

# Informe anual

abril 2022

Primo Vert



### **Dirección de CENIBANANO–AUGURA**

Sebastian Zapata Henao, M.Sc

### **Investigadores CENIBANANO–AUGURA**

Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Ph.D., Fitosanidad

Mónica Patricia David González, M.Sc., Fitosanidad

Vicente Rey Valenzuela, M.Sc., Fitosanidad

Luz Edith Argel Roldán, M.Sc., Fitosanidad

Helena Bornacelly Horta, M.Sc., Fitosanidad (Magdalena)

Angela Y. Benavides Martínez, M.Sc., Entomología

Diego Alejandro Londoño Puerta, M.Sc., Fisiología y nutrición vegetal

Julián Andrés Valencia Arbeláez, Ph.D., Agroclimatología (desde abril 2022)

Miguel Ángel Bernal Monterrosa, Suelos y agricultura de precisión (desde octubre 2022)

### **Auxiliares de investigación y asistencia técnica CENIBANANO–AUGURA**

Jackson Danilo Osorio Cardona, Suelos y agricultura de precisión

Juan José Pérez Zapata, Suelos y agricultura de precisión

Laura Delgado Bejarano, Suelos y agricultura de precisión

Gloria Marcela Pérez Ochoa, Fitosanidad

Franklin Palacios Zapata, Agroclimatología

Rogelio Hurtado Londoño, Asistencia Técnica, Transferencia de Tecnología

Álvaro Martínez T., Asistencia Técnica, Transferencia y Fitosanidad (Magdalena)

Diego Felipe Feria Gómez, Fisiología y nutrición vegetal

Sindy Paola Cardona Calle, Fisiología y nutrición vegetal

Carlos Alberto Vicente Arenas, Entomología



### **Auxiliares de campo, laboratorio y operarios de CENIBANANO- AUGURA**

Alba Rosa Martínez Martínez, Fitosanidad

Yuscelis Martínez Molina, Fitosanidad

Jhon Jairo Herrera Aristizábal, Fitosanidad

Jhojan Reinel Vargas Zuleta, Fitosanidad

Luis Manuel Arango Hoyos, Fitosanidad

Candelario Méndez Pérez, Suelos y agricultura de precisión

Juliana Morelos Vargas, Suelos y agricultura de precisión

Jhimmer Andrés Navia Villada, Suelos y agricultura de precisión

Juan Fernando Vitar Monsalve, Suelos y agricultura de precisión

León Ochoa Vásquez, Suelos y agricultura de precisión

Juber Adrián Díaz Gil, Suelos y agricultura de precisión

### **Estudiantes**

Laura Arango Palacio, Pregrado, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Juan Diego Díaz Ochoa, Pregrado, Universidad de los Andes

Kelly Maryori Ortiz Quintero, Pregrado, Politécnico Colombiano

Jaime Isaza Cadavid

Liyey Mayerli Vahos Arias, Pregrado, Politécnico Colombiano

Jaime Isaza Cadavid

Mariana Castañeda Zapata, Pregrado, Universidad de Antioquia

Yenny Paola Restrepo Restrepo, Pregrado, Universidad de

Antioquia

Daniel Osorio Giraldo, Pregrado, Universidad de Antioquia

Daniela Vidal Henao, Pregrado, Universidad de Antioquia

Julieta María Ramírez-Mejía, Maestría, Universidad Eafit

Estefanía Macías-Echeverri, Maestría, Universidad Nacional de Colombia

Daniel Gaviria Palacio, Maestría, Universidad Nacional de Colombia

Daniel Mauricio Pineda Tobón Doctorado, Universidad Nacional de Colombia

Flor Yuranny Canacuan Melo, Doctorado, Universidad Nacional de Colombia

Ariel Mauricio Vaca Bohórquez, Doctorado, Universidad de los Andes

Juan Carlos Marín Ortiz, Postdoctorado, Universidad Nacional de Colombia



### Docentes e investigadores externos

Liuda Sepúlveda Arango, M.Sc, Universidad de Antioquia Felipe Salcedo Galán, Ph.D, Universidad de los Andes Valeska Villegas, Ph.D, Docente Universidad EAFIT Darío Antonio Castañeda, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Lilliana María Hoyos Carvajal, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Verónica Botero Fernández, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Rafael Arango, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Juan Gonzalo Morales, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Juan Carlos Pérez Naranjo, Ph.D, Docente Universidad Nacional de Colombia Lucia Atehortúa, Ph.D, Docente Universidad de Antioquia Mónica Betancourt Vásquez, Ph.D, AGROSAVIA Rommel Igor León Pacheco, M.Sc, AGROSAVIA Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo Ph.D, AGROSAVIA

### Comité Técnico de CENIBANANO

Carlos Aníbal Trujillo Gómez, Gerente Grupo Agrosiete  
Ignacio Jiménez Cadavid, Gerente Caaisa  
Julio César Gutiérrez, Consultor Técnico Grupo Santamaría  
Douglas Erminsu Abaunza Ayala, Jefe de Agricultura C.I. Banacol  
Carlos Mario Betancur Tirado, Gerente Cibeles S.A.  
Juan Esteban Álvarez Bermúdez, Gerente Grupo 20  
Fabián Felipe Fonseca Mercado, Gerente de Productividad C.I. UNIBAN  
Gustavo Silva Vanegas, Gerente General C.I. BANAFRUT (hasta mayo 2022)  
Roberto González Gordon, Director Agricultura C.I. BANAFRUT (desde junio 2022)  
Julio Cesar Daza Tovar, Gerente Agrícola Sara Palma (desde julio 2022)  
Emerson Aguirre Medina, Presidente AUGURA  
Gabriel Jaime Elejalde Gaviria, Director Regional Urabá AUGURA  
Sebastian Zapata Henao, Director de CENIBANANO AUGURA

### Compilación y edición del Informe

Sebastian Zapata Henao, Director de CENIBANANO

# Tabla de contenido

## 1. FITOSANIDAD 8

- 1.1. SENSIBILIDAD IN VITRO DE *Pseudocercospora fijiensis* A LOS FUNGICIDAS EN URABÁ DURANTE EL AÑO 2022 8
- 1.2. SERVICIO DE SANIDAD RADICULAR EN LA ZONA DE URABÁ DURANTE EL AÑO 2022 26
- 1.3. RECUBRIMIENTO FUNCIONAL A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA MODIFICADO (INCORPORANDO AGENTES ANTIFÚNGICOS) SOBRE LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PUDRICIÓN DE CORONA EN BANANO CAVENDISH 35
- 1.4. EVALUACIÓN DE DIFERENTES VOLÚMENES DE FUNGICIDAS Y DOSIS DE ENERGÍA UV-C EN FRUTA DE EXPORTACIÓN EN CONDICIONES NATURALES E INOCULADA ARTIFICIALMENTE CON LOS AGENTES CAUSALES DE PUDRICIÓN DE CORONA 51
- 1.5. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA INTRODUCCIÓN DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* RAZA 4 TROPICAL 58
- 1.6. EVALUACIÓN DEL EFECTO CORROSIVO DE AMONIOS CUATERNARIOS SOBRE HERRAMIENTAS Y VEHÍCULOS DE USO DIARIO EN LA CADENA PRODUCTIVA DEL BANANO 69
- 1.7. MEDICIÓN DE LA DERIVA EN APLICACIONES AÉREAS CON AVIÓN Y DRON EN EL URABÁ ANTIOQUEÑO 77
- 1.8. PROSPECCIÓN DE CEPAS DE *Trichoderma* spp. DE LA REGIÓN DE URABÁ CON ACTIVIDAD ANTAGÓNICA FRENTE A *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* RAZA 1 89
- 1.9. EVALUACIÓN DE EXTRACTO NATURAL COMO ATRAYENTE EN TRAMPAS PARA CAPTURA DE ADULTOS DE *Antichloris viridis* 102
- 1.10. EVALUACIÓN DE BOLSAS SOBRE PARA EL CONTROL DE LA COCHINILLA Y COLASPIS EN BANANO 108
- 1.11. COLECCIÓN ENTOMOLÓGICA DE INSECTOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE BANANO 117
- 1.12. DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA MONITOREO Y MANEJO DE PICUDOS DEL BANANO 125

## 2. FISIOLÓGÍA Y NUTRICIÓN VEGETAL 133

- 2.1. NIVELES FREÁTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FENOLOGÍA Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE BANANO 133
- 2.2. EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y FISIOLÓGICA DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN BANANO DURANTE LA PRIMERA GENERACIÓN 139
- 2.3. eN: UN MEDIDOR DE NITRÓGENO FOLIAR IN SITU EN FINCAS BANANERAS 144

## 3. SUELOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN 154

- 3.1. SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS DE SALUD DEL SUELO – CENIBANANO 154
- 3.2. MODELO PARA CONVERSIÓN DE VALORES DE pH EVALUADOS CON DOS MATRICES DE EXTRACCIÓN EN UN SUELO DE LA ZONA DE URABÁ 169
- 3.3. EFECTO DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN LOS PROCESOS EROSIVOS DE LA RED DE DRENAJE DEL CULTIVO DE BANANO 177

## 4. AGROCLIMATOLOGÍA 185

### 4.1. SERVICIOS CLIMÁTICOS 185

4.2. EVALUACIÓN DE MODELOS CLIMÁTICOS PARA DETERMINAR LA PRECISIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE LLUVIAS PARA LA ZONA BANANERA DE URABÁ, ANTIOQUIA 201

4.3. EFECTOS ECOFISIOLÓGICOS SOBRE LA APARICIÓN DE AGOBIO EN BANANO TIPO EXPORTACIÓN EN LA ZONA DE URABÁ, ANTIOQUIA 209

4.4. USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LAS PLANTACIONES DE BANANO (MUSA AAA); EN EL MARCO DEL CONVENIO C-046-21 MADR-CIATAUGURA. 219

## 5. MEJORAMIENTO GENÉTICO 232

5.1. SELECCIÓN DE CULTIVARES DE BANANO CON FUENTE DE RESISTENCIA A *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense – Foc R4T EN COLOMBIA 232

5.2. EVALUACIÓN DE ADAPTACIÓN EN CAMPO DE VARIEDADES PROMISORIAS HACIA LA RESISTENCIA CONTRA MARCHITEZ POR FUSARIUM R4T 244

## 6. BIOTECNOLOGÍA 251

6.1. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS BASADAS EN RNAi PARA EL CONTROL DE SIGATOKA NEGRA EN BANANO Y DESARROLLO DE METODOLOGÍA BASADA EN CRISPR- CAS9 PARA EL ESTUDIO DE GENES EN *Pseudocercospora fijiensis* 251

6.2. BIOINSUMO PARA EL MANEJO DE HONGOS FITOPATÓGENOS BASADO EN PROTEÓMICA 271

6.3. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO MOLECULAR DE BACTERIAS ASOCIADAS A LA PUDRICIÓN ACUOSA DEL PSEUDOTALLO EN CULTIVOS DE BANANO 282

6.4. COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE BANANO CON INFECCIÓN DE Foc R1: ANÁLISIS DE CLONES WILLIAMS Y GROS MICHEL 294

## 7. LABORATORIO DIAGNÓSTICO FOC R4T 232

## 8. ASISTENCIA TÉCNICA, EXTENSIÓN, PUBLICACIONES, CAPACITACIONES Y TRANSFERENCIA 319



Línea de investigación:

# Fitosanidad

# 1. LINEA DE INVESTIGACION EN FITOSANIDAD

## 1.1. SENSIBILIDAD *in vitro* DE *Pseudocercospora fijiensis* A LOS FUNGICIDAS EN URABÁ DURANTE EL AÑO 2022

**Autores:** Luz Edith Argel Roldán, Vicente Rey Valenzuela, Yuscelis Martínez, Alba Martínez, Luis Manuel Arango, Jhon Jairo Herrera y Sebastián Zapata Henao

### Resumen

El monitoreo de la sensibilidad *in vitro* de *Pseudocercospora fijiensis* a ocho fungicidas sistémicos (Difenoconazol, Fenpropimorf, Espiroxamina, Fenpropidin, Pirimetanil, Boscalid, Isopirazam y Fenpicozamid), utilizados en la zona de Urabá para el control de la sigatoka negra, se realizó entre las semanas 23 a la 48 del año 2022. Las muestras fueron colectadas en dieciséis fincas exportadoras distribuidas en los cuatro municipios de Urabá donde se cultiva banano de exportación y adicionalmente se colectó una muestra testigo procedente de diferentes localidades en el municipio de

Mutatá que están fuera del área de influencia del programa de aspersión de fungicidas. La calidad de las muestras fue verificada, posteriormente fueron incubadas en cámara húmeda para finalmente proceder a la descarga de ascosporas en el medio de cultivo modificado con las diferentes dosis de los fungicidas a monitorear. Las variables evaluadas fueron, longitud del tubo germinativo, frecuencia de inhibición de esporas y determinación de la concentración efectiva media (EC50). La inhibición del tubo germinativo por parte de los fungicidas evaluados en las fincas comerciales estuvo entre 41 y 66% mostrando una reducción en la sensibilidad de hasta un 45% en comparación a la finca testigo. Los DMI's, los SDHI y los QiL evidenciaron valores EC50 que superaron la dosis discriminatoria y en estos mismos grupos químicos la mayor cantidad de esporas inhibieron su crecimiento entre un 30 a un 50%, resultados que evidencian una disminución en la sensibilidad para estos grupos químicos. Debido a la limitada disponibilidad de moléculas para el control de la sigatoka negra, las actualmente disponibles presentan en su mayoría, mediano a alto riesgo de generar resistencia, debido a que las poblaciones del hongo presentan una mayor presión de selección. Por lo anterior es relevante fortalecer

los programas culturales para el control de la enfermedad, desarrollar métodos más eficientes de aspersión de fungicidas y continuar las evaluaciones de moléculas alternativas con menor riesgo de generar resistencia.

**Palabras clave:** Porcentaje de inhibición, monitoreo, concentración efectiva media.

### 1.1.1. Introducción

La sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*, Morelet), sigue siendo uno de los principales problemas fitosanitarios en el cultivo del banano a nivel mundial y en ausencia de control puede reducir hasta el 50% del peso del racimo, disminuir la calidad del fruto por problemas de maduración, tanto en campo como durante el transporte a los mercados de destino (Alakonya *et al.*, 2018; Guzmán *et al.* 2013; Manzo-Sánchez *et al.*, 2019). El control que representa un considerable costo en la producción mundial de banano, se ha vuelto cada vez más complejo, debido a las variaciones climáticas y al uso constante de fungicidas mono-sitio y bi-sitio lo que incrementa la posibilidad de generar resistencia del patógeno en las plantaciones comerciales (Churchill, 2011; Orozco-Santos, 2013). Esta resistencia en la

mayoría de los casos perdura en el tiempo y la recuperación de la sensibilidad a los fungicidas se hace más difícil (Guzmán 2007); a este panorama se suman nuevas y mayores restricciones de las moléculas usadas para su control y de los máximos límites de residualidad permitidos; lo que hace menos sostenible el control químico de la enfermedad e a largo plazo.

La frecuente aplicación de fungicidas del grupo químico de los triazoles y las morfolinas a generado pérdidas de sensibilidad de *P. fijiensis* y posiblemente se ha desarrollado resistencia cruzada entre fungicidas del mismo grupo químico, por la aplicación de otros grupos químicos como las Anilino-pirimidinas y los SDHI (García-Munguía, *et al.*, 2022; Martínez-Bolaños *et al.*, 2012; Orozco-Santos *et al.* 2013). El monitoreo de la resistencia es importante para comprender que cambios está experimentando la población del patógeno. En las pruebas de sensibilidad *in vitro*, se evalúan múltiples dosis de cada uno de los fungicidas utilizados para su control, que permita determinar la dosis que proporción una inhibición del 50% de cada asimiento, en comparación con un control sin fungicida. Estos valores de EC50 posibilitarán conocer la variabilidad de las poblaciones del hongo en relación a la sensibilidad y en el tiempo una

variación significativamente mayor determinará si la sensibilidad de la población ha cambiado (Alakonya *et al.*, 2018).

Por lo anterior monitorear rutinariamente el comportamiento de las poblaciones del hongo frente a los diferentes fungicidas utilizados para su control, es una herramienta útil para identificar a tiempo los cambios en la sensibilidad, establecer lineamientos en el uso de las moléculas para evitar la aparición de la resistencia y mantener los individuos resistentes en una baja frecuencia, garantizando así la eficacia en campo de los diferentes fungicidas.

### 1.1.2. Metodología

Durante las semanas 23 a 43 en dieciséis fincas distribuidas en los cuatro municipios del eje bananero en la zona de Urabá (**Tabla 1**) se colectaron fragmentos de hojas en estadio 5 a 6 de la enfermedad que tuvieran buena calidad y cantidad de pseudotecios maduros. El muestreo incluyó también la colecta en el municipio de Mutatá, a partir de plantas sembradas por personal de

CENIBANANO, ubicadas en zonas sin historial de aplicaciones de fungicidas.

**Tabla 1.** Fincas monitoreadas durante el año 2022.

Chigorodó	Carepa	Apartadó	Turbo
Bananal (Ch1)	Campo Experimental (Car 1)	Chinita (Ap 1)	El Oasis (Tur 1)
Finca 1 (Ch 2)	La Candela (Car 2)	Laureles (Ap 2)	Monterrey 3 (Tur 2)
Luisa Fernanda (Ch3)	Punto Fijo (Car 3)	Marta María (Ap 3)	Panorama (Tur 3)
Montecristo (Ch4)	Triganá (Car 4) La Virginia (Car 4*)	Por Francia (Ap 4)	Río Grande (Tur 4)
<b>Línea base (Mutatá)</b>			

\*La finca Triganá fue reemplazada por la finca Las Virginius; por tanto, solo se muestran datos parciales para la misma.

