

Efectividad de estrategias biorracionales con alternativas al mancozeb para el combate de sigatoka negra en el cultivo de banano

María Alejandra Bolaños-Barrientos¹; Xavier Andrés Ríos-Flores¹; Luis Fernando Benavides-López^{2*}; Juan Delgado-Fernández²

¹Estudiantes de Universidad EARTH. Las Mercedes, Guácimo, Limón, Costa Rica; ²Departamento de Investigación LIFE-RID Amvac Latam. Muelle, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

***Autor de**

Correspondencia:

Luis Fernando Benavides-
López
lbenavides@life-rid.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Bolaños-Barrientos MA,
Ríos-Flores XA, Benavides-
López LF y Delgado-
Fernández J. 2024.
Efectividad de estrategias
biorracionales con
alternativas al mancozeb
para el combate de sigatoka
negra en el cultivo de
banano. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
31
<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2431>

RESUMEN

Se evaluaron fungicidas biorracionales como alternativas al mancozeb (control=99,9%) en banano. Las alternativas protectantes de nutriprotector, azufre, cúprico, y botánico tuvieron un control del 99,8, 98, 95 y 94% respectivamente a los 50 días después de la aplicación en las hojas candelas. La estrategia de fraccionar la dosis de ácido salicílico con N a 0,5 L ha⁻¹ cada 15 días (inductor de resistencia) en tendencia presentó un mayor efecto de control sobre la enfermedad. Estas herramientas al ser integradas en programas de combate de la enfermedad alcanzaron una reducción de mancozeb del 50% hasta el 100% con niveles de control similares al programa de control de la enfermedad convencional de mancozeb en el cultivo de banano.

Palabras clave: Sigatoka negra, *Musa* spp, mancozeb, alternativas biorracionales, fitosanidad.

ABSTRACT

Biorational fungicides were evaluated as alternatives to mancozeb (control=99.9%) in banana. The protective alternatives of nutriprotector, sulfur, cupric, and botanical had a control of 99.8%, 98%, 95% and 94% respectively at 50 days after application on the “cigar” leaves. The strategy of dividing the dose of salicylic acid with N at 0.5 L ha⁻¹ every 15 days (resistance inducer) tended to have a greater effect on the control of the disease. These tools, when integrated into disease control programs, achieved a reduction of mancozeb from 50% to 100% with control levels similar to conventional disease control programs of mancozeb in banana cultivation.

Keywords: Black Sigatoka, *Musa* spp, Mancozeb, biorational alternatives, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El patógeno *Pseudocercospora fijiensis* es el agente causal de la enfermedad foliar Sigatoka negra (SN) en los cultivares de banano susceptibles (Crous *et al.*, 2016). Para expresar su agresividad la SN requiere de condiciones climáticas favorables (lluvia > 1400 mm, HR > 80% y 23°C a 28°C en temperatura) necesarias para sus procesos de infección por las ascosporas y conidios a través de los estomas (Benavides-López, 2022; Churchill, 2011; Crous *et al.*, 2016). La enfermedad afecta significativamente procesos fotosintéticos a nivel foliar en la planta y consecuentemente compromete la floración, la cosecha y ocasiona reducciones en la vida verde del fruto (Hidalgo *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2011). Para la protección del cultivo, los programas se derivan de la aplicación frecuente de fungicidas multisitio, con mancozeb (Mzb) y clorotalonil (CL) como ingredientes activos, además de la integración de fungicidas sitioespecífico en combinación de Mzb para el manejo de resistencia. Estos fungicidas han sido históricamente utilizados, sin embargo, dado su posible efecto a la salud y el ambiente están siendo cuestionados en la Unión Europea (UE) desde 2020, y hay presión social y política para que se dé la salida de estos ingredientes activos, ejemplo de esto la no renovación del registro de clorotalonil y posiblemente con mancozeb suceda lo mismo (Anastassiadou *et al.*, 2020). Por lo tanto, ante lo anterior en los últimos cinco años se han realizado esfuerzos de investigación, innovación y desarrollo de alternativas para el control de SN, entre los cuales extractos botánicos, productos biológicos, compuestos inductores de resistencia y formulaciones a base de cobre, azufre, zinc y sus combinaciones, sustancias reportadas en Frac (2021) para el combate de patógenos (Becker *et al.*, 2021). Lo anterior, hace necesario evaluar alternativas para el control de SN que permita reemplazar el uso de mancozeb en el cultivo de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos localidades de Costa Rica, en parcelas experimentales con plantas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) variedad 'Gran Enano' de 10 semanas de edad, sembradas bajo una densidad de 1600 plantas ha⁻¹ y bajo el manejo cultural del cultivo. En la primera localidad se realizaron los experimentos 1, 2 y 3 en la Estación Experimental LIFE-RID (AMVAC) ubicada en Muelle de San Carlos, en la provincia de Alajuela y en la segunda localidad se realizaron los experimentos 4 y 5 en las parcelas de banano de la Universidad EARTH ubicadas en las Mercedes de

