Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Evaluación del coadyuvante Exxsol ™ D145 con una baja concentración de surfactantes sobre la eficacia de fungicidas en cultivos de plátano

Fabrina Gomes[1*], Nan Hu[2], Caterina Tran[3]

[1]Customer & Application Developer, Exxonmobil; Brazil; [2]Market Developer, Exxonmobil; USA. [3]Customer & Application Developer, Exxonmobil; USA

Autor de correspondencia:
Fabrina Gomes
fabrina.gomes@exxonmobil.com

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 diciembre, 2025
Publicado:
30 abril, 2026

Cita:
Gomes F, Hu N, Tran C. 2026. Evaluación del coadyuvante Exxsol™ D145 con una baja concentración de surfactantes sobre la eficacia de fungicidas en cultivos de plátano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 110 https://doi.org/10.62498/ARTC.26110

RESUMEN

La industria agroquímica enfrenta el desafío de optimizar las formulaciones para mejorar la eficiencia y, al mismo tiempo, reducir el impacto ambiental. Los surfactantes desempeñan un papel fundamental en la mejora del desempeño de los ingredientes activos; sin embargo, su uso en concentraciones elevadas puede incrementar los costos de formulación y generar riesgos ecológicos, especialmente cuando se emplean etoxilatos de nonilfenol (NPE). En este estudio se desarrolló una formulación nueva de coadyuvante que incorpora Exxsol D145, un aceite mineral, y una baja dosis de surfactantes libres de NPE. El coadyuvante fue evaluado en combinación con diferentes fungicidas en cultivos de plátano, con el objetivo de determinar su eficacia en la protección contra la Sigatoka Negra (*Pseudocercospora fijiensis*). Los resultados preliminares indican una excelente estabilidad de emulsión y una mejora significativa en el desempeño de los fungicidas, lo que sugiere una alternativa más sostenible y eficiente para el manejo de esta enfermedad.

Palabras clave: Coadyuvante, Agroquímico, Sigatoka

ABSTRACT

The agrochemical industry faces the challenge of optimizing formulations to improve efficiency while simultaneously reducing environmental impact. Surfactants play a fundamental role in enhancing the performance of active ingredients; however, their use at high concentrations can increase formulation costs and generate ecological risks, especially when nonylphenol ethoxylates (NPEs) are used. In this study, a novel adjuvant formulation was developed incorporating Exxsol D145, a mineral oil, and a low dose of NPE-free surfactants. The adjuvant was evaluated in combination with different fungicides on banana crops to determine its efficacy in protecting against Black Sigatoka (*Pseudocercospora fijiensis*). Preliminary results indicate excellent emulsion stability and a significant improvement in fungicide performance, suggesting a more sustainable and efficient alternative for managing this disease.