Una vez verificada la calidad de la muestra en el laboratorio, se procedió a cortar el tejido en pequeños fragmentos para posteriormente realizar el montaje de

cámara húmeda durante 48 horas y finalmente se realizó la descarga de ascosporas sobre los medios de cultivo modificados con las diferentes concentraciones de cada uno de los ocho (8) diferentes fungicidas sistémicos utilizados en el programa actual de control de sigatoka en Urabá (**Tabla 2**). Pasadas 48 horas de incubación una temperatura de  $26 \pm 1$  °C, las muestras fueron almacenadas a  $4 \pm 1$  °C para detener el crecimiento del tubo germinativo, mientras se realizaba la lectura del crecimiento de los mismos.

**Tabla 2.** Fungicidas evaluados durante el año 2022.

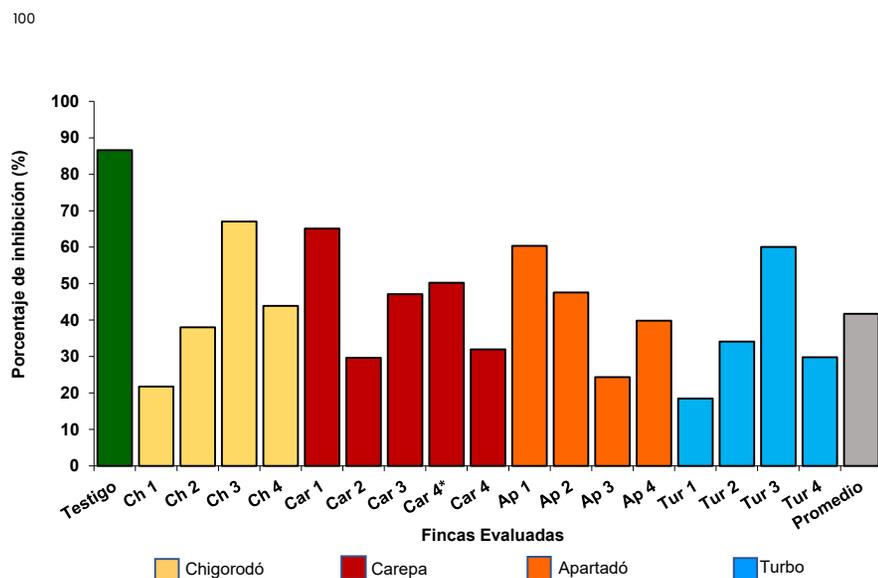
Grupo Químico	Ingrediente Activo
Triazoles	Difenoconazol
Aminas	Fenpropimorf
	Fenpropidin
	Espiroxamina
Anilinopirimidinas	Pyrimetanil
SDHI	Boscalid
	Isopirazan
Piconilamidas	Fenpicoxamid

Cada concentración de fungicida se montó por duplicado, midiendo los tubos germinativos de 30 ascosporas por concentración y para la dosis 0 ppm y la dosis discriminatoria de cada fungicida se evaluaron 60 ascosporas. Se midió la longitud del tubo germinativo de las ascosporas de *P. fijiensis*, para establecer los porcentajes y frecuencias de inhibición y determinar la concentración efectiva media (EC50) de cada fungicida en cada una de las fincas monitoreadas. Los resultados obtenidos fueron comparados con la muestra testigo y el comportamiento de la sensibilidad fue graficado en cada uno de los parámetros evaluados.

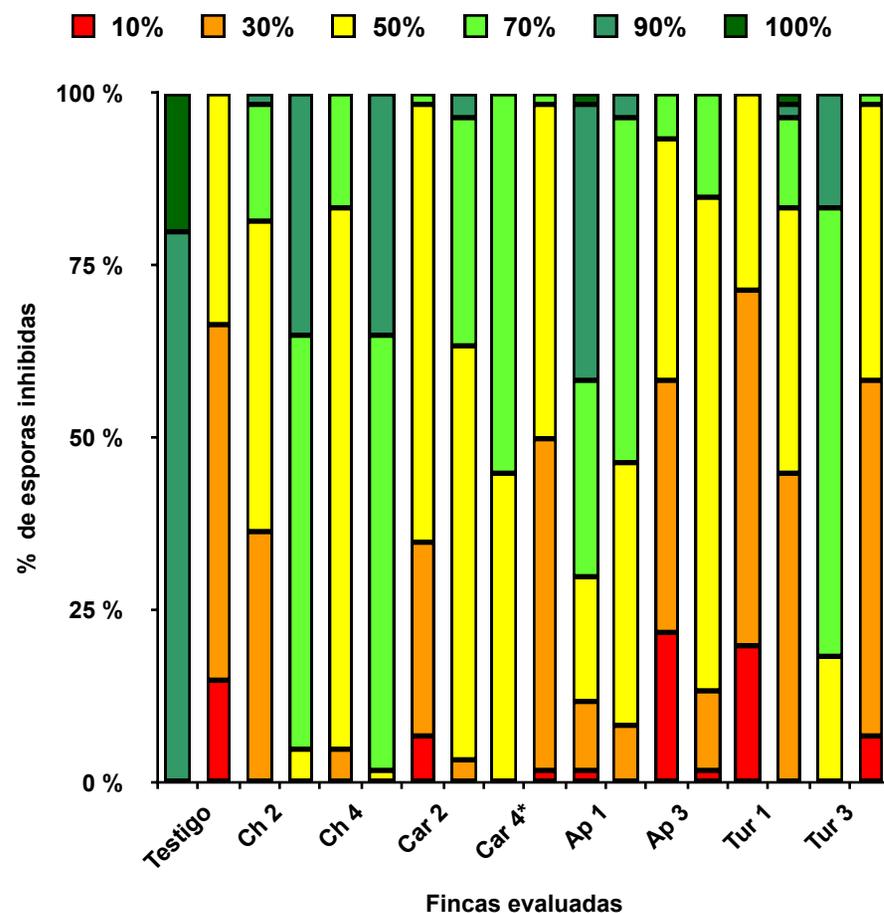
### 1.1.3. Resultados y discusión

**1.1.3.1. Inhibidores de la Di-metilación (DMIs).** Del grupo químico de los triazoles durante el año 2022, solo se empleó el Difenoconazol en los programas de aspersion para el control de la enfermedad. Con relación al testigo la sensibilidad de este ingrediente activo se redujo en un 44.88%, mostrando una variación en el porcentaje de inhibición entre 18.48 a 67.01% y una inhibición promedio del tubo germinativo de 41.73%, el más bajo desde el año 2015. (**Figura 1, Tabla 3**).

Las esporas evaluadas en la dosis discriminadora de 0.1 ppm redujeron el crecimiento del tubo germinativo en la mayoría de las fincas solamente entre un 30 a un 50%, evidenciando una disminución en la sensibilidad con relación a la finca testigo (**Figura 2**). Así mismo en estas poblaciones el valor EC50 promedio para este grupo químico fue de 0.1876 ppm, valor por encima de la dosis discriminadora y superando 44 veces el obtenido para la finca testigo. La variación de los valores EC50 estuvo entre 0.059 y 0.49 ppm (**Figura 3, Tabla 4**).

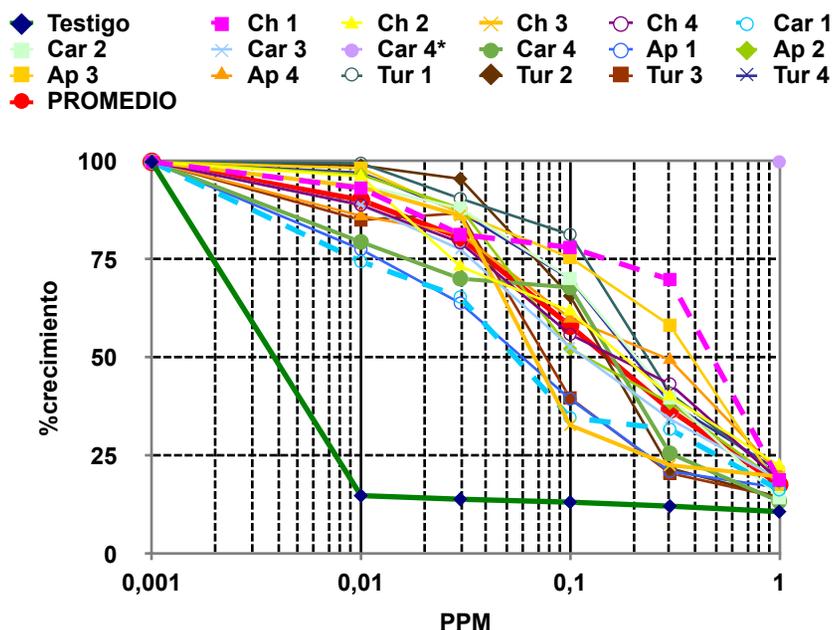


**Figura 1.** Porcentajes de inhibición del tubo germinativo para el ingrediente activo Difenconazol en Urabá durante el año 2022.



**Figura 2.** Frecuencia en porcentaje de inhibición de la longitud del tubo germinativo en 60 esporas evaluadas en

la dosis discriminatoria de 0.1 ppm para el ingrediente activo Difenconazol en el año 2022.



**Figura 3.** Curvas EC50 para Difenconazol en Urabá, durante el año 2022.

En diferentes investigaciones se ha planteado la hipótesis que el mecanismo de resistencia al grupo químico de los DMI o triazoles, se basa en la sobreexpresión y mutaciones del gen *cyp51* de *P. fijiensis* que puede conducir a una resistencia cruzada incompleta, pero se requieren estudios adicionales que confirmen esta hipótesis; sin

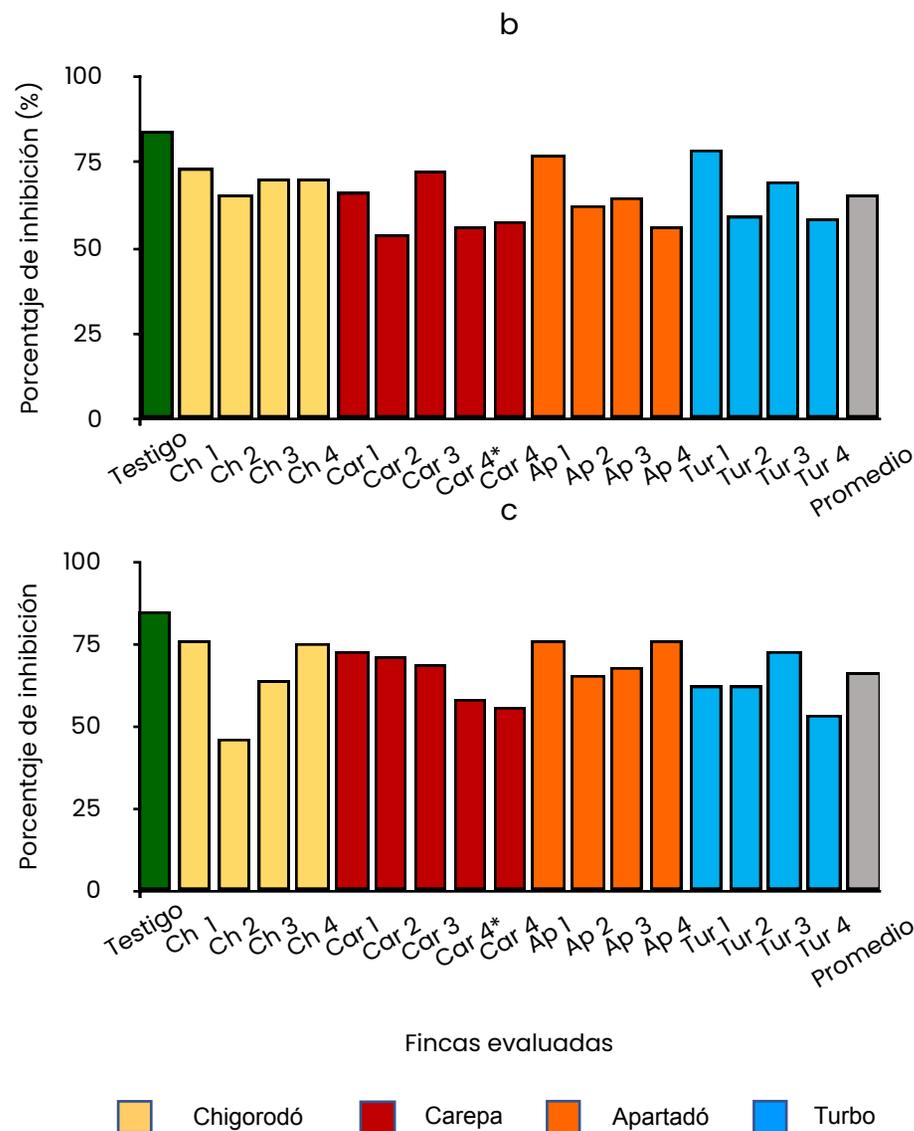
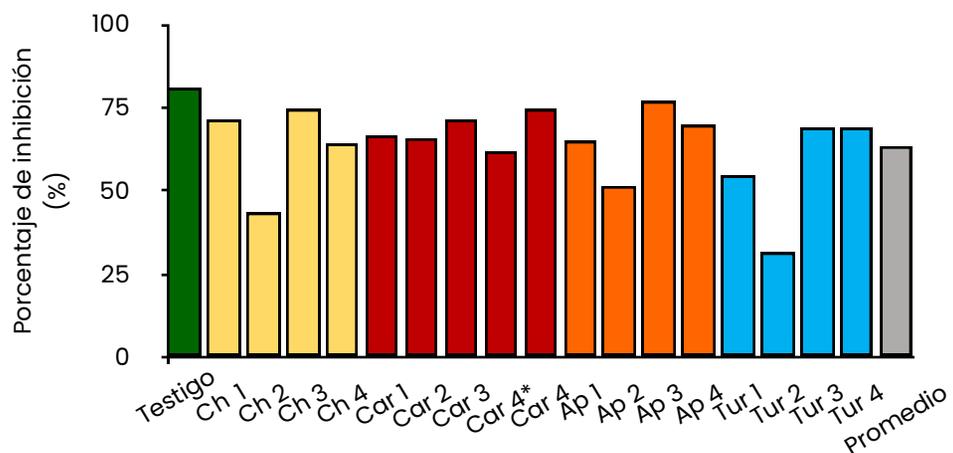
embargo, si este tipo de resistencia se presenta la pérdida de sensibilidad se puede ver incrementada si se superan las ocho (8) aplicaciones anuales, por tanto se recomienda alternarlo por dos ciclos o más con otros modos de acción con los cuales no tenga resistencia cruzada (FRAC, 2022a).

**1.1.3.2. Aminas.** Este grupo químico conformado por los ingredientes activos Fenpropimof, Espiroxamina y Fenpropidin presentó en promedio para las tres moléculas una inhibición del tubo germinativo entre un 63 y un 64% porcentajes que fueron inferiores a los obtenidos para el año 2021, con excepción del Fenpropidin que presentó una inhibición de un 16% más que el año anterior (**Figura 4, Tabla 3**).