Guácimo de la provincia de Limón, con condiciones de clima muy favorables para SN en ambos sitios. Este trabajo fue realizado en cinco experimentos.

Experimento 1 y 2. Evaluación de fungicidas biorracionales alternativos al mancozeb. En el **experimento 1** se evaluaron seis tratamientos desde semana 12 hasta semana 20 del 2022: **1)** Cúprico (óxido cuproso + óxido de zinc; $0,6 \text{ kg ha}^{-1} = 360 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **2)** Azufre (azufre orgánico; $1,0 \text{ L ha}^{-1} = 700 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Botánico (*Melaleuca alternifolia*; $0,4 \text{ L ha}^{-1} = 89 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **4)** Mancozeb 62 SC (Mzb; $2,0 \text{ L ha}^{-1} = 1240 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **5)** Aceite + Adyuvante (aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **6)** Testigo sin aplicación. En el **experimento 2** fueron cinco los tratamientos evaluados desde semana 48 del 2022 hasta semana 5 del 2023: **1)** Nutriprotector (azufre + cobre; $3,0 \text{ L ha}^{-1} = 555 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **2)** Azufre (azufre orgánico; $1,0 \text{ L ha}^{-1} = 700 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Mancozeb (Mzb; $2,0 \text{ L ha}^{-1} = 1240 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **4)** Aceite + adyuvante (aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **5)** Testigo sin aplicación. Las mezclas de los tratamientos fueron preparadas en 1 litro y dosificadas a un volumen total de 22 L ha^{-1} , con el siguiente orden de mezclado: 50% agua, 100% adyuvante, 100% aceite, 100% fungicida y 50% agua, con agitación por 5 minutos a 2000 rpm para cada ingrediente de la mezcla. Los tratamientos fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante en un solo momento con un equipo de aspersión manual de presión constante (40 PSI) con boquilla cono hueco, únicamente sobre las hojas candelas (apertura 0,2 y 0,4). Desde los 14 hasta los 50 días después de iniciado (DDI) se realizaron evaluaciones semanales del porcentaje de área foliar afectada por SN (%AFA) en cada tratamiento.

Experimento 3. Evaluación de inductores de resistencia en combinación con mancozeb. Se evaluaron seis tratamientos desde semana 25 hasta semana 35 del 2022, basados en solo tres ciclos (C1, C2 y C3) de aplicación a los 0, 7 y 14 días en cada tratamiento: **1)** Ácido salicílico cada 30 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido salicílico con nitrógeno = $1 \text{ L ha}^{-1} = 150 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **2)** Ácido salicílico cada 15 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido Salicílico con nitrógeno = $0,5 \text{ L ha}^{-1} = 75 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2: Mzb = 2 L ha^{-1} y C3: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido salicílico con nitrógeno = $0,5 \text{ L ha}^{-1} = 75 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Acibenzolar cada 40 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + acibenzolar = $0,080 \text{ L ha}^{-1} = 40 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **4)** Mancozeb 62 SC cada 7 días (C1, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **5)** Aceite + adyuvante cada 7 días (C1, C2 y C3: aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **6)** Testigo sin aplicación. Se utilizaron plantas en estados de hoja candela 0,2, 0,4 y 0,6. Todos los ciclos de los tratamientos fueron mezclados y aplicados en toda la planta con el mismo equipo de aspersión, misma dosis de aceite y adyuvante, igual

volumen de mezcla y siguiendo el mismo orden de mezclado descrito en los experimentos 1 y 2. Desde los 0 hasta los 72 días después de iniciado (DDI) se realizaron evaluaciones semanales del conteo de hojas totales (HT) y posición de la hoja joven con mancha estadio 4 (YLS).