Keywords: Adyuvant, Agrochemical, Sigatoka

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

INTRODUCCIÓN

Las bananas se encuentran entre las frutas más cultivadas, consumidas y comercializadas del mundo, sirviendo como una fuente alimentaria vital y un pilar económico, con exportaciones globales que superaron los 19,5 millones de toneladas en 2024 (FAO, 2025); sin embargo, su producción se ve gravemente amenazada por la Sigatoka Negra (*Pseudocercospora fijiensis),* una enfermedad foliar que puede causar pérdidas significativas de rendimiento si no se maneja adecuadamente (Arango Isaza RE *et al*., 2016). Los fungicidas siguen siendo el tratamiento principal para controlar esta enfermedad. Mientras tanto, se requieren coadyuvantes para la aplicación de los fungicidas. Los surfactantes son componentes esenciales en las formulaciones agroquímicas porque mejoran la dispersión, humectación y penetración de los ingredientes activos (ACS, 2025). No obstante, concentraciones elevadas de surfactantes pueden aumentar los costos de formulación y plantear riesgos ecológicos, particularmente cuando se basan en etoxilatos de nonilfenol (NPE), los cuales se consideran ambientalmente persistentes, bioacumulativos, disruptores endocrinos, tóxicos para la vida acuática y regulados a nivel mundial (U.S. Environmental Protection Agency, 2010). Para abordar estos desafíos, se desarrolló una nueva formulación de coadyuvante que incorpora aceite mineral Exxsol D145, combinado con una baja dosis de surfactantes libres de NPE. El emulsionante seleccionado para este estudio fue un etoxilato de alcohol graso, elegido por su compatibilidad y rendimiento. Además, no se encontró fitotoxicidad durante la aplicación del material en los tratamientos. Se caracterizaron algunas propiedades fisicoquímicas del coadyuvante, incluyendo rango de carbono, residuo no sulfonado, contenido de azufre, contenido aromático y punto de fluidez. Este coadyuvante formulado se evaluó en combinación con diferentes fungicidas en cultivos de banano para tratar la Sigatoka Negra (*Pseudocercospora fijiensis*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en La Rita, Guápiles, provincia de Limón, Costa Rica, en la región del Caribe. Se utilizaron plantas de segunda generación de *Musa* AAA cv. Grande Naine propagadas por cultivo de tejidos. Cada unidad experimental consistió en nueve plantas de banano dispuestas en formato de parcela, con plantas de borde de *Musa textilis* (variedad tolerante a la Sigatoka Negra) para minimizar la propagación de la enfermedad entre tratamientos.

Se implementó un diseño completamente aleatorizado con tratamientos replicados tres veces. El experimento comprendió dos fases: (i) evaluación de la estabilidad de la emulsión y (ii) evaluación en campo del control de la enfermedad.

Para las pruebas de estabilidad de emulsión (i), los tratamientos incluyeron aceite mineral Exxsol™ D145 a 7,0 L·ha⁻¹ combinado con fungicidas curativos, y aceite mineral Exxsol D145 a 2,0 L·ha⁻¹ combinado con un fungicida protector.

Los fungicidas curativos evaluados fueron spiroxamina (0,4 L·ha⁻¹), fluxapyroxad (0,4 L·ha⁻¹), fenpropidin (0,6 L·ha⁻¹), difenoconazol (0,4 L·ha⁻¹), pyrimetanil (0,5 L·ha⁻¹) y fenpropimorf (0,7 L·ha⁻¹). Todas las mezclas incluyeron el fungicida protector mancozeb (1,94 L·ha⁻¹) y un surfactante (alcohol graso etoxilado) al 1 % del volumen de aceite.

Se preparó una mezcla de 250 mL para cada prueba, manteniendo proporciones equivalentes a una aplicación comercial de 23 L·ha⁻¹. Secuencia de mezclado:

a) Aceite + emulsionante (3 min de agitación)

b) 50 % de agua (3 min de agitación)

c) Fungicida (3 min de agitación)

d) Agua restante (3 min de agitación)

La agitación se realizó con un agitador eléctrico IKA RW-20 a 800 rpm.

La estabilidad de la emulsión se evaluó a los 0, 15, 30, 45 y 60 minutos utilizando una escala de tres puntos como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Escala de tres puntos para estabilidad de la emulsión.

Grado	Definición
1	Emulsión estable
2	Emulsión inestable sin separación y recupera la estabilidad con leve agitación
3	Emulsión inestable con separación irreversible

Para la prueba de control de enfermedades en campo (ii), los tratamientos incluyeron:

• Aceite Exxsol D145 solo (7,0 L·ha⁻¹)

• Programa comercial de fungicidas (CP) utilizando Exxsol D145 a 5,0–7,0 L·ha⁻¹ dependiendo del tipo de fungicida sistémico y 3,0 L·ha⁻¹ para el fungicida protector

• Control sin tratamiento

Los programas comerciales incluyeron los siguientes fungicidas: fungicidas sistémicos (fluxapyroxad, fenpropidin, difenoconazol, spiroxamina, fenpropimorf, pyrimetanil, epoxiconazol) y protector (mancozeb) según las condiciones climáticas. Las aplicaciones se realizaron utilizando un soplador motorizado calibrado para

entregar 23 L·ha^{-1}, simulando condiciones de aplicación aérea. El programa comercial se llevó a cabo según el cronograma en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aplicación del programa comercial.