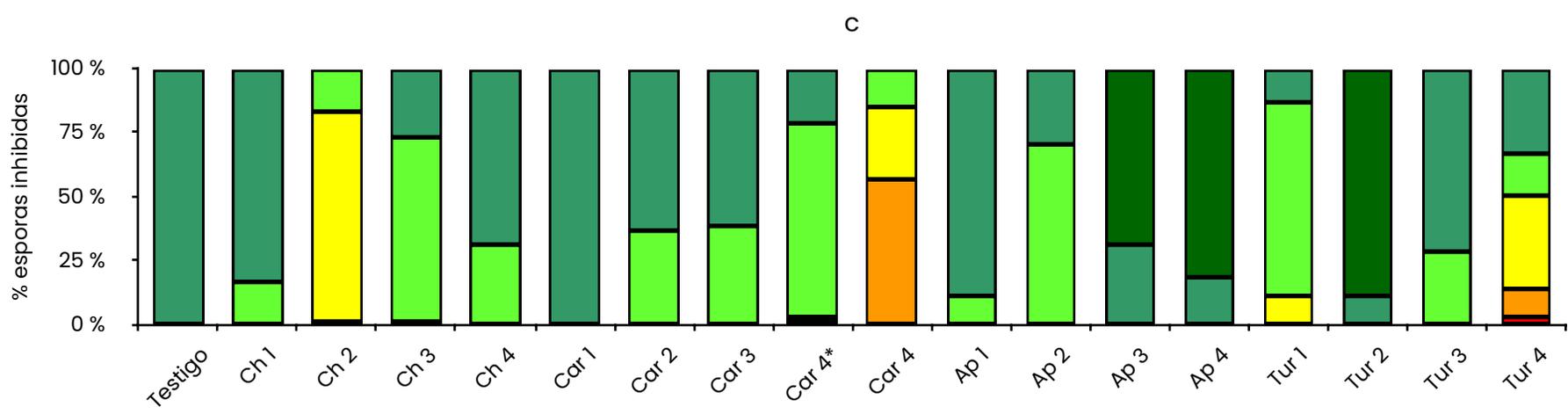
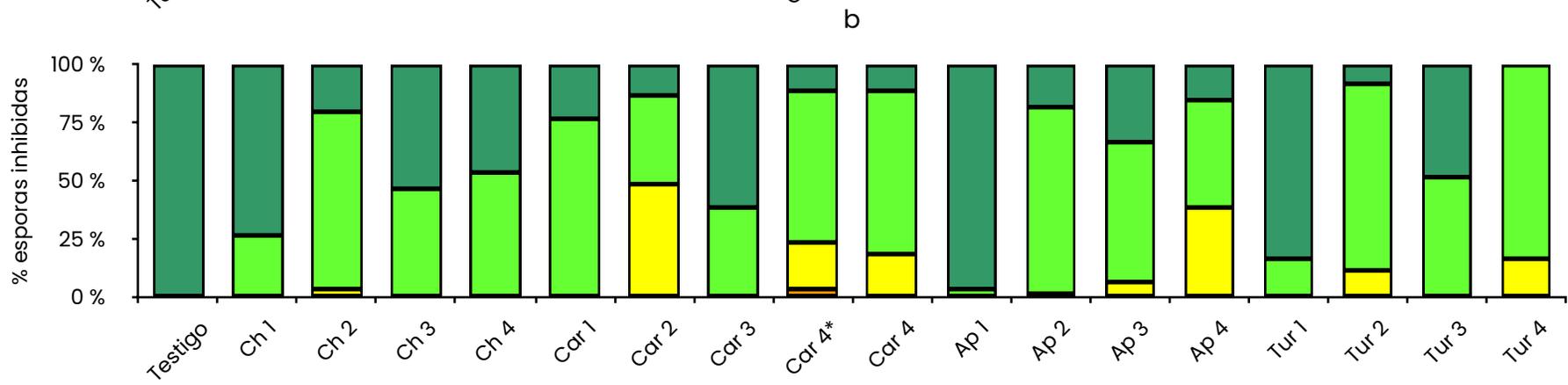
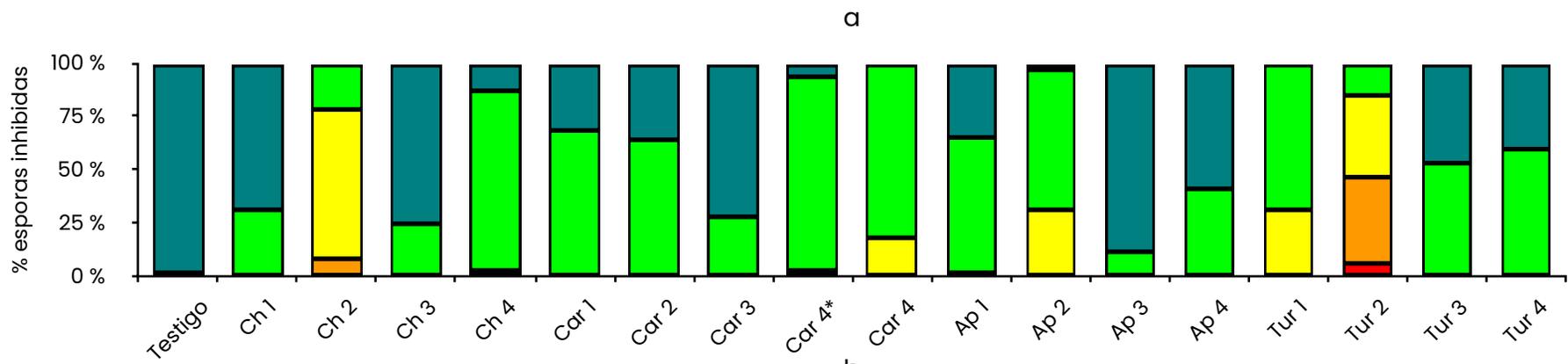
Los porcentajes de inhibición oscilaron entre un 31 a 77% para el Fenpropimorf, entre un 53 a 78% en la Espiroxamina y entre un 46 a 76% para el Fenpropidin (**Figura 4**). En los tres ingredientes activos de este grupo la casi todas las fincas evaluadas presentaron en la mayoría de las esporas inhibiciones en su tubo germinativo superiores al 70% (**Figura 5**). La concentración efectiva media promedio, obtenida para los tres ingredientes activos evaluados si bien aún se mantienen dentro de la dosis discriminatoria de 1 ppm, presentó un incremento con respecto al año anterior y superó entre 11 y 18 veces el valor

obtenido para la finca testigo, siendo el Fenpropidin el ingrediente activo con el valor EC50 más alto de las tres aminas evaluadas (**Figura 6, Tabla 4**).

Las aminas si bien presentan resistencia cruzada dentro del mismo grupo, tienen un riesgo bajo o moderado de generar resistencia y no exhiben resistencia cruzada con otros grupos inhibidores de la biosíntesis del esterol, lo que significa que entre los tres ingredientes activos utilizados no se presenta esta condición y por tanto ha posibilitado su utilización durante años. La sensibilidad de este grupo químico de acuerdo a los datos presentados en la última reunión del grupo de banano de FRAC, realizada en mayo del presente año, sigue siendo muy estable y se mantiene dentro de los rangos de variabilidad detectados en los últimos doce años, lo que reafirma los datos obtenidos para la zona de Urabá durante el año 2022 (FRAC, 2022a).



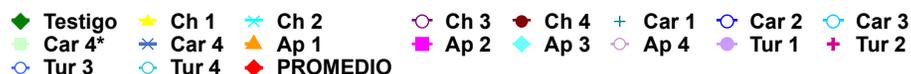
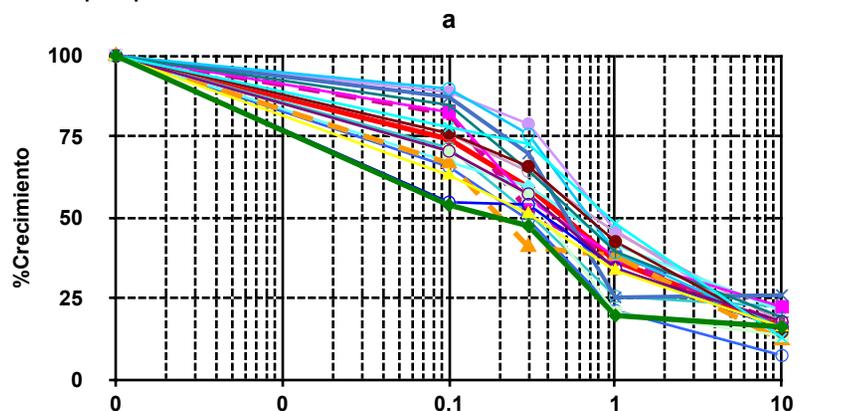
**Figura 4.** Porcentajes de inhibición del tubo germinativo para las aminas (a) Fenpropimorf, (b) Espiroxamina y (c) Fenpropidin en Urabá durante el año 2022.



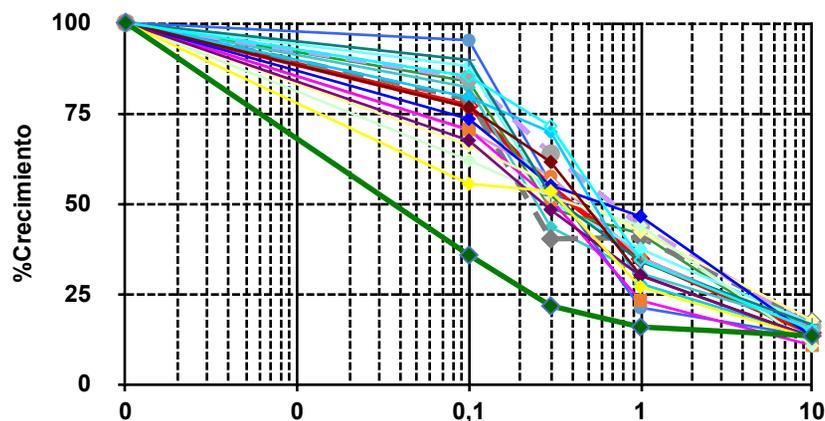
Fincas evaluadas



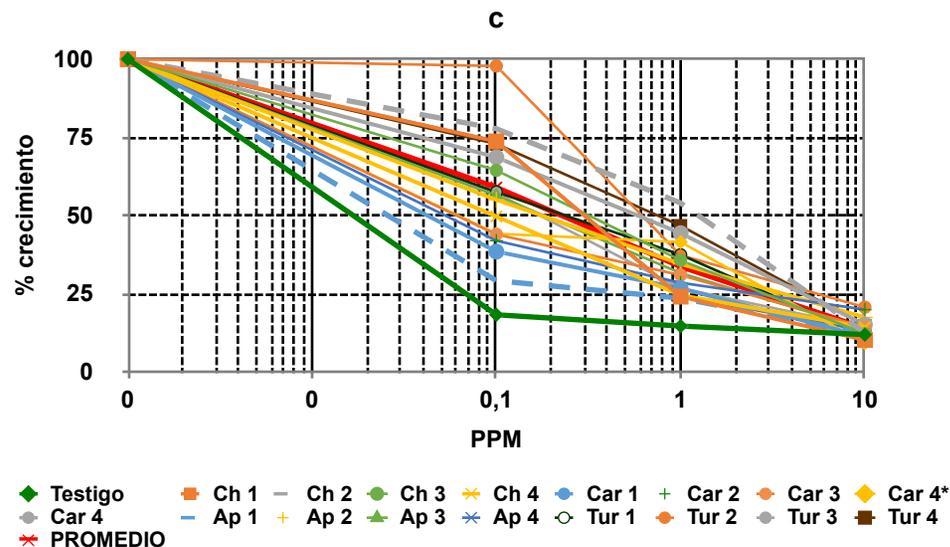
**Figura 5.** Frecuencia en porcentaje de inhibición de la longitud del tubo germinativo en 60 esporas evaluadas en la dosis discriminadora de 1 ppm para los ingredientes activos (a) Fenpropimorf, (b) Espiroxamina y (c) Fenpropidin en Urabá durante el año 2022.



**a**



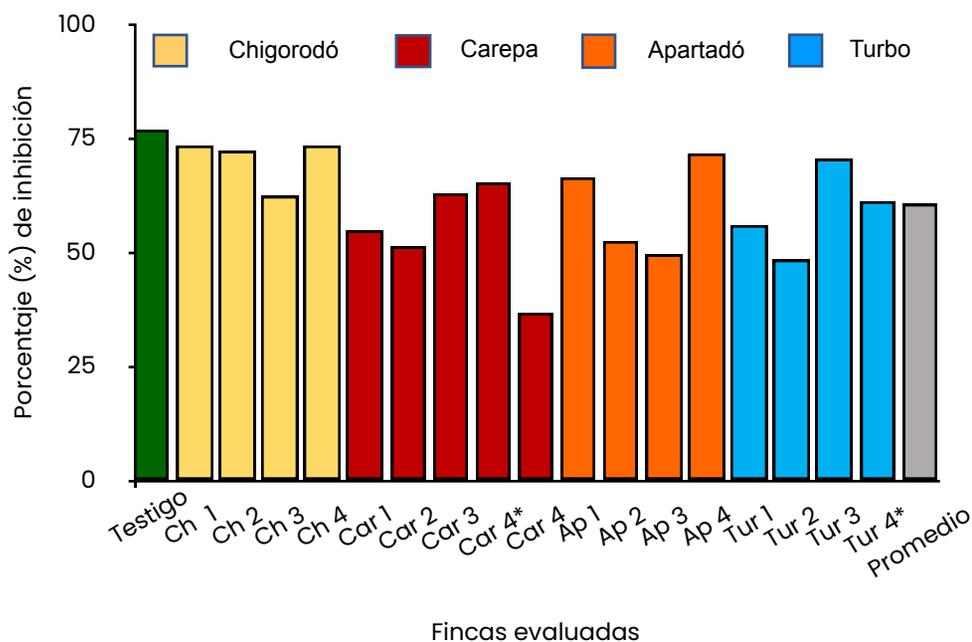
**b**



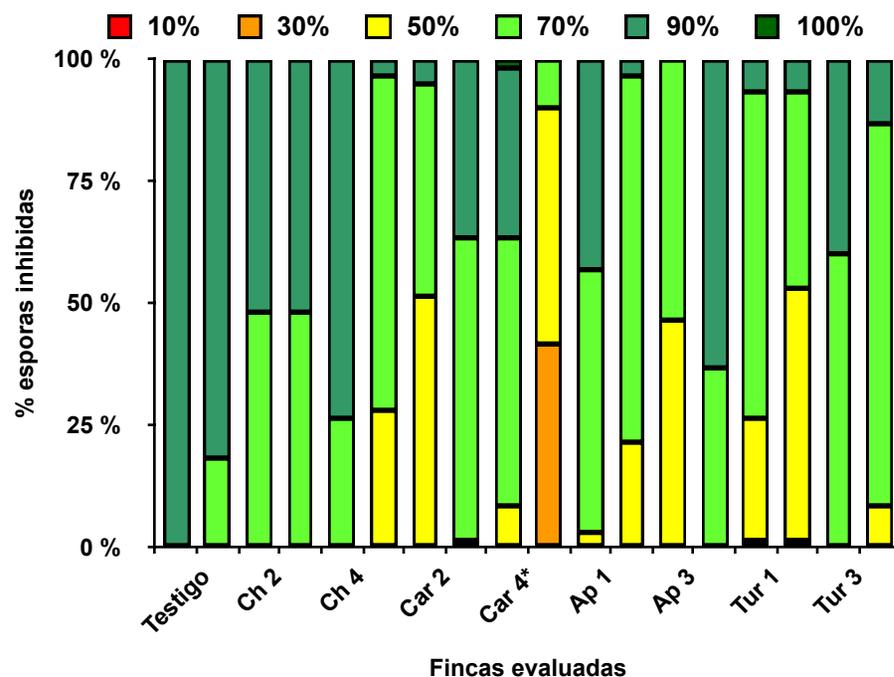
**Figura 6.** Curvas EC50 para las aminas (a) Fenpropimorf, (b) Espiroxamina y (c) Fenpropidin en Urabá durante el año 2022.

**1.1.3.3. Anilino-pirimidinas (APs).** Actualmente el único ingrediente activo de este grupo que se utiliza para el control de sigatoka negra en el cultivo de banano es el Pyrimetamil, el cual durante el monitoreo del año 2022 presentó en promedio una inhibición del tubo germinativo de 60.49% con variaciones entre el 36.66% y el 73.66% y al comparar el resultado con el obtenido en la finca testigo, la sensibilidad se redujo en un 16.42% (**Figura 7**), comportamiento que permanece estable y coincide con lo reportado por el grupo de banano de FRAC en su última

reunión, (FRAC, 2022a). En las fincas monitoreadas la reducción en la dosis discriminadora de 30 ppm, el mayor porcentaje de esporas presentaron reducciones en el crecimiento del tubo germinativo superiores al 70% con excepción de la finca Carepa 4, en donde la mayoría de esporas evaluadas redujeron el crecimiento del tubo germinativo entre un 30 a un 50% (**Figura 8**).



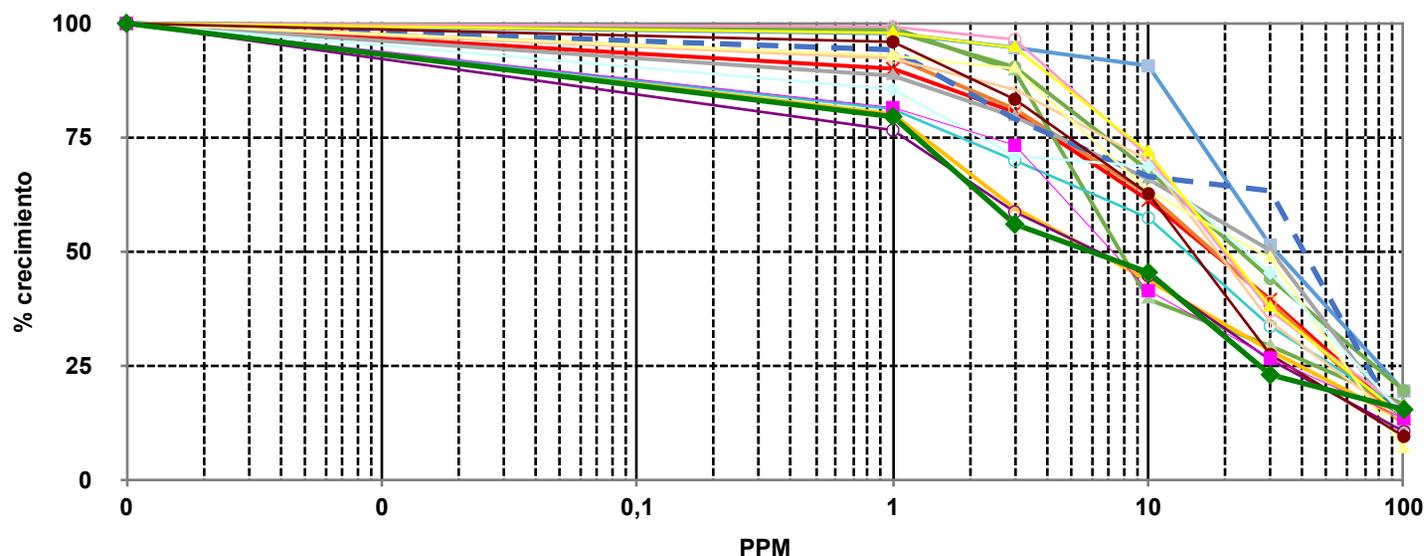
**Figura 7.** Porcentajes de inhibición del tubo germinativo para el ingrediente activo Pyrimetaniil en Urabá durante el año 2022.



**Figura 8.** Frecuencia en porcentaje de inhibición de la longitud del tubo germinativo en 60 esporas evaluadas en la dosis discriminadora de 30 ppm para los ingredientes activo Pyrimetaniil en Urabá durante el año 2022.

Los valores EC50 obtenidos para las fincas monitoreadas variaron entre 6.1 y 40 ppm, superando en promedio tres veces el valor obtenido de esta misma variable en la finca testigo y en promedio este valor alcanzó las 19.15 ppm, valor que disminuyó con relación al año anterior, manteniéndose estable y dentro del rango de la dosis discriminadora (**Figura 9, Tabla 4**).