Experimento 4. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución parcial y total de mancozeb.

Se evaluaron 5 tratamientos (programas), donde cada tratamiento estaba representado por bloques de cultivo con un área de 1550 m², se realizaron aplicaciones con intervalos de 3 a 7 días entre ciclos y los fungicidas sistémicos fueron aplicados cada 5 semanas, realizando 28 ciclos (C₁₋₂₈) desde semana 22 hasta semana 43 del 2022: **1)** Programa comercial 100% mancozeb (C1: Mzb 60 SC= 1,7 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C7: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC= 1,7 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **2)** Programa sustitución parcial mancozeb (-50%) + alternativas biorracionales (C1: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: botánico, C3: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹, C4: azufre, C5: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹, C6: cúprico, C7: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **3)** Programa sustitución parcial mancozeb (-70%) + alternativas biorracionales (C1: Mzb 60 SC = 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: botánico, C3: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹, C4: azufre, C5: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹, C6: cúprico, C7: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC=1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **4)** Programa rotación 100% con alternativas biorracionales (C1: Botánico + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: azufre, C3: cúprico, C4: azufre, C5: azufre, C6: cúprico, C7: ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: botánico + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹) y **5)** Testigo aceite + adyuvante (C1: aceite parafínico= 4,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6, C7: aceite parafínico= 2,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 0,5 L ha⁻¹ y C8: aceite parafínico= 4,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹). Ver dosis de alternativas al mancozeb en experimentos 1, 2 y 3. Del ciclo 9 al 28 se mantuvieron los intervalos de ciclos igual a los ciclos del 1 al 8 y con la misma rotación.

En los restantes ciclos de fungicidas sistémicos fueron utilizados el fenpropimorph 88 OL (1,0 L ha⁻¹), pirimetanil 60 SC (0,6 L ha⁻¹) y fluxapiroxad 50 SC (0,4 L ha⁻¹). Todos los programas fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante del tratamiento 5. Las aplicaciones fueron realizadas con un dron (AGRAS T16), a una dosis de aplicación de 24 L ha⁻¹, a una velocidad de 4 m s⁻¹, altura de 3,0

m sobre el dosel del cultivo, distancia entre líneas de 3,5 m y haciendo uso de boquillas Teejet XR 110015VS de tipo abanico.

Experimento 5. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución total de mancozeb. Se evaluaron 3 programas, donde cada tratamiento estaba representado por bloques de cultivo con un área de 1600 m², se realizaron aplicaciones con intervalos de 3 a 7 días entre ciclos y los fungicidas sistémicos fueron aplicados cada 4 semanas, realizando 28 ciclos (C₁₋₂₈) desde semana 20 hasta semana 39 del 2023: **1)** Programa comercial 100% mancozeb (C1: Mzb 60 SC= 1,75 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹ + pirimetanil 60 SC= 0,6 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6: Mzb 60 SC= 1,5 a 2,25 L ha⁻¹ según días intervalo y C7: Mzb 60 SC= 1,75 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **2)** Programa rotación 100% con alternativas biorracionales (C1: botánico + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹ + pirimetanil 60 SC= 0,6 L ha⁻¹, C2: nutriprotector= 2,75 L ha⁻¹, C3: nutriprotector= 2,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 0,5 L ha⁻¹, C4: cúprico, C5: nutriprotector= 2,75 L ha⁻¹, C6: ácido salicílico con nitrógeno= 0,5 L ha⁻¹ y C7: botánico + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹) y **3)** Testigo aceite + adyuvantes (C1: aceite parafínico= 4,0-8,0 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6: aceite parafínico= 2,0 L ha⁻¹ y C7: aceite parafínico= 4,0-8,0 L ha⁻¹), también se utilizaron los adyuvantes de ácidos grasos (0,5 y 1,0 L ha⁻¹), óxido de zinc + silicio (0,36 L ha⁻¹) y emulsificante al 1% del volumen de aceite según estabilidad de las mezclas y condiciones lluviosas. Del ciclo 8 al 28 se mantuvieron los intervalos de ciclos igual a los ciclos del 1 al 7 y con la misma rotación. En los restantes ciclos de fungicidas sistémicos fueron utilizados el fenpropimorph 88 OL (1,0 L ha⁻¹), piraclostrobin 25 EC (0,4 L ha⁻¹), fenpropidin 75 EC (0,6 L ha⁻¹) y boscalid 50 SC (0,5 L ha⁻¹). Los programas 1 y 2 fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante del programa 3. Las aplicaciones fueron realizadas con un dron (AGRAS T16), a una dosis de aplicación de 28 L ha⁻¹, a una velocidad de 6 m s⁻¹, altura de 3,0 m sobre el dosel del cultivo, distancia entre líneas de 3,5 m y haciendo uso de boquillas Teejet XR 110015VS de tipo abanico.