Aplicación nº	Semana	Fecha	Fungicida
1	35	2-Sep-23	Fluxapyroxad + Mancozeb
2	36	9-Sep-23	Fenpropidin + Mancozeb
3	37	16-Sep-23	Mancozeb
4	38	21-Sep-23	
5	39	27-Sep-23	
6	40	6-Oct-23	Difenoconazole + Mancozeb
7	41	13-Oct-23	Spiroxamine + Mancozeb
8	42	19-Oct-23	Mancozeb
9	43	25-Oct-23	
10	44	31-Oct-23	
11	45	7-Nov-23	Fenpropimorph + Mancozeb
12	46	14-Nov-23	Pyrimethanil + Mancozeb
13	47	20-Nov-23	Mancozeb
14	47	25-Nov-23	
15	48	2-Dec-23	
16	49	9-Dec-23	Epoxiconazole + Mancozeb

La severidad de la Sigatoka Negra se evaluó semanalmente utilizando la escala de Stover modificada por Gauhl, como se describe en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Escala de Stover modificada por Gauhl.

Grado	Descripción
0	Sin síntomas de la enfermedad
1	Estrías hasta un máximo de 10 manchas
2	11 manchas hasta 5% del área foliar
3	6-15 %
4	16-33 %
5	34-50 %
6	Más de 50 %

Las evaluaciones comenzaron cuando la primera hoja tratada alcanzó la cuarta posición y continuaron cada 7 días hasta dos semanas después de la última aplicación. Las variables registradas incluyeron la hoja más joven infectada (YLI), la hoja más joven con manchas (YLS) y la severidad de la enfermedad; este artículo se centra en la severidad promedio.

El análisis estadístico se realizó con el programa INFOSTAT, utilizando una prueba de comparación múltiple (Tukey) para cada parámetro. Para el análisis estadístico, los parámetros evaluados se transformaron en Área bajo la curva (AUC). AUC es una operación matemática que representa la suma de cada parámetro evaluado entre dos fechas de evaluación, multiplicada por los días entre las evaluaciones, como la Ecuación 1:

Ecuación 1 AUC

$$[(X_{\text{semana n}} + X_{\text{semana n+1}})/ 2] * \text{Days}_{\text{semana n – semana n+1}}$$

RESULTADOS

Los resultados preliminares indican una excelente estabilidad de emulsión (Cuadro 4) y una mejora significativa en el desempeño de los fungicidas (Figura 1), lo que sugiere una alternativa más sostenible y eficiente para el manejo de esta enfermedad.

Cuadro 4. Resultado de estabilidad de emulsión.

Fungicide 1	Fungicide 2	Oil	0'	15'	30'	45'	60'
1.94 L/ha Mancozeb	--	2.0 L/ha oil	1	1	1	2	2
	0.4 L/ha Spiroxamine	7.0 L/ha oil	1	1	1	2	2
	0.4 L/ha Fluxapyroxad		1	1	1	2	2
	0.6 L/ha Fenpropidin		1	1	1	2	2
	0.4 L/ha Difenoconazol		1	1	1	2	3
	0.7 L/ha Fenpropimorph		1	1	1	2	2
	0.5 L/ha Pyrimethanil		1	1	1	2	2

.