◆ Testigo ■ Ch 1 ● Ch 2 ★ Ch 3 ○ Ch 4 ◇ Car 1 ★ Car 2 ○ Car 3 + Car 4\* — Car 4 ○ Ap 1 ▲ Ap 3 ✦ Ap 4 ● Tur 1  
■ Tur 2 ▲ Tur 3 ○ Tur 4 ✦ PROMEDIO



**Figura 9.** Curvas EC50 para Pyrimetanil en Urabá durante el año 2022.

Para este grupo químico no se recomienda realizar aplicaciones consecutivas o en bloque, debe alternarse con fungicidas pertenecientes a otro grupo químico y que no tengan resistencia cruzada y no deben excederse los 8 ciclos al año o en su defecto el 50% de los ciclos aplicados en el año (FRAC, 2022a).

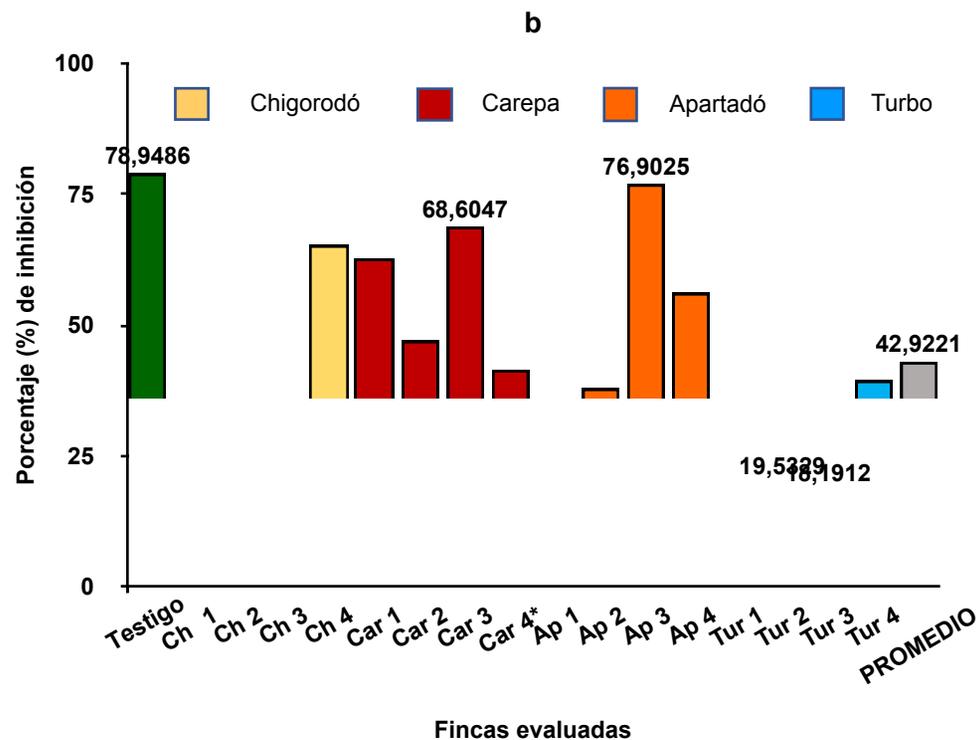
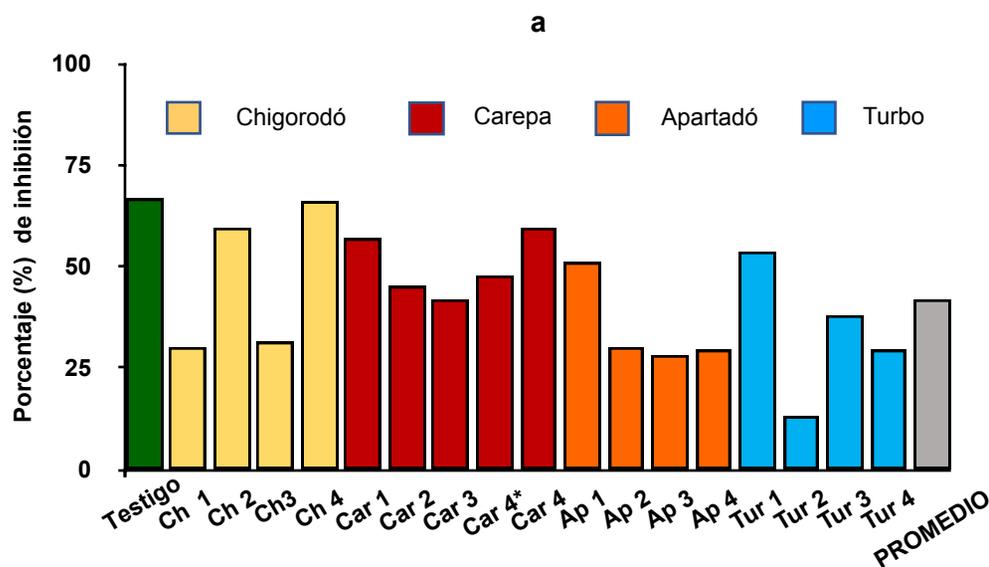
#### 1.1.3.4. Inhibidores de la Succinato deshidrogenasa (SDHIs). A este grupo químico pertenecen los ingredientes

#### PPM

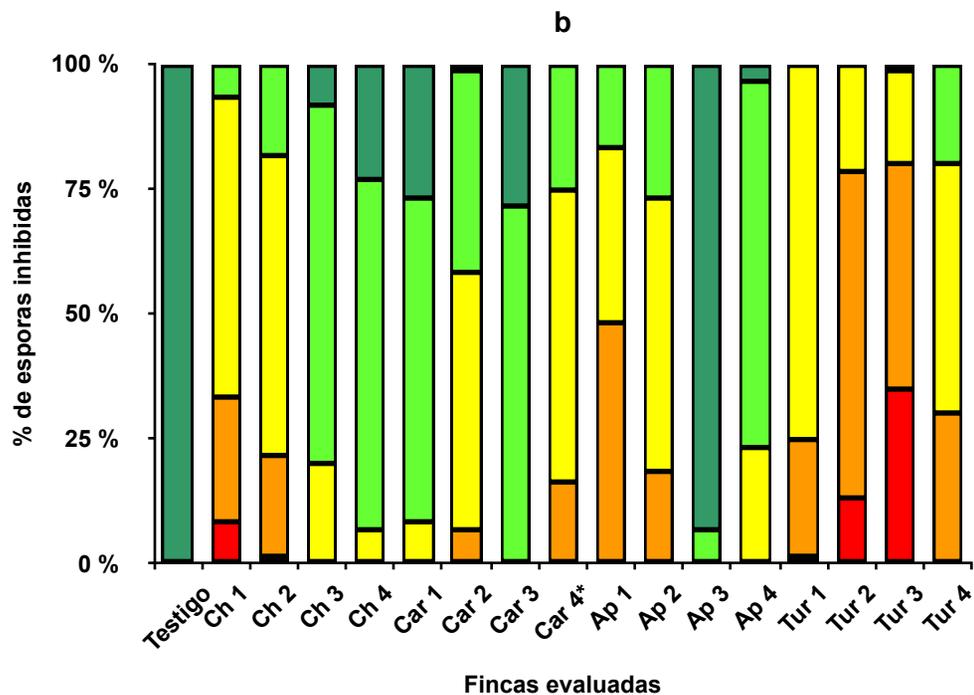
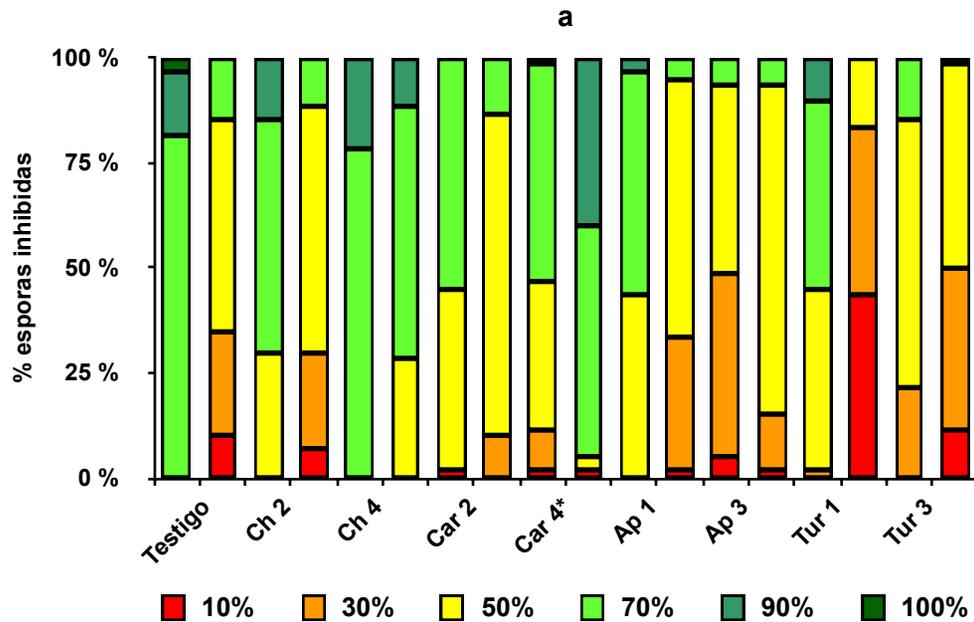
activos Boscalid (monitoreado desde 2012) y el Isopirazam, éste último es evaluado por primera vez en el laboratorio de CENIBANANO. En ambos ingredientes activos la inhibición del tubo germinativo en promedio no superó el 43% con valores que oscilaron entre el 13 al 65% en el Boscalid y entre el 18 y el 76% en el Isopirazam y la sensibilidad con respecto a la finca testigo fue de 25 y 36% menos (**Tabla 3**). Adicionalmente, los porcentajes de inhibición del tubo germinativo en la finca testigo fueron los más bajos comparado con los demás grupos químicos evaluados, con porcentajes que no superaron el 79%

(Figura 10), lo que puede estar indicando que las poblaciones silvestres tienen presencia de individuos con bajos niveles de sensibilidad.

Para ambos ingredientes activos entre 9 a 10 de las fincas monitoreadas evidenciaron un mayor porcentaje de esporas que solo redujeron su crecimiento en un 30 a 50%, siendo las fincas más críticas las ubicadas en el municipio de Turbo, principalmente Turbo 2 y 3 que incluso presentaron un alto porcentaje de esporas inhibiendo su crecimiento solo en un 10% (Figura 11).



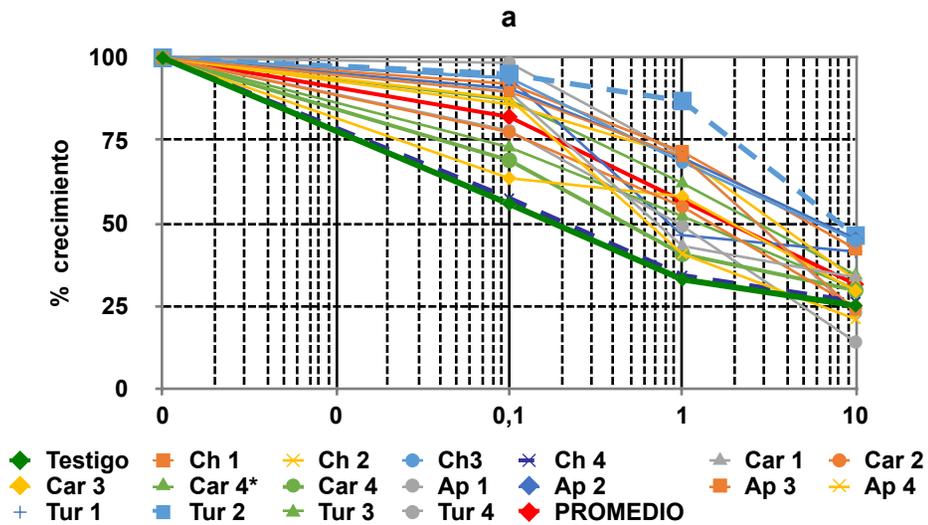
**Figura 10.** Porcentajes de inhibición del tubo germinativo para (a) Boscalid y (b) Isopirazam en Urabá durante el año 2022.



**Figura 11.** Frecuencia en porcentaje de inhibición de la longitud del tubo germinativo en 60 esporas evaluadas en la dosis discriminadora de 1 ppm para (a) Boscalid y (b) Isopirazam en Urabá durante el año 2022.

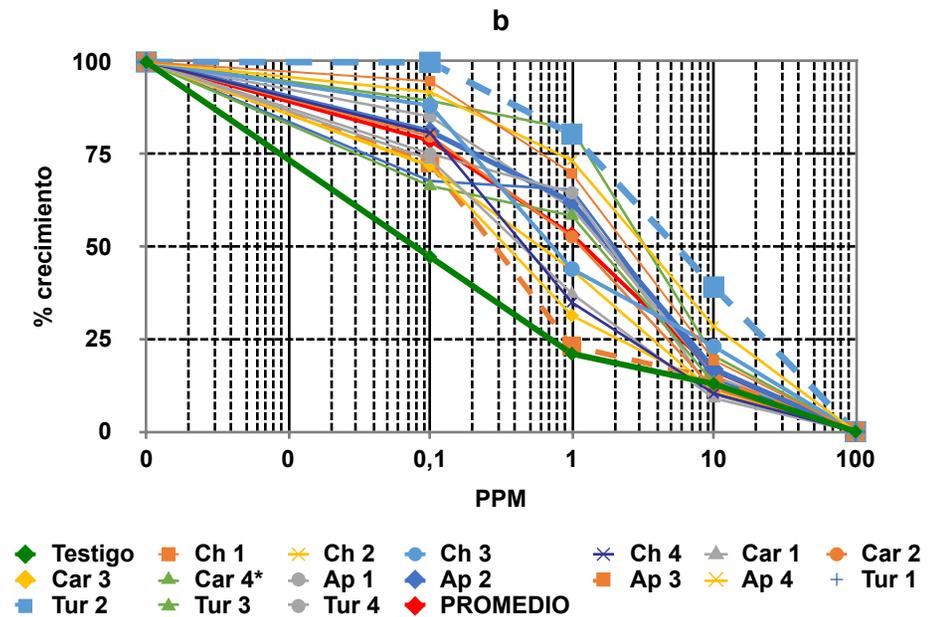
La concentración efectiva media obtenida para ambos ingredientes activos supero el valor de la dosis discriminadora de 1 ppm, siendo en promedio para el Isopirazam de 1.7589 ppm y para el Boscalid de 2.8229 ppm, valores que superaron en dos (2) y quince (15) veces más el obtenido para la finca testigo (**Tabla 4**). Los valores EC50 variaron entre 0.3 a 5.9 ppm en el Isopirazam y entre 0.2 y 8 ppm en el Boscalid (**Figura 12**).





**Figura 12.** Curvas EC50 para (a) Boscalid y (b) Isopirazam en Urabá durante el año 2022.

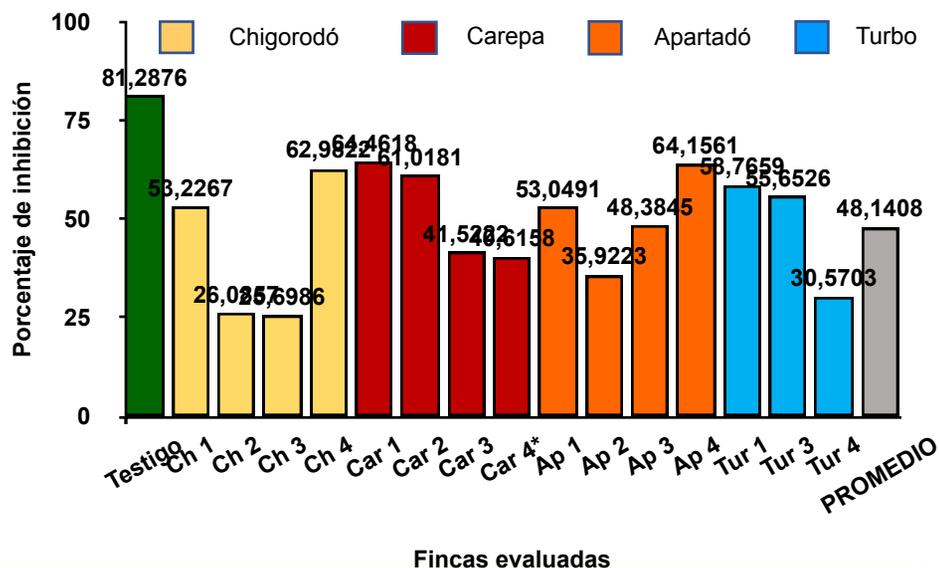
Los SDHI son inhibidores de la respiración celular en el complejo II a nivel de la enzima succinato deshidrogenasa, este grupo presenta mutaciones puntuales asociadas y en diferentes especies de hongos se ha reportado poblaciones resistentes y mutantes de laboratorio, lo que hace que este grupo tenga un riesgo moderado a alto y por tanto requiere manejo de la resistencia (Parker *et. al.*, 2014; FRAC, 2022b). En el último reporte de la reunión del grupo de banano de FRAC, se ha indicado que desde el año 2012 se viene presentado una sensibilidad reducida en Costa Rica, Ecuador, Guatemala y Colombia y aún se continúan realizando estudios para dilucidar la variabilidad de la sensibilidad y la relevancia de uso en campo. (FRAC, 2022a) y los datos obtenidos por CENIBANANO en este monitoreo confirman lo anteriormente expuesto. Los lineamientos de FRAC para el grupo de los SDHI indican que no se deben superar las 3 aplicaciones al año, ni realizarse de manera consecutiva (bloque) y dichas aplicaciones deberán estar separadas por un período de 3 meses libres de SDHI (FRAC, 2022a).