En los experimentos 1, 2 y 3, se utilizó un diseño completamente al azar con 5 repeticiones, para la evaluación del porcentaje de área foliar afectada (%AFA) se utilizó la escala de afectación de 0 a 100% para SN (Benavides-López, 2019), se evaluaron las HT y YLS según escala de Fouré (1985). En los experimentos 4 y 5, se utilizó un diseño de bloques no aleatorio, donde cada bloque fue un tratamiento con cinco parcelas (repeticiones) de 11 x 20 m dentro del bloque para el experimento 4 y siete parcelas por tratamiento para el experimento 5, en ambos experimentos se evaluaron las HT, YLS y posición de la hoja joven con estadios 5 que representan menos del 5% del área foliar (YLQ>5%) según escala de Fouré (1985). Se calculó el

área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en las variables estudiadas. Los datos se sometieron a un análisis de varianza mediante modelos lineales generales y mixtos, y la separación de medias fue determinada con la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1 y 2. Evaluación de fungicidas biorracionales alternativos al mancozeb. En ambos experimentos, todos los fungicidas evaluados registraron un control adecuado mostrando diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el ABCPE con respecto al testigo sin aplicación y aceite + adyuvante (cuadro 1), por lo tanto, el control se atribuye al efecto protectante de los fungicidas aplicados sobre el envés de las hojas candelas, momento temprano donde inician los procesos de germinación y penetración de las esporas en los estomas expuestos de la hoja. En el experimento 1 el fungicida con mayor efectividad fue el mancozeb 62 SC (0,3d) con un control del 99,9% y con diferencias significativas con respecto a las alternativas de azufre (7,1c), cúprico (13,8c) y botánico (17,3c), sin embargo, entre las alternativas no se presentaron diferencias estadísticas y la efectividad de estos fue de 98%, 95% y 94% respectivamente, efectividades técnicamente adecuadas ($> 90\%$) para ser considerados futuras evaluaciones de programas. En el experimento 2 los fungicidas con mayor desempeño fueron el mancozeb 62 SC (0,1d) y el nutriprotector (0,5d) con efectividades del 99,9% y 99,8% respectivamente, el azufre (9,5c) se diferenció estadísticamente con un menor desempeño con respecto al mancozeb 62 SC y nutriprotector, sin embargo, la efectividad fue técnicamente aceptable con un control del 96,6% al ser superior del 90%. La alternativa de fungicida cúprico causó un manchado foliar leve (daño superficial del tejido).

Experimento 3. Evaluación de inductores de resistencia en combinación con mancozeb. A los 72 DDI en el efecto acumulado del ABCPE (cuadro 1) se evidenciaron diferencias significativas en las variables de HT ($p < 0,0001$) y YLS ($p = 0,0110$) entre los tratamientos, atribuyendo el efecto al fungicida e inductores de resistencia sobre el desarrollo de la enfermedad. Donde los tratamientos con menor desempeño fueron el testigo sin aplicación (HT=131c; YLS=91c) y aceite + adyuvante (HT=147b; YLS=99b). Los de mayor efecto sobre SN en ambas variables fueron los tres tratamientos de inductores y mancozeb 62 SC, sin embargo en el YLS aceite + adyuvante (99b) y mancozeb 62 SC (105ab) presentaron un nivel de retención relativamente similares posiblemente por el poco efecto en retención de síntomas, por

su parte los tratamientos de inductores presentaron un nivel de retención relativamente mayor y similares entre ellos como inductores de resistencia, donde el acibenzolar, ácido salicílico con N ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) y ácido salicílico con N ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) presentaron un YLS de 107a, 109a y 112a respectivamente, sin embargo, la estrategia de fraccionar la dosis de ácido salicílico con N a $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ cada 15 días en tendencia presentó un mayor efecto para el YLS. El acibenzolar a la dosis evaluada causó una deformación en las hojas jóvenes emitidas durante 2 a 3 semanas después de la aplicación.