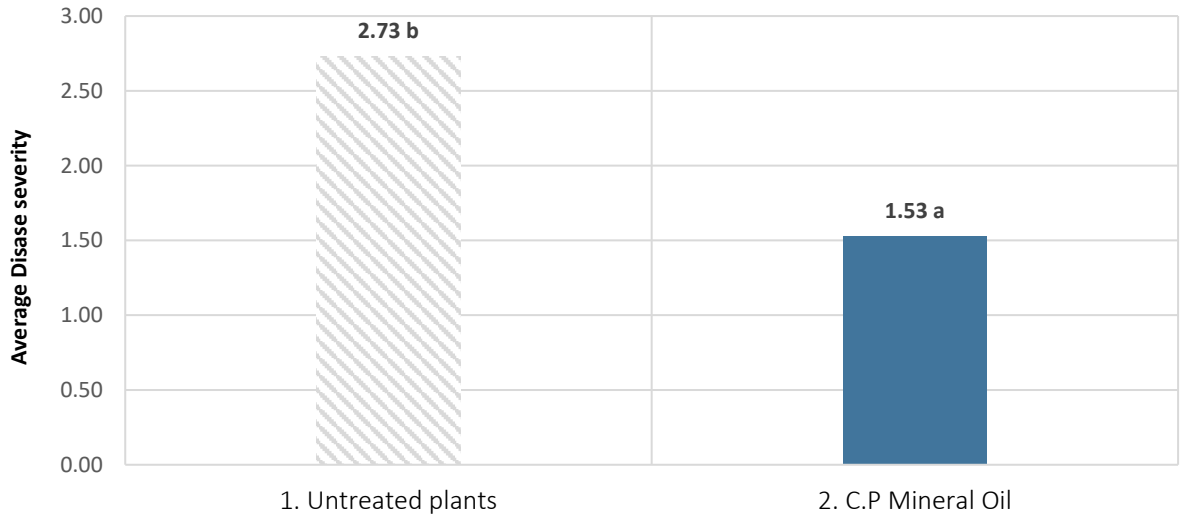


Figura 1. Comportamiento del adyuvante.

Figura 2. Parcela con tratamiento de aceite. Mes 1.



Figura 3. Parcela sin tratamiento de aceite. Mes 1.



Figura 4. Parcela con tratamiento de aceite. Mes 3.



Figura 5. Parcela sin tratamiento de aceite. Mes 3.



CONCLUSIÓN

El desarrollo de una formulación adyuvante novedosa que incorpora Exxsol™ D145 y una baja dosis de surfactantes libres de NPE demostró resultados prometedores en la mejora del rendimiento de los fungicidas en cultivos de banano. Cuando se combinó con diversos fungicidas, este adyuvante exhibió excelentes resultados de estabilidad de emulsión (Cuadro 4) y redujo significativamente la severidad promedio de la enfermedad en un 44 %, como se muestra en el Gráfico 1 y Figuras 1-4, confirmando su efectividad en la protección contra la Sigatoka Negra en la formulación.

Agradecimientos

Rebeca Madrigal, Ricardo Astúa; Monreri S.A.
Mariah Mendez, Brittany McArdle; Exxonmobil Baytown Lab.
David Holland, Sara Yohe; Exxonmobil Technology and Engineering Company.
Enrique Paris, Mauricio Aguirre, Berto Sanchez, Lidiane Bueno; Exxonmobil Product Solutions.

REFERENCIAS

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024. Banana Market Review. FAO Knowledge Repository. 2025.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) Action Plan [RIN 2070-ZA09].

Arango Isaza RE, Diaz-Trujillo C, Dhillon B, Aerts A, Carlier J, Crane CF, *et al*. 2016. Combating a Global Threat to a Clonal Crop: Banana Black Sigatoka Pathogen *Pseudocercospora fijiensis* (Synonym *Mycosphaerella fijiensis*) Genomes Reveal Clues for Disease Control. PLoS Genet 12(8): e1005876.

ACS Axial. 2025. https://axial.acs.org/agriculture-and-food-chemistry/surfactant-chemistry-research-drives-crop-protection-innovation . Consulta el 26 de noviembre del 2025.