**1.1.3.5. Inhibidores de la Quinona (QiL).** Los fungicidas pertenecientes a este grupo actúan inhibiendo la

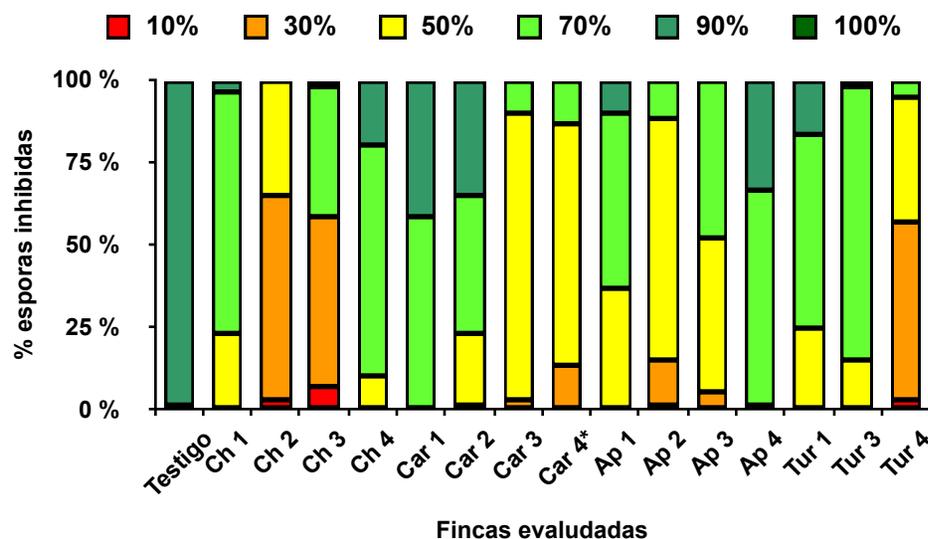
respiración celular a nivel del complejo III a nivel del citocromo b, inhibiendo la enzima ubiquinona reductasa (FRAC, 2022b). A este grupo pertenece el ingrediente activo Fenpicoxamid, el cual es monitoreado por primera vez en CENIBANANO para la zona de Urabá.

La inhibición del tubo germinativo para el Fenpicoxamid estuvo en promedio en un 48.14% con variaciones que oscilaron entre 25.7 y 64.46% (Figura 13), y en seis (6) de las fincas monitoreadas, las esporas evaluadas en la dosis discriminadora redujeron su crecimiento solamente entre un 10 a un 50%, mientras que en ocho (8) de las fincas las esporas alcanzaron a reducir su crecimiento en más del 70% (Figura 14). La inhibición del tubo germinativo en este ingrediente activo fue 33% menos que la obtenida en la finca testigo (Tabla 3).

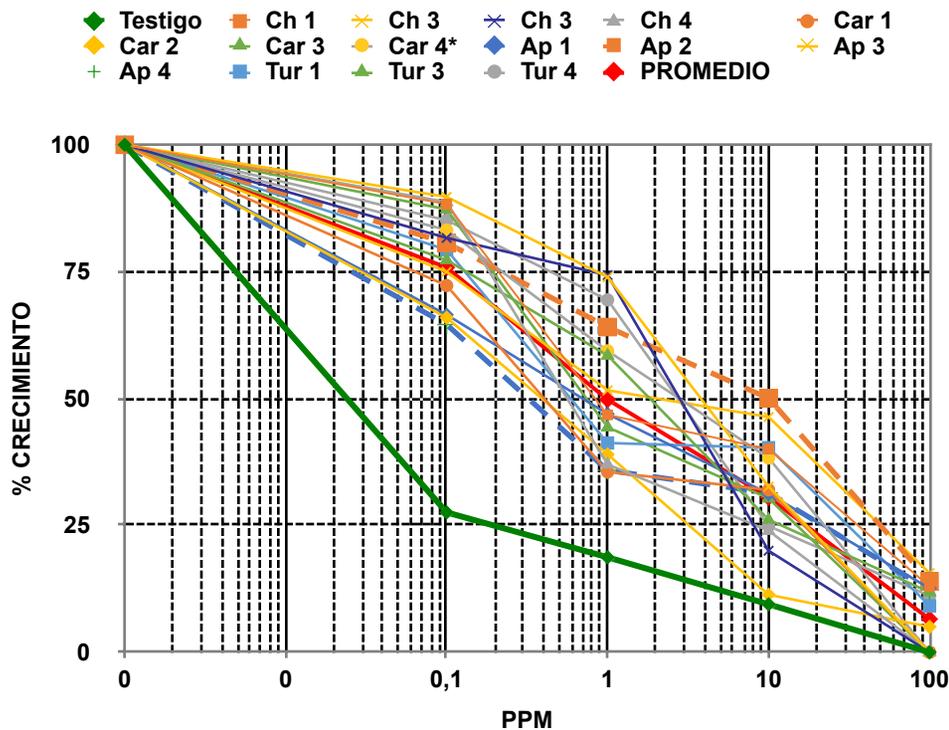


**Figura 13.** Porcentajes de inhibición del tubo germinativo para el ingrediente activo Fenpicoxamid en Urabá durante el año 2022.

La concentración efectiva media para este grupo químico en promedio fue de 2.13 ppm y estos valores variaron entre 0.33 y 10 ppm (Figura 15). Para la finca testigo se obtuvo un valor de 0.0250 ppm lo que indica que las fincas comerciales monitoreadas presentaron un valor 85 veces mayor que el obtenido para la finca testigo (Tabla 4).



**Figura 14.** Frecuencia en porcentaje de inhibición de la longitud del tubo germinativo en 60 esporas evaluadas en la dosis discriminadora de 1 ppm para el Fenpicoxamid en Urabá durante el año 2022.



**Figura 15.** Curvas EC50 para el ingrediente activo Fenpicoxamid en Urabá durante el año 2022

En las **tablas 3 y 4** se presentan los valores históricos promedio de los porcentajes de inhibición del tubo germinativo de *P. fijiensis* y los valores EC50 obtenidos en los últimos 13 años.

**Tabla 3.** Datos históricos entre el año 2009 y 2022 de los porcentajes de inhibición del tubo germinativo de *P. fijiensis* en la zona de Urabá para fincas comerciales.

HISTORICO DE PORCENTAJES DE INHIBICIÓN DE <i>P. fijiensis</i> FINCAS COMERCIALES														% Reducción Vs Testigo				
Grupo Químico	Ingrediente activo	Dosis Discriminatoria (ppm)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020	2021	2022	
DMFS (TRIAZOLES)	Difenoconazol	0,1	50,24	47,76	43,97	36,33	46,10	59,82	35,25	49,10	51,33	54,15	59,56	58,05	45,71	41,73	44,88	
	AMINAS	Fenpropimorf	1	55,30	61,71	59,08	56,54	52,13	59,47	64,6	61,39	60,93	63,77	55,00	63,07	64,10	63,73	17,46
		Espiroxamina		71,26	66,24	64,62	55,66	58,54	61,17	70,72	68,99	67,86	69,82	63,06	70,29	71,86	65,43	18,82
	Fenpropidin								41,99	50,17	57,01	50,50	41,29	40,03	49,59	66,33	19,03	
ANILINOPIRIMIDINAS	Pirimethanil	30	73,34	60,36	50,36	42,46	55,13	74,5	52,63	70,17	70,09	48,66	59,57	67,66	56,81	60,49	16,42	
SDHI	Boscalid	1				34,88	51,34	62,27	40,95	59,38	60,35	55,75	61,42	63,08	56,93	41,80	25,20	
	Isopiraxam	1															42,92	36,03
QIL	Fenpicoxamid	1															48,14	33,15

**Tabla 4.** Datos históricos entre el año 2009 y 2022 de los valores EC50 en fincas comerciales de la zona de Urabá. **F.R.** (Factor de resistencia) = Valor EC50 finca comercial/Valor EC50 finca testigo.

GRUPO QUÍMICO	INGREDIENTE ACTIVO	HISTORICO DE VALORES EC50 EN FINCAS COMERCIALES														FR
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
DMFS (TRIAZOLES)	Difenoconazol	0,11	0,1915	0,2054	0,2954	0,2048	0,0613	0,1992	0,1479	0,1294	0,1446	0,0708	0,0694	0,1500	0,1876	48
AMINAS	Fenpropimorf	0,61	0,5091	0,8271	0,7782	0,5984	0,6488	0,3273	0,2344	0,2443	0,2291	0,7083	0,5250	0,3410	0,4902	11
	Espiroxamina	0,36	0,4202	0,6495	1,1736	0,6962	0,3856	0,358	0,4173	0,4031	0,2937	0,7525	0,2857	0,2489	0,4522	12
	Fenpropidin							0,4267	0,4795	0,4055	0,1931	0,5458	0,3288	0,1657	0,3215	18
ANILINOPIRIMIDINAS	Pirimethanil	14,91	22,1496	34,6356	50,5815	22,65	3,3	26	20,4500	19,7300	29,0000	20,0800	13,2600	21,4900	19,15	3
SDHI	Boscalid				3,75	1,88	0,4167	2,33	0,7170	0,7661	0,8571	0,4796	0,5629	0,9502	2,8229	15
	Isopiraxam														1,7569	2
PICONILAMIDAS	Fenpicoxamid														2,13	85

### 1.1.4. Conclusiones

- Con excepción de los ingredientes activos Fenpropidin y Pirimetanil, todos los porcentajes de inhibición del tubo germinativo de *P. fijiensis* obtenidos para los fungicidas evaluados, disminuyeron con relación a los años anteriores,

evidenciando pérdidas de sensibilidad con respecto a la muestra testigo entre un 16,42 (Pirimetanil) y un 44,88% (Difenoconazol).

- Los ingredientes activos Difenoconazol, Boscalid, Isopirazam y Fenpicoxamid fueron las moléculas que menores porcentajes de inhibición del tubo germinativo presentaron y a su vez los que más pérdida de sensibilidad presentaron para esta variable con respecto al testigo.
- Para todos los ingredientes activos la concentración efectiva media EC50 incremento su valor con respecto a los valores obtenidos en el año 2021 y estos valores para el Difenoconazol, Isopirazam y Fenpicoxamid superaron el valor estipulado de la dosis discriminadora.
- El valor EC50 en las fincas comerciales mostró aumentos entre 3 (Pirimetanil) a 85 (Fenpicoxamid) más con respecto al valor en la muestra silvestre,

siendo Fenpicoxamid, Difenoconazol Fenpropidin y Boscalid los que mayor factor de resistencia evidenciaron.

### 1.1.5. Referencias bibliográficas

Alakonya A. E., J. Kimunye, G. Mahuku, D. Amah, B. Uwimana, A. Brown and R. Swennen. (2018). Progress in understanding *Pseudocercospora* banana pathogens and the development of resistant *Musa* germplasm. *Plant Pathology* 67:757-770. <https://doi.org/10.1111/ppa.12824>

Churchill A, (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, 307-28.

FRAC. (2022 a). Fungicide resistance action committee. (2022). Banana working group meeting minutes 2022. Recuperado de [https://www.frac.info/docs/default-source/working-groups/banana-group/group/banana-wg-meeting-minutes-2022---english.pdf?sfvrsn=fd1d4e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/working-groups/banana-group/group/banana-wg-meeting-minutes-2022---english.pdf?sfvrsn=fd1d4e9a_2)

- FRAC. (2022b). Code List ©\*2022: Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Recuperado de [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2)
- García-Munguía, A. M., García-Munguía, A., Acosta-Ramos, M., García-Munguía, O., Orozco-Santos, M., Ibarra-Juárez, L. A. y García-Munguía, C. A. (2022). Sensibilidad *in vitro* de *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) a los fungicidas sistémicos. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 45 (1): 117-125, 2022
- Guzmán, M. (2007). Estrategias para el manejo de la resistencia de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la Sigatoka negra en banano, a fungicidas triazoles. Tesis M.Sc. San José, CR, UCR. 116 h.
- Guzmán, M; Orozco-Santos, M; Pérez, L. (2013). Las enfermedades Sigatoka de las hojas de banano: dispersión, impacto y evolución de las estrategias de manejo de América latina y el Caribe. XX Reunión internacional de asociación para la cooperación en búsqueda y desenvolvimiento integral de Musáceas (banano y plátano). Fortaleza, Brasil. 98-116p
- Manzo-Sánchez G., M. Orozco-Santos, I. Islas-Flores, L. Martínez-Bolaños, S. Guzmán-González, C. L. Leopardi-Verde and B. Canto-Canché (2019) Genetic variability of *Pseudocercospora fijiensis*, the black Sigatoka pathogen of banana (*Musa spp.*) in México. *Plant Pathology* 68:513-522, <https://doi.org/10.1111/ppa.12965>
- Martínez-Bolaños L., D. Téliz-Ortiz, J. C. Rodríguez-Maciel, J. A. Mora-Aguilera, D. Nieto-Ángel, J. I. Cortés-Flores, ... and G. Silva-Aguayo. (2012). Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del sureste mexicano. *Agrociencia* 46:707-717.
- Orozco-Santos M., K. García-Mariscal, G. Manzo-Sánchez, S. Guzmán- González, L. Martínez-Bolaños, M. Beltrán-García, ... y C. B. Canto (2013) La Sigatoka Negra y su Manejo Integrado en Banano. Campo Experimental Tecomán, INIFAP. Tecomán, Colima, México. 147 p.
- Parker, J; Warrilow, A; Price, C; Mullins, J; Kelly, D; Kelly, S. (2014). Resistance to antifungals that target CYP51. *Journal of Chemical Biology*. 7(4): 143-161.

## 1.2. SERVICIO DE SANIDAD RADICULAR EN LA ZONA DE URABÁ DURANTE EL AÑO 2022

**Autores:** Luz Edith Argel Roldán, Jhojan Vargas, Yuscelis Martínez y Alba Martínez

### Resumen

Durante el año 2022 se recibieron 13 solicitudes para el servicio de sanidad radicular en los cuales se colectaron 200 muestras distribuidas en 889 hectáreas de banano en la zona de Urabá. El número de muestras para cada finca se estableció con base en el tamaño de cada uno de los lotes de acuerdo a la información proporcionada por el productor y fueron seleccionadas plantas en floración con máximo dos brácteas abiertas. En el laboratorio se determinó la cantidad de raíces totales (RT), raíces funcionales (RF), se establecieron los porcentajes de raíces vivas y de necrosis, así como la cantidad de nematodos fitopatógenos presentes. Con los datos obtenidos se determinaron los rangos para cada variable evaluada. Las zonas muestreadas evidenciaron una alta variabilidad, en donde la cantidad de raíces totales en promedio fue de 91 g/planta que es considerado adecuado para esa variable; sin embargo, la cantidad de

raíces funcionales presentó niveles deficientes con porcentajes de raíces vivas que solo alcanzaron el 68%. De igual forma el porcentaje de necrosis fue crítico alcanzando un 30% en promedio y la cantidad de nematodos fitopatógenos fue de 48.000 individuos en promedio, siendo *Radopholus similis* y *Helicotylenchus* los más predominantes. Estos resultados evidencian la necesidad de conocer el estado de las raíces para poder implementar acciones que ayuden a promover el desarrollo radicular, a conservar su calidad y disminuir las cantidades de nematodos, dado el deterioro del sistema radicular que se ha venido presentando en la zona de Urabá en los últimos años.

**Palabra clave:** Raíz total, Porcentaje de raíces vivas, *Radopholus similis*

### 1.2.1. Introducción

El sistema radicular en las plantas es fundamental tanto para absorber agua y nutrientes, como para el anclaje, sin un buen sistema radicular el desarrollo de la planta no será óptimo, el rendimiento de la planta se verá afectado y en consecuencia también la calidad de la fruta (Ruíz, 2017, Price 1995).

El deterioro del sistema radicular puede estar influenciado por muchos factores como los altos niveles freáticos, sumado a drenajes deficientes, un estado nutricional deficiente, altos contenidos de sales, una mala calidad del suelo que favorezca la compactación, así como una disminución de la actividad biológica y la presencia de patógenos como lo son los nemátodos (Chávez y Araya, 2009). Por tanto, se hace relevante determinar el estado de sanidad radicular en el cultivo que permita dilucidar cuales son los factores particulares en cada finca, que están influyendo en su desarrollo y posible deterioro que en el mediano plazo podrían impactar de manera negativa la productividad.

Es por ello que desde CENIBANANO se continúa prestando el servicio de evaluación de la sanidad radicular como una herramienta para a nuestros productores, que les permitan identificar las zonas más críticas, asociar las posibles causas e implementar zonas de manejo, dando prioridad a las áreas más críticas optimizando recursos y en pro de mejorar la productividad.

### 1.2.2. Materiales y métodos

El Servicio de sanidad radicular se realizó entre las semanas 11 y 30 en siete (7) fincas exportadoras de banano ubicadas en los municipios de Carepa, Chigorodó y Turbo, colectando un total de 200 muestras en 889.33 ha brutas. Cuatro (4) de las fincas se muestrearon por completo, mientras que en las otras tres (3), que ya habían sido evaluadas en su totalidad el año anterior, se realizó la evaluación solamente en siete lotes en tres períodos diferentes con una frecuencia de cada dos meses (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Relación de los servicios de sanidad radicular realizado en once fincas productoras de banano de exportación en Urabá durante el año 2022.

No. Solicitud	Municipio	Ha. Brutas	No. Muestras evaluadas
SR-01-2022	Turbo	29,669	8
SR-02-2022	Chigorodó	27,756	10
SR-03-2022	Turbo	26,423	8
SR-04-2022	Chigorodó	179,7	20
SR-05-2022	Carepa	251,84	56

SR-06-2022	Carepa	128,6	29
SR-07-2022	Carepa	105,4	27
SR-08-2022	Turbo	29,669	8
SR-09-2022	Chigorodó	27,756	10
SR10-2022	Turbo	26,423	8
SR-11-2022	Turbo	29,669	8
SR-13-2022	Turbo	26,423	8
<b>TOTAL 2022</b>		<b>889,328</b>	<b>200</b>

La colecta de las muestras fue determinada de acuerdo al tamaño de los lotes a evaluar, colectando una muestra cada 5.5 hectáreas. En cada finca se informó previamente la programación de muestreo y se siguieron todos los protocolos de bioseguridad y disposiciones de la finca asociados a FOC R4T, por tanto, el palín empleado para el muestreo fue proporcionado por la misma finca. En cada lote a muestrear se realizó un recorrido en zig-zag en donde se seleccionaron 5 plantas en floración (una muestra) con máximo dos brácteas abiertas y el hijo de sucesión con una hoja verdadera. En el intervalo entre la madre y el hijo de sucesión, se realizó una cajuela de 17 x 17 centímetros de ancho por 30 centímetros de

profundidad para extraer todas las raíces allí contenidas para posteriormente ser evaluadas en el laboratorio de CENIBANANO.