Cuadro 1. Evaluación de alternativas biorracionales al mancozeb sobre el ABCPE de SN en el 2022 y 2023.

Tratamientos	E1 [£] (2022) [¥]	E2 [£] (2022) [¥]	E3 [£] (2023) [¥]	
	%AFA	%AFA	HT	YLS
Nutriprotector	-	0,5 d	-	-
Cúprico	13,8 c	-	-	-
Azufre	7,1 c	9,5 c	-	-
Botánico	17,3 c	-	-	-
Mancozeb 62 SC	0,3 d	0,1 d	-	-
Aceite + Adyuvante	92,9 b	45,1 b	-	-
Testigo sin aplicación	303,1 a	285,3 a	-	-
Ácido salicílico + N cada 30 días	-	-	155 a	109 a
Ácido salicílico + N cada 15 días	-	-	152 a	112 a
Acibenzolar cada 40 días	-	-	150 a	107 a
Mancozeb 62 SC cada 7 días	-	-	154 a	105 ab
Aceite + adyuvante cada 7 días	-	-	147 b	99 b
Testigo sin aplicación	-	-	131 c	91 c
Lluvia acumulada	485 mm	405 mm	693 mm	

£= Experimento 1, 2 y 3 (Año)

¥= Separación de medias según la prueba de LSD Fisher al 95% de probabilidad

Experimentos 4 y 5. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución parcial y total de mancozeb. Los programas evaluados en el experimento 4 estuvieron sometidos a un régimen de lluvia de 1728 mm acumulados, temperatura promedio de $27,3 \text{ °C}$ y humedad relativa promedio del 87% desde semana 20 hasta semana 43 del 2022, condiciones altamente favorables para la agresividad de la enfermedad. Los resultados de ABCPE se evidencian en el cuadro 2, indicando que hubo efecto

significativo ($p < 0,0001$) en el control de los tratamientos de programas evaluados sobre SN, donde el aceite + adyuvante (HT=332d; YLS=,217d y YLQ>5%=272c) fue el de menor desempeño con respecto a los demás tratamientos, demostrando que el mayor desempeño de los demás tratamientos se debe al efecto de los fungicidas que integraron cada programa, donde el tratamiento programa de sustitución parcial de mancozeb (-70%) + alternativas biorracionales obtuvo los mayores valores en HT (406b), YLS (282a) y YLQ>5% (359a). Los resultados evidencian que la sustitución parcial y total de mancozeb (-50%, -70% y -100% Mzb) es posible debido a que los programas obtuvieron un mayor control con diferencias significativas ($p < 0,001$) respecto al programa comercial de mancozeb (100%) en las variables de HT, YLS y YLQ>5% ($100\% \text{ Mzb} < -50\% \text{ Mzb} \leq -100\% \text{ Mzb} \leq -70\% \text{ Mzb}$), demostrando que las alternativas biorracionales de azufre, cúprico, botánico y ácido salicílico aportaron un efecto positivo en control de los programas evaluados contra SN. Los ciclos del fungicida cúprico causaron leves manchados foliares a partir de la hoja 5 de cada planta.

Cuadro 2. Efectividad de programas con sustitución parcial o total de mancozeb por alternativas biorracionales sobre el ABCPE de SN en el 2022 y 2023.

