alvindia, D. G. (2012). Revisiting hot water treatments in controlling crown rot of banana cv. Buñgulan. *Crop Protection*, 33, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.09.023>
3. Benavides Matínez, Á., & Yoshioka Tamayo, I. C. (2022). ACTUALIDAD DE MOLÉCULAS DE SÍNTESIS QUÍMICA PARA USO EN EL CULTIVO DE BANANO.
4. E. M. Yahia. (2018). *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*. Elsevier, 1-476. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04653-3>
5. Lassois, L., & Bellaire, L. D. L. de. (2014). Crown Rot Disease of Bananas. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00003-X>
6. Jodhani, K. A., & Nataraj, M. (2021). Synergistic effect of Aloe gel (Aloe vera L.) and Lemon (Citrus Limon L.) peel extract edible coating on shelf life and quality of banana (Musa spp.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2318-2328. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00822z>
7. Lundgren, G. A., et al. (2021). Antifungal effects of Conyza bonariensis (L.) Cronquist essential oil against pathogenic Colletotrichum musae and its incorporation in gum Arabic coating to reduce anthracnose development in banana during storage. *Journal of Applied Microbiology*, 00, 1. <https://doi.org/10.1111/jam.15244>
8. Odetayo, T., Sithole, L., Shezi, S., Nomngongo, P., Tesfay, S., & Ngobese, N. Z. (2022). Effect of nanoparticle-enriched coatings on the shelf life of Cavendish bananas. *Scientia Horticulturae*, 304, 111312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111312>
9. R Core Team. (2022). R version 4.2.2 (Innocent and Trusting). R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>