La sanidad radicular fue comprobada mediante la cuantificación de las raíces totales y funcionales, estableciendo el porcentaje de raíces vivas. Adicionalmente a partir de las raíces funcionales se determinó el porcentaje de necrosis y la cantidad de los principales géneros de nematodos fitopatógenos que afectan el cultivo de banano. La colecta de raíces, así como la evaluación de sanidad radicular se llevo a cabo de acuerdo a los establecidos por Araya y Calvo (2001) y ajustados a las condiciones del laboratorio de CENIBANANO.

### 1.2.3. Resultados y discusión

Basados en los rangos establecidos por Araya y Calvo en 2001 (**Tabla 2**), se establecieron los rangos en los que se ubicaron cada una de las muestras colectadas y los valores promedio para cada una de las fincas evaluadas se detallan en la **Tabla 3**.

**Tabla 2.** Valores de referencia determinados por Araya y Calvo (2001) para clasificar la cantidad de raíces totales (RT) y raíces funcionales (RF) en plantaciones bananeras.

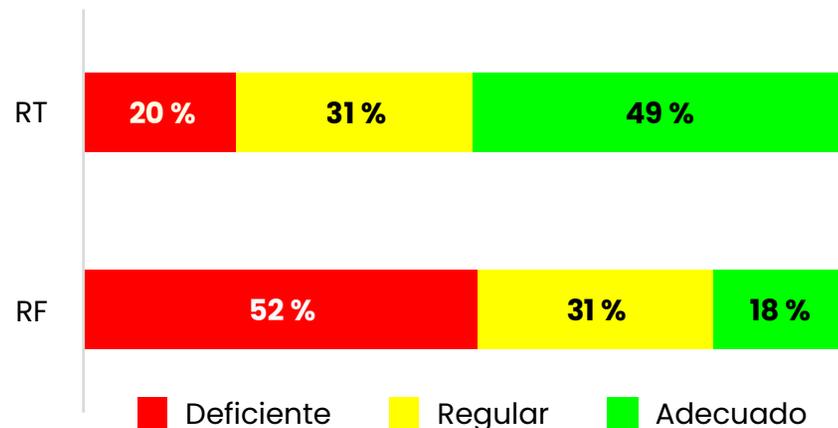
**1.2.3.1. Raíces Totales.** Las doscientas muestras evaluadas en el servicio de sanidad radicular, presentaron una variación en la cantidad de raíces totales entre 5.8 y 178.4 g/planta (datos no mostrados) y al calcular los valores promedio para cada finca evaluada la cantidad de raíces varió entre 58 y 107 g/planta. El promedio general para esta variable fue de **90.58 g/planta (Tabla 3)**, por lo que para esta variable se estableció que se encuentra en un rango adecuado **(Tabla 2)**.

De las doscientas muestras analizadas, el **49%** (98 muestras) se ubicaron en el rango **adecuado** de cantidad de raíces totales, un 31% de las muestras (62), se ubicaron en el rango regular y un 20% (40 muestras) se ubicaron en el rango deficiente **(Figura 1)**.

	Deficiente	Regular	Adecuado
<b>Raíz Total (RT)</b>	<70 g/planta	70-90 g/planta	> 90 g/planta
<b>Raíz Funcional (RF)</b>	<60 g/planta	60-75 g/planta	> 75g/planta
<b>% Raíz Funcional</b>	<70%	70-85 %	>85%
<b>% Necrosis</b>	≥30%	≥15% y <30%	<15

**Tabla 3.** Datos promedio de cantidad de raíces totales (RT) y raíces funcionales (RF), porcentaje de raíz funcional (%RF) y porcentaje de necrosis (%NRF) de los diferentes servicios de sanidad radicular realizados en once diferentes fincas de banano evaluadas durante el año 2021 en la zona de Urabá.

<b>Adecuado</b>	<b>Regular</b>	<b>Deficiente</b>
-----------------	----------------	-------------------



**Figura 1.** Porcentaje de la cantidad de raíces totales (RT) y cantidad de raíces funcionales (RF) en 200 muestras analizadas durante el año 2022 procedentes de siete fincas de banano en la zona de Urabá, de acuerdo a los rangos establecidos por Araya y Calvo (2001).

No. Solicitud	RF (g/p)	RT (g/p)	%RF	% Necrosis RF	Total fitoparásitos
SR-01-2022	74,78	102,08	73,32	42,29	67000
SR-02-2022	46,48	72,46	63,48	43,42	49840
SR-03-2022	63,18	84,15	78,72	17,44	47945
SR-04-2022	58,50	92,36	63,32	28,42	61480
SR-05-2022	72,18	106,79	67,25	31,89	46500
SR-06-2022	74,78	102,08	73,32	42,29	67000
SR-07-2022	58,46	98,52	58,89	33,26	31160
SR-08-2022	57,58	71,38	80,27	11,97	24259
SR-09-2022	53,96	82,44	66,19	30,18	40519
SRI0-2022	56,01	82,92	66,94	27,44	50483
SR-11-2022	47,33	75,88	61,15	29,23	42350
SR-13-2022	45,30	57,90	74,58	15,93	63033
<b>Promedio General</b>	<b>61,23</b>	<b>90,58</b>	<b>67,57</b>	<b>30,02</b>	<b>48471</b>

**Tabla 3.** Datos promedio de cantidad de raíces rotas (RT) y funcionales (RF), porcentaje de raíz funcional (%RF), porcentaje de necrosis (%NRF) y cantidad de nematodos fitopatógenos de los servicios de sanidad radicular realizados en siete fincas de banano durante el año 2022 en la zona de Urabá.

Los bajos niveles de nutrición pueden influir en la cantidad de raíces totales, especialmente si se tienen bajos niveles de zinc, elemento que favorece los niveles de raíces totales y funcionales, así como adecuados niveles de

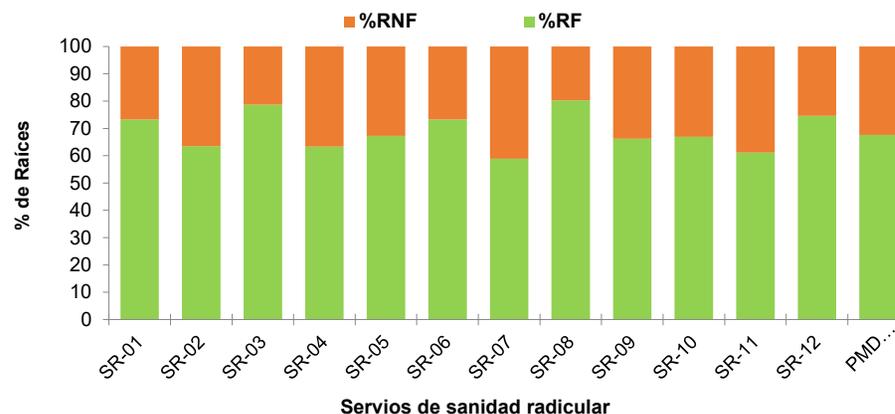
materia orgánica de acuerdo a los reportes de Chávez y Araya (2009).

**1.2.3.2. Raíces funcionales.** El muestreo realizado durante el año 2022 en las siete fincas que solicitaron los servicios de sanidad radicular, evidenció que las raíces funcionales, presentaron una variación entre 3.2 y 124.4 g/planta (datos no mostrados) y al calcular los valores promedio para cada finca evaluada, mostró una variación de la cantidad de raíces funcionales entre 45.3 y 74.78 g/planta. El promedio general para esta variable fue de 61.23 g/planta (**Tabla 3**), determinando que las raíces funcionales se encuentran en un rango regular (**Tabla 2**).

De acuerdo a los rangos establecidos para las raíces funcionales, el 51.5% (103) del total de las muestras analizadas están en el rango deficiente, un 31% (62) de las muestras se ubicaron en el rango regular y el restante 17.5% (35) de las muestras, evidenciaron un nivel adecuado de cantidad de raíces funcionales (**Tabla 3, Figura 1**).

Al observar las raíces funcionales en términos de porcentaje, se observa una variación entre 37.06 y 95.24% (datos no mostrados) y en promedio las raíces fueron

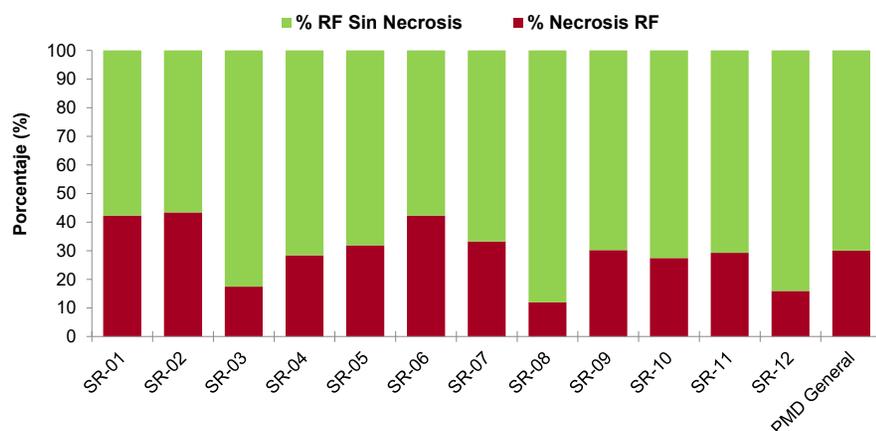
funcionales hasta un 67,57% ubicándose en un rango deficiente. La muerte de raíces funcionales, estuvo en promedio en 32.43% con porcentajes promedio que variaron en los trece servicios realizados entre 19.73 y 41.11% (**Tabla 3, Figura 2**).



**Figura 2.** Porcentaje promedio de raíces funcionales vs. raíces no funcionales (muertas) de los servicios de sanidad radicular realizados en siete fincas bananeras en la zona de Urabá durante el año 2022.

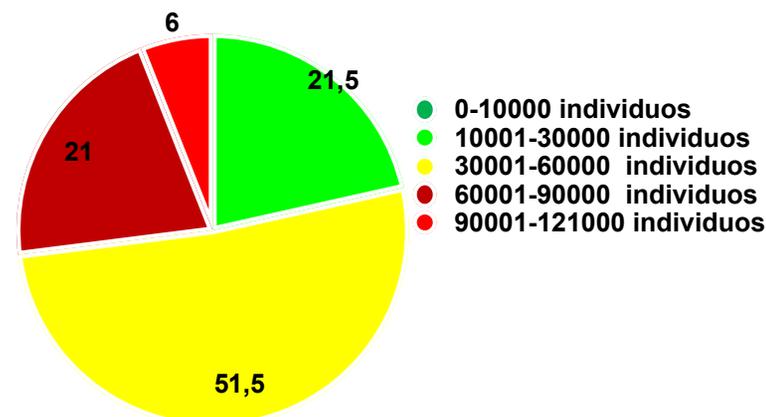
**1.2.3.3. Nemátodos fitoparásitos.** La necrosis observada en las raíces funcionales en las doscientas muestras de las siete fincas donde fueron colectadas, estuvo

en promedio en un 30.02% porcentaje que es considerado alto y que puede estar generando problemas en la productividad. La necrosis promedio en las fincas evaluados vario entre 11.97 y 43.42% (**Tabla 3**) y presentó variaciones entre las doscientas muestras colectadas entre 2 y 78.5% (datos no mostrados).



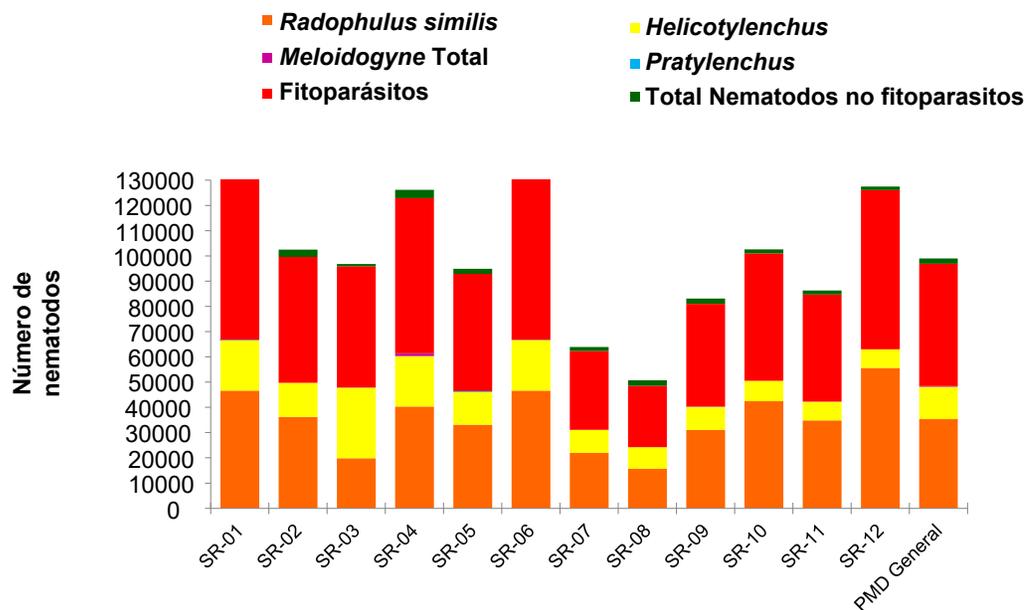
**Figura 3.** Porcentajes promedio de Necrosis de los servicios de sanidad radicular realizados en siete fincas bananeras en la zona de Urabá durante el año 2022.

La cuantificación de nemátodos fitopatógenos mostró que el 21.5% de las muestras (43 muestras) contenían entre 10.000 y 30.000 individuos, el 51.5% (103) contenían entre 30.000 y 60.000 Fito nematodos; mientras que un 27% de las muestras (54) superaron los 60.000 individuos (**Figura 4**). La cantidad de nemátodos fitopatógenos estuvo en promedio en 48.471 individuos y los valores promedio en las fincas monitoreadas oscilaron entre 24.259 y 67.000; mientras que las doscientas muestras presentaron una variación entre 10.400 a 120.000 (datos no mostrados).



**Figura 4** Frecuencia (%) de cantidades de nemátodos fitopatógenos en 200 muestras analizadas procedentes de siete fincas de banano durante el año 2022 en la zona de Urabá.

Los nematodos fitopatógenos más predominantes fueron *R. similis* y *Helicotylenchus* con valores promedios de 35.339 y 12.810, respectivamente (**Figura 5**).



**Figura 5.** Cantidades de nemátodos fitopatógenos presentes en los servicios analizados de siete fincas de banano durante el año 2022 en la zona de Urabá.

Es posible que en la zona se presenten contenidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn), por fuera de los niveles

adecuados para el cultivo, así como bajos porcentajes de materia orgánica y que este desbalance este favoreciendo las poblaciones de nemátodos tal como lo reportan Chávez y Araya, en el 2009; Tabora *et. al.*, en el 2002.

#### 1.2.4. Conclusiones

- La cantidad de raíces totales se ubicaron principalmente en el rango adecuado con un 49% en las muestras evaluadas y su valor promedio estuvo al límite del rango adecuado con 90.58 g/planta. Sin embargo, la cantidad de raíces funcionales que se ubicaron en el rango adecuado solo fueron el 17.5% de las muestras, mientras que un 51.5% se ubicaron en un rango deficiente y, la cantidad obtenida se considera como en un nivel regular, puesto que solamente se obtuvieron en promedio 61.23 g/planta, muy cercano al límite deficiente. Lo anterior evidencia una marcada pérdida de funcionalidad de las raíces en las fincas a las cuales se les presto el servicio de sanidad radicular.
- Solo el 67.57% de las raíces están vivas o son funcionales y este valor es considerado crítico dado que lo ideal en el cultivo de banano es tener al

menos el 85% de las raíces funcionales. Esto puede sugerir que existen factores que marcadamente están afectando directamente el sistema radicular generando en promedio hasta un 32.43% la muerte de raíces.