Tratamientos (Programas)	Experimento 4 (2022) [¥]			Experimento 5 (2023) [¥]		
	HT	YLS	YLQ>5%	HT	YLS	YLQ>5%
Comercial mancozeb (100%)	384 c	254 c	324 c	359 a	258 a	336 a
Sustitución parcial mancozeb						
(-50%) + alternativas biorracionales	388 bc	267 b	342 b	-	-	-
Sustitución parcial mancozeb						
(-70%) + alternativas biorracionales	406 b	282 a	359 a	-	-	-
Rotación con alternativas biorracionales (-100% Mzb)	402 ab	278 a	358 a	352 a	240 b	326 a
Testigo aceite + adyuvante	332 d	217 d	272 c	283 b	187 c	256 b
Lluvia acumulada	1728 mm			1001 mm		

[¥]= Separación de medias según la prueba de LSD Fisher al 95% de probabilidad

Por su parte, los programas evaluados en el experimento 5 estuvieron sometidos a un régimen de lluvia de 1001 mm acumulados, temperatura promedio de 26,3 °C y humedad relativa promedio del 81% desde semana 20 hasta semana 39 del 2023,

condiciones favorables para la enfermedad. De acuerdo con los resultados obtenidos de las alternativas biorracionales en el cuadro 2, en el programa evaluado se sustituyó el azufre por el nutriprotector, al evidenciar este último una efectividad igual al mancozeb. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) al efecto de los fungicidas evaluados en ambos programas (100% y -100% Mzb) con respecto a un menor desempeño del aceite + adyuvante (HT=283b; YLS=187c y YLQ>5%=265b). Se presentó un control igual entre los programas de rotación de alternativas biorracionales (-100% Mzb) y comercial mancozeb (100%) en las variables de HT y YLQ>5%, mientras que en la variable de YLS se presentaron diferencias significativas a favor del programa comercial mancozeb (100%). Los resultados obtenidos evidencian el potencial promisorio de un programa integrando las alternativas biorracionales de nutriprotector, cúprico, botánico y ácido salicílico en ausencia de fungicidas multisitio convencionales. Los ciclos del fungicida cúprico causaron leves manchados foliares a partir de la hoja 5.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que las alternativas de nutriprotector, azufre, cúprico, botánico y ácido salicílico presentaron actividad contra *P. fijiensis* y logran reducir la severidad de la Sigatoka negra. Con estas herramientas al ser integradas en programas de combate de la enfermedad se alcanzó una reducción de mancozeb del 50% hasta el 100% con niveles de control similares al combate convencional de mancozeb para Sigatoka negra en el cultivo de banano.

REFERENCIAS

1. Anastassiadou M, Bernasconi G, Brancato A, Carrasco-Cabrera L., Greco, L, Jarrah S, Kazocina A, Leuschner R, Magrans JO, Miron I, Nave S, Pedersen R, Reich H, Rojas A, Sacchi A, Santos M, Stanek A, Theobald A, Vagenende B, Verani A. 2020. Modification of the existing maximum residue levels for mancozeb in various crops. EFSA Journal, 18 (8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6108>.
2. Benavides-López LF. 2019. Cuantificación temprana de *Pseudocercospora fijiensis* por medio de qPCR en modelos predictivos de Sigatoka negra en plantas de Banano (*Musa AAA*). Tesis Lic. San Carlos, CR, TEC. 183 p.

3. Benavides-López LF, Camacho-Calvo M, Muñoz-Fonseca ME. 2022. Relación entre factores climáticos y la infección foliar de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en plantas de banano (*Musa* AAA) con y sin la aplicación de fungicidas. *AgroInnovación en el Trópico Húmedo* 3 (1): 2-13.
4. Becker P, Esker P, Umaña G. 2021. Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection* 146 (2021), 105657. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>
5. Churchill ACL. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology* 12 (4): 307-328.
6. Crous PW, Groenewald JZ, Slippers B, Windfield MJ. 2016. Global food and fibre security threatened by current inefficiencies in fungal identification. Royal Society Publishing. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371, 20160024.
7. Fouré E. (1985). Black leaf streak disease of bananas and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFE, Paris.
8. FRAC 2021. FRAC code list 2021: <https://www.frac.info/knowledge-database/accept>. Consulta el 30 octubre del 2023.
9. Hidalgo M, Tapia A, Rodríguez W, Serrano E. 2006. Efecto de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del Banano (*Musa* sp AAA, cv. Valery). *Agronomía Costarricense* 30 (1): 35-41.
10. Martínez I, Villalta R, Soto E, Murillo G, Guzmán M. 2011. Manejo de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano. *Hoja divulgativa* 2011 (2): 1-2.