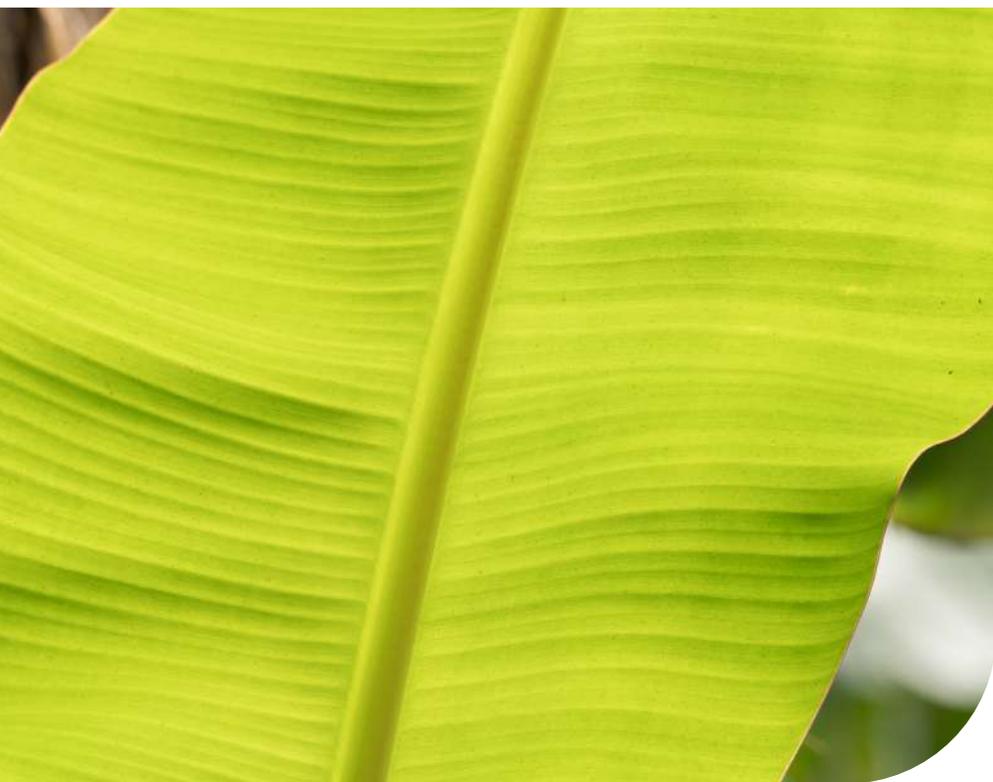
- La necrosis promedio de raíces funcionales superó el 30%, porcentaje considerado alto y que es un indicador de una pérdida de eficiencia en la funcionalidad de las raíces, dado que la mitad de las muestras evaluadas superaron incluso este porcentaje promedio de necrosis.
- El 78.5% de las muestras evaluadas superaron el umbral de los 30.000 nemátodos fitopatógenos, siendo los más predominantes *R. similis* y *Helycotilenchus*. Ninguna muestra presentó menos de 10.000 individuos, confirmando nuevamente que en la zona de Urabá las poblaciones de nematodos están por encima de los valores reportados como limitantes para la producción en otros países donde se cultiva banano, principalmente en América Latina y el Caribe.
- La condición de sanidad radicular en las muestras evaluadas en este período 2022 puede considerarse como crítico dado la pérdida de funcionalidad,

ocasionada ya sea por la muerte de raíces, los altos porcentajes necrosis y la gran cantidad de nematodos fitopatógenos presentes.

### 1.2.5. Referencias bibliográficas

- Araya, M. y Calvo, C. (2001). Cantidad de raíces de banano en los diez cantones productores de Costa Rica. *CORBANA*, 27(54), 47-64
- Chávez-Velazco C.; Araya-Vargas M. (2009). Correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador. *Agronomía mesoamericana* 20(2):361-369
- Price N.S. (1995). Banana morphology 1: roots and rhizomes. *in* Bananas and Plantains (S. Gowen ed.). Chapman and Hall, London. 190-205.
- Ruiz-Anaya, D.R. (2017). Uso de hormonas naturales, comerciales y fósforo en el crecimiento radical en plantas jóvenes de banano a partir de cormos y cultivo de tejido. Tesis de grado, Universidad EARTH. Consultado en: <https://repositorio.earth.ac.cr/handle/UEARTH/387>

Tabora, P; Okumoto, S; Elango, F. (2002). Organic and transition bananas: experience with effective microorganisms (EM). En: Riveros, AS; Pocasangre, LE; Rosales, FE. eds. Inducción de resistencia y uso de tecnologías limpias para el manejo de plagas en plantas. Memorias del taller internacional realizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. CATIE-INIBAP. p. 87-93. Recuperado de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000044.pdf>



### 1.3 RECUBRIMIENTO FUNCIONAL A BASE DE ALMIDON DE YUCA MODIFICADO (INCORPORANDO AGENTES ANTIFÚNGICOS) SOBRE LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PUDRICIÓN DE CORONA EN BANANO CAVENDISH

**Autores:** Juan Diego Díaz Ochoa, Felipe Salcedo Galán, Ariel Mauricio Vaca Bohórquez, Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Sebastián Zapata Henao.

#### Resumen

Los recubrimientos a base de productos alimenticios son una tecnología que ofrece una forma integral de intervenir en procesos propios de la maduración y la senescencia de productos hortofrutícolas, como también, la incorporación de agentes activos para el control de enfermedades postcosecha. En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar un recubrimiento funcional a base de almidón de yuca modificado para determinar su capacidad de control frente a enfermedades postcosecha, mediante la incorporación de moléculas químicas en concentraciones reducidas y en la prolongación de la vida verde de la fruta en condiciones simuladas de embarque. Para ello, se evaluaron

formulaciones con la incorporación de concentraciones reducidas de fungicidas tradicionales aplicadas por aspersión y comparadas con el tratamiento convencional. De igual manera, se implementaron tratamientos con inoculación artificial de los agentes causales de pudrición de corona *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp. Los resultados obtenidos evidenciaron que el uso del recubrimiento con la incorporación de una concentración reducida del fungicida al 60%, controla igualmente la enfermedad cuando fue comparado con el control convencional. Además, la fruta tratada con el recubrimiento presentó menor contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix), mayor firmeza y grados de maduración menores, lo que podría indicar que tiene un efecto en la prolongación de la vida verde o útil de la fruta.

**Palabras clave:** Recubrimiento, Pudrición, Postcosecha, *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp.

### 1.3.1. 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 del 90% del total de exportaciones globales de banano, con un promedio anual de 50 millones de toneladas (Food and agriculture organization of the United, 2022). Es producida principalmente en países tropicales, por este motivo esta fruta representa un aporte importante para la economía de países en vía de desarrollo como es el caso de Colombia, que para el 2021 se ubicó como el quinto mayor exportador de banano generando 898 millones de dólares (AUGURA, 2022), lo cual representa una participación del 10 % de las exportaciones globales.

Considerando la relevancia del banano Cavendish como producto de exportación para Colombia, resulta igualmente importante el conjunto de variables que interfieren en las diferentes etapas de su producción y que determinan su calidad organoléptica como alimento. Los criterios que definen dicha calidad se encuentran clasificados en aspectos como apariencia, olor, sabor, inocuidad y vida útil. La evaluación del banano como producto bajo estos criterios determina su comerciabilidad y consecuentemente su no cumplimiento termina repercutiendo en restricciones de mercados, pérdidas del total del producto o de su valor (OMS & FAO, 2007).

Las pérdidas postcosecha ocurren por diferentes factores. En las frutas tropicales destinadas para exportación se presentan desde la cosecha con valores entre 10 % - 28 % y continúan aumentando durante su transporte y comercialización, pudiendo llegar hasta el 80 % (Md Nor y Ding, 2020). Específicamente para banano, las pérdidas postcosecha se producen por la maduración prematura, lesiones por frío, pérdida de agua, lesiones mecánicas y enfermedades postcosecha (Thakur et al., 2019); problemáticas que se han controlado convencionalmente mediante de BPA (buenas prácticas agrícolas) (FAO, 2017), plaguicidas y control de atmósferas durante el transporte.

En la actualidad se presentan nuevos retos de cara a la reducción de pérdidas de banano. En cuanto a enfermedades postcosecha, las causadas por hongos son las que más se presentan, siendo las más importantes la pudrición de corona y antracnosis, cuyos patógenos pertenecen a un complejo de hongos, entre ellos *Colletotrichum* sp. *Fusarium* sp., entre otros (Lassois y Bellaire, 2014). Así, el tratamiento con fungicidas y BPA para esta problemática ha sido efectivo, pero 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 Martínez y Yoshioka Tamayo, 2022), destino de más del 70 % exportaciones colombianas (AUGURA, 2022).

De igual manera, sucede con la pérdida de agua y la maduración prematura, que se presentan a pesar de los controles de gases, temperatura y humedad que se realizan en embarque. Sumado a esto la modificación de los tiempos de transporte conocida como la crisis de contenedores a raíz de la reciente pandemia por covid-19 (AUGURA, 2022) y las características propias del banano como la alta densidad de estomas que benefician el intercambio de gases y la transpiración, propicia que la fruta se madure antes de llegar al destino (Md Nor y Ding, 2020). Consecuentemente, las alternativas para el control de enfermedades y la prolongación de la vida útil de frutas son ampliamente estudiadas. Algunas de estas, enfocadas en el control de patógenos como fungicidas orgánicos, controles biológicos y otros tratamientos de baja toxicidad (Alvindia, 2013; da Costa et al., 2021; Dadrasnia et al., 2020). Otras alternativas son los recubrimientos, una de las más promisorias como tratamiento postcosecha, ya que además de sus resultados en la prolongación de la maduración, mediante su efecto barrera capaz de regular gases, humedad y aportar propiedades mecánicas, también pueden permitir

la incorporación de agentes activos como antioxidantes y antimicrobianos (Jodhani y Nataraj, 2021; Lundgren et al., 2021; Odetayo et al., 2022; Thakur et al., 2019).

Bajo la misma filosofía de ofrecer una alternativa integradora y de baja toxicidad nace el convenio entre Metcover y Augura/Cenibanano. Metcover, Spin-off de la Universidad de los Andes, que durante 10 años ha investigado bioproductos para la reducción de pérdidas postcosecha de frutas, llegando así a una matriz de almidón de yuca modificado, capaz de incorporar agentes activos, de fácil dilución en agua y aplicación. Actualmente, Metcover ha obtenido resultados prometedores *in vitro*, en relación con la inhibición de crecimiento en un 95 % de *Botrytis cinerea* hongo causante de la pudrición gris en moras y una reducción del 35 % de individuos afectados por la enfermedad (David, 2021; Michelle, 2019), así como una reducción de pérdidas de peso del 5 % en papaya maradol (Valentina, 2017). Actualmente, la Spin-off se enfoca en el diseño de un producto basado en la misma matriz como coadyuvante postcosecha para banano, en busca de la reducción del uso de fungicidas y la prolongación de la vida útil. En ese orden de ideas, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de las formulaciones a

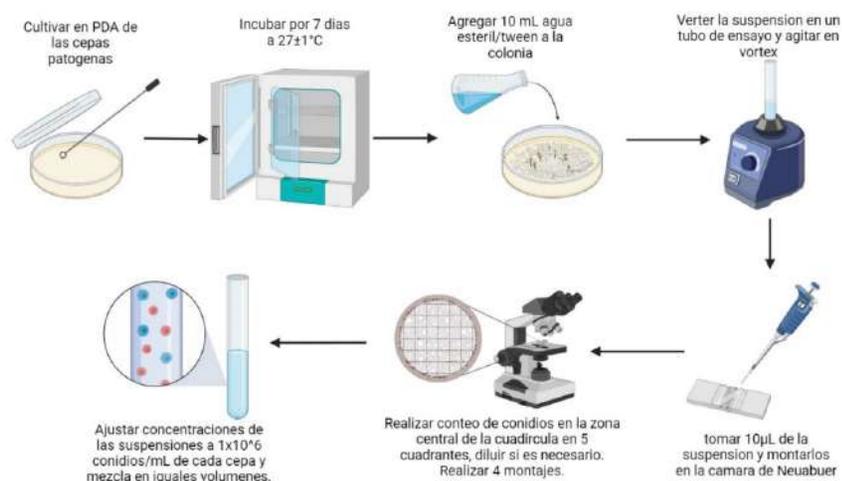
base de almidón modificado como coadyuvantes postcosecha para banano Cavendish frente a la pudrición de corona, como también, determinar la funcionalidad para prolongar la vida útil en condiciones simuladas de embarque.

### **1.3.2. Materiales y métodos**

**1.3.2.1. 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.

**1.3.2.2. Preparación de suspensiones fúngicas.** Las cepas de los hongos patógenos *Fusarium sp* y *Colletotrichum sp* con las cuales se elaboraron las suspensiones de conidios usadas en las pruebas *in vitro* e *in situ* fueron aisladas, conservadas y obtenidas del cepario de Augura-Cenibanano bajo el método de papel filtro. Inicialmente se utilizaron 5 papeles por placa de Petri en Agar Papa Dextrosa (PDA) con 150 ppm de sulfato de estreptomina (SE) para la reactivación de las cepas, enseguida se dispusieron a una temperatura de 27°C durante 7 días. Posterior a la purificación y caracterización de las cepas

fúngicas obtenidas, se procedió a preparar las suspensiones fúngicas adicionando 10 ml de Tween 80 al 0.02 % v/v a cada placa de Petri, agitándose con asa de Drigalsky y posterior proceso de filtrado con gasa estéril. Las suspensiones de cada cepa se ajustaron mediante un hematocimetro (Neubauer, Alemania) a una concentración de  $5 \times 10^5$  conidios/ml para obtener una suspensión final de inoculación de  $1 \times 10^6$  conidios/mL (Figura 1).



**Figura 1.** Preparación de suspensiones fúngicas de *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp. a una concentración de  $5 \times 10^5$  conidios/ml para una suspensión final de inoculación de  $1 \times 10^6$  conidios/ml. Creado con BioRender.com

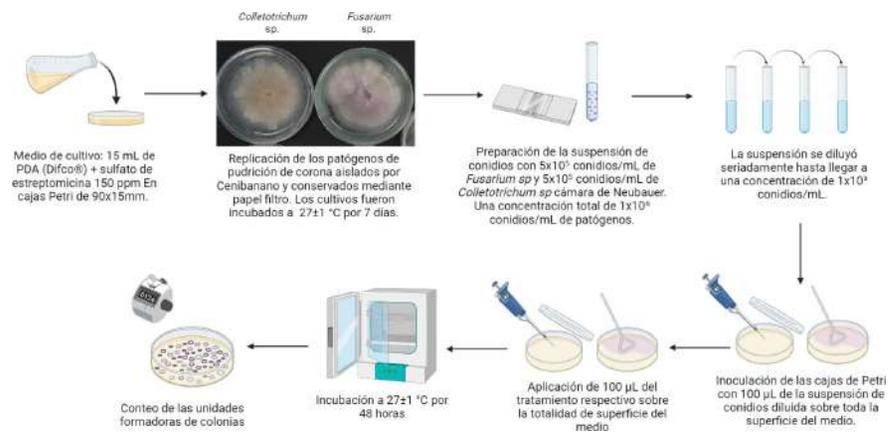
**1.3.2.3. Preparación del coadyudante.** Se evaluaron 2 formulaciones MET, la matriz de almidón modificado (MET1) y la matriz más extracto vegetal (MET2) producidas por el equipo Metcover en el Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Estas se recibieron en presentación polvo y se prepararon según indicaciones de Metcover. Las formulaciones MET tienen una concentración de 0.016 p/v. Los agentes fungicidas se manejaron a dos concentraciones: al 40 % y 20 % respecto a la concentración de la mezcla usada tradicionalmente (thiabendazol 396 ppm + azoxystrobin 300 ppm).

**1.3.2.4. Evaluación *in vitro*.** Se realizó un diseño completamente al azar, teniendo como factor el tratamiento aplicado con 8 niveles, siendo estos 3 controles y 5 formulaciones MET. El experimento se realizó por triplicado tomando como unidad experimental una caja de Petri. La suspensión de conidios diluida 3 veces ( $1 \times 10^3$  conidios/ml) se utilizó como inóculo (Tabla 1).

Nº	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

**Tabla 1.** Tratamientos evaluados *in vitro*.

En esta primera aproximación *in vitro* se propuso evaluación 1:1 entre volúmenes de la formulación MET y el inoculo, siendo este 100µL. Cada caja de Petri se preparó con 15 mL de PDA más sulfato de estreptomycin 150 ppm, las cuales se inocularon con el volumen de la suspensión fúngica. Posteriormente, se aplicó el mismo volumen del tratamiento correspondiente, se esparció con asa Drigalsky y se dejaron secar por 40 minutos. Seguidamente, se incubaron por 48 horas y se realizó el conteo de colonias. La metodología se representa en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Metodología evaluación *in vitro*. Creado con BioRender.com

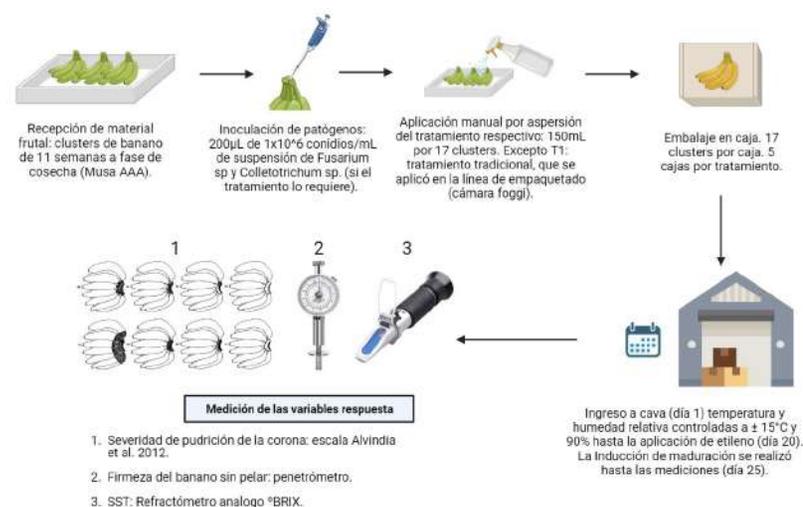
**1.3.2.5. Evaluación *in situ*.** Basándose en los resultados *in vitro*, para la evaluación *in situ* se usaron las formulaciones de MET1 y MET2 con una concentración de 40 % de fungicidas. De igual forma él experimento, se diseñó completamente al azar, con 8 tratamientos aplicados en 5 cajas, tomando como unidad experimental 1 caja de bananos compuesta por 17 clusters (pseudorepeticiones). 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. Los tratamientos se componen por control positivo (tratamiento convencional), control negativo (fruta inoculada sin tratamiento convencional), las formulaciones con MET y el fungicida orgánico. Cada uno se realizó con y sin inoculación de patógenos, teniendo así, 8 tratamientos con 5 repeticiones y 17 pseudorepeticiones (**Tabla 2**).

Nº	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	-	-	-

**Tabla 2.** Tratamientos evaluados *in situ*

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  $1 \times 10^6$  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  $15 \pm 1$  °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 (**Figura 3**).



**Figura 3.** Metodología de aplicación artificial de suspensiones fúngicas y almacenamiento en cava. Creado con BioRender.com

En primer lugar, se estimó la severidad de pudrición de corona para cada cluster haciendo uso de la escala propuesta por Alvindia et al., (2012). Posteriormente, se realizó un promedio ponderado de todos los índices de las pseudorepeticiones, obteniendo así un valor de severidad de la enfermedad para cada repetición. Se trabajó con un porcentaje de severidad que representa la relación entre el promedio ponderado para cada repetición entre el grado máximo de severidad para una caja, siendo el supuesto de 17 clusters con índice 7 de severidad. Seguidamente se procedió a realizar las pruebas de sólidos solubles totales y firmeza. Para ello, se seleccionaron 3 bananos al azar por caja y se midió un dato de firmeza al centro de cada uno sobre la cáscara con penetrómetro. Por último, los sólidos solubles totales se midieron a partir de los mismos 3 bananos, macerando una muestra y midiendo grados Brix mediante un refractómetro análogo.

Por otra parte, mediante el software MATLAB se realizó un análisis de color a partir de fotografías tomadas con un dispositivo móvil evidenciando diferencia de color entre la

fruta de diferentes tratamientos. Se relacionaron clusters de las fotografías que coincidieran con diferentes etapas de maduración del banano (Edwards, 2019). De estos clusters seleccionados se tomó el color al centro del banano para producir una escala de color asociada al grado de maduración. Una vez obtenida la escala, se tomó un cuadrado de 50x50 píxeles al centro de cada banano de 5 clusters por caja para todos los tratamientos, generando así, una paleta de tonalidades, con 25 cuadrados por tratamiento, que posteriormente se indexó con la escala y se le realizó un histograma de color, mostrando el porcentaje de píxeles que coincidía con un color al centro del banano asociado a determinado grado de maduración. Es importante aclarar que las fotografías usadas para el análisis no se realizaron en entorno controlado de luminosidad ni de otros factores con posible incidencia sobre el color.

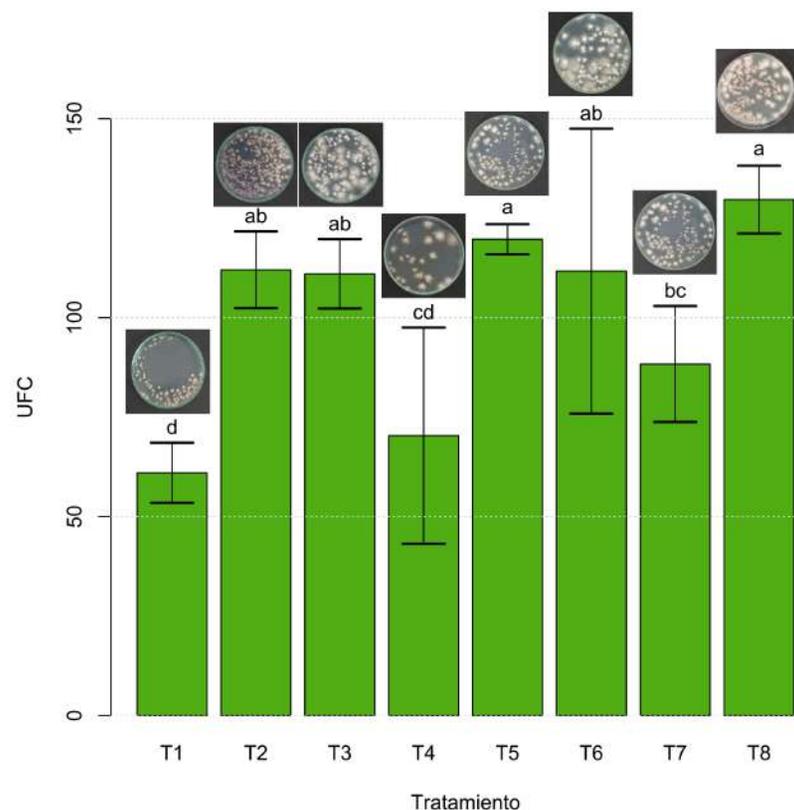
**1.3.2.6. Análisis estadístico.** El análisis de los datos se realizó haciendo uso del software libre R (versión 4.2.2) (R Core Team, 2022) . Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los test de Shapiro-Wilk y Bartlett de la librería stats, obteniendo igualdad de varianza en todas las variables de respuesta, distribución normal en los datos de firmeza, no normal para los sólidos solubles totales y la severidad de

putridión de corona. Por lo anterior, 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 %.

### 3. Resultados y discusión

**1.3.3.1. 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 4**. 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 de fungicida al 40 %, 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

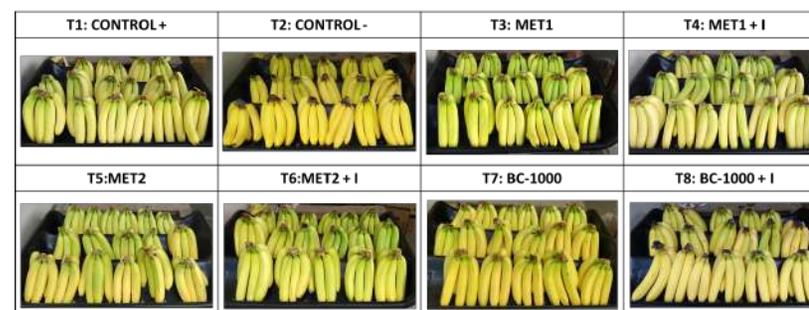
menos en MET1, tratamiento 4) se obtiene una mejor respuesta respecto a solo mezclarlos en agua (T2).



**Figura 4.** 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  $< 0.01$ ).

Es importante mencionar, que el comportamiento obtenido por el control positivo no es el deseado. Aunque se observa el efecto fungicida esperado, este se encuentra zonificado en el centro de la caja, mientras que en la periferia hay crecimiento de colonias. Lo anterior se generó debido al volumen aplicado por tratamiento (100µL), a medida que se esparcía con el asa el tratamiento se fue agotando lo que no garantizó la homogeneidad de la molécula fúngica en toda la superficie del medio. Del mismo modo, se debe tener en cuenta que este efecto del volumen aplicado para esta primera prueba *in vitro* afecta también a las formulaciones MET, pues, si los 100µL no alcanzan a cubrir homogéneamente toda la superficie del medio, se verá afectada la formación de película de la matriz de almidón modificado.

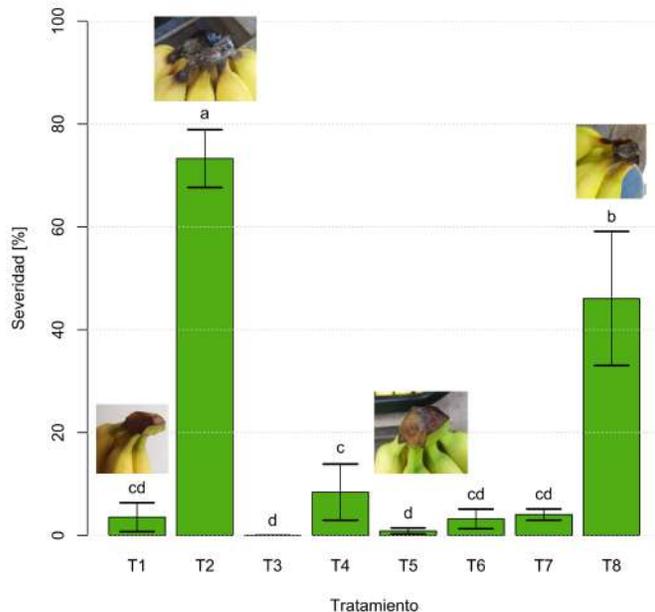
**1.3.3.2. Evaluación *in situ*.** Las evaluaciones *in situ* se realizaron a los 25 días posteriores al ingreso en cava, con aplicación de etileno para inducción de maduración a los 20 días **Figura 5**. Se midieron en orden, severidad de pudrición de corona, sólidos solubles totales y firmeza.



**Figura 5.** Estado de la fruta al día de las mediciones *in situ* (día 25 en cava). Las imágenes corresponden a una repetición de cada tratamiento.

Como se mencionó en el apartado 2.4.2 la severidad de pudrición de corona se presenta en forma de porcentaje de severidad de la enfermedad. 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. Caso contrario a lo obtenido con el producto orgánico de comparación BC-1000 donde la fruta con presión natural de campo tiene una baja severidad, pero al inocular la suspensión fúngica se genera un aumento hasta aproximadamente 50 % de severidad. Además, se observa que en esta evaluación *in situ* respecto al efecto fungicida

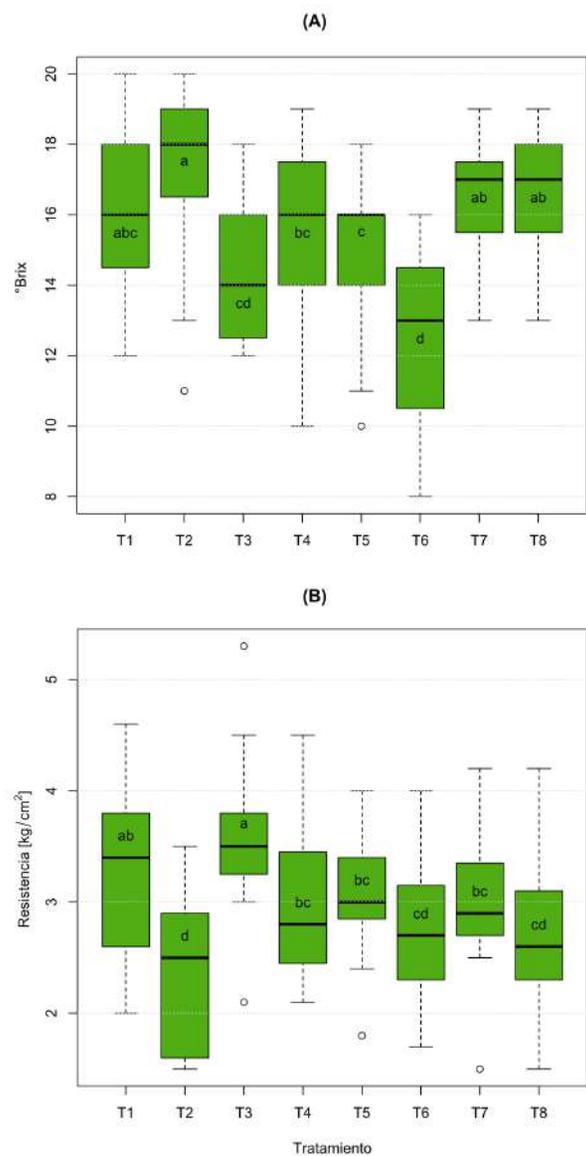
no se observa diferencia entre las dos formulaciones MET, sin embargo, ambas resultaron efectivas. Se debe mencionar que el resultado del tratamiento 3 (T3) con grados bajos de severidad se debe a un error experimental en el cual no se consideraron los índices 1 de pudrición de corona, no obstante, se puede afirmar la ausencia de índices igual o mayores de 2 (**Figura 6**).



**Figura 6.** Porcentaje de severidad de pudrición de corona. Las imágenes corresponden a la representación de una pseudorepetición o clúster 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 7A**). 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). Del mismo modo, los tratamientos que fueron inoculados T2, T6 y T8, presentan valores menores de firmeza, sin embargo, no se diferencian entre sí. Cabe resaltar que hay una excepción en los tratamientos con MET1 (T3), en el cual se presenta mayor firmeza tanto en fruta inoculada como no inoculada (**Figura 7B**).



**Figura 7.** Evaluación *in situ* de Sólidos Solubles Totales (SST/°Brix) y Firmeza. **A.** Sólidos Solubles Totales (SST/°Brix), **B.** Firmeza. (n=15, Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

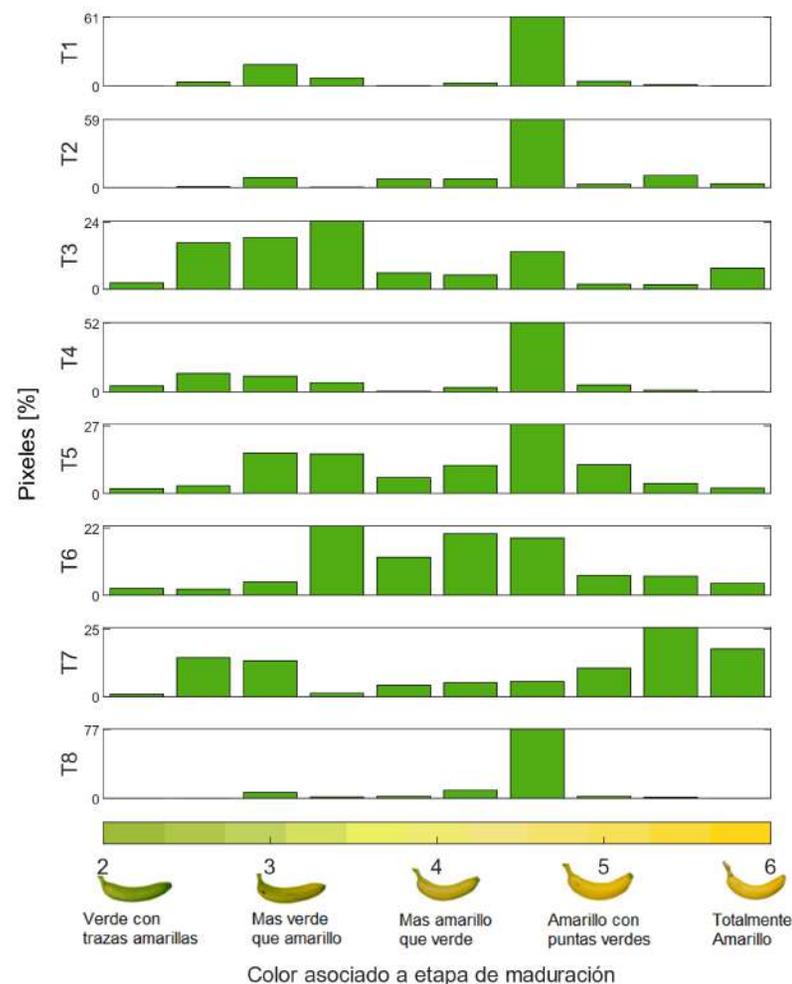
Los SST guardan una relación directa con el grado de maduración del banano, caso contrario acontece con la firmeza de la fruta. En ese sentido, Los SST representados por °Brix aumentan con la maduración debido a que las reservas de almidón de la fruta se degradan en azúcares solubles, y la firmeza disminuye 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 (Ringer y Blanke, 2021). 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.

En relación con los sólidos solubles totales, los tratamientos con valores altos denotados por la letra a (T1, T2, T7 y T8) presentan en promedio 17 °Brix y los de menores valores denotados por la letra d (T6, T3) evidencian en promedio 13 °Brix. C. Liew y colaboradores

(2012) relacionan los grados de maduración 3, 4 y 5 con distribuciones diferenciadas de SST alrededor de  $11.52 \pm 4.63$ ,  $15.09 \pm 3.68$  y  $17.49 \pm 2.83$  °Brix (promedio SST  $\pm$  desviación estándar) respectivamente. Por lo que la máxima diferencia entre diferentes tratamientos con y sin el coadyuvante puede ser de aproximadamente un grado de maduración. Los resultados de firmeza soportan lo anteriormente mencionado, dado que, al comparar con literatura, autores coinciden en que la firmeza de la cáscara presenta disminuciones significativas únicamente hasta el grado 4, y después parece tener un comportamiento constante (Liew y Lau, 2012; Ringer y Blanke, 2021).

El análisis de color presentado en la **Figura 8** coincide con los resultados de las pruebas mencionadas, sin embargo, no se consideraron ni controlaron variables con posible incidencia en la medición. La mayoría de los tratamientos comparten una moda que se relaciona con el color al centro de un banano entre los grados 4 y 5 de maduración, siendo diferentes los tratamientos que incluyen formulaciones MET donde aparecen una mayor cantidad de píxeles con colores que coinciden a grados menores. Estos resultados son consecuentes con las pruebas de SST/°Brix y firmeza y la literatura referenciada. Cabe mencionar, que la metodología utilizada no

pretende atribuir como prueba de validez, no obstante, permite el uso de recursos fotográficos disponibles para dar mayor significancia a los resultados y discusión del trabajo.



**Figura 8.** Análisis de color de la cáscara de bananos con mayor exposición al etileno basado en fotografías, relacionando el color al centro del banano con el grado de maduración (25 bananos por tratamiento, cuadrado de 50x50 píxeles por banano).

#### 4. 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. Los resultados *in vitro* permitieron seleccionar formulaciones con una concentración 60 % menor de fungicidas respecto al tratamiento convencional para la evaluación *in situ*, manteniendo un efecto antifúngico igual. 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 similar 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.

#### 5. Referencias bibliográficas

- 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>
- Alvindia, D. G. (2013). Enhancing the bioefficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* DGA14 with inorganic salts for the control of banana crown rot. *Crop Protection*, 51, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.03.013>
- AUGURA. (2022). *Coyuntura Bananera 2021*. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf>

- Benavides Martínez, Á., & Yoshioka Tamayo, I. C. (2022). *ACTUALIDAD DE MOLÉCULAS DE SÍNTESIS QUÍMICA PARA USO EN EL CULTIVO DE BANANO*.
- da Costa, A. C., de Miranda, R. F., Costa, F. A., & Ulhoa, C. J. (2021). Potential of *Trichoderma piluliferum* as a biocontrol agent of *Colletotrichum musae* in banana fruits. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 34, 102028. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.102028>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2020.03.011>
- David, R. V. A. (2021). *Evaluación experimental de una cobertura antifúngica a base de un polímero con incorporación de aceite de citronela, para el mejoramiento de la cadena de valor de la Mora de Castilla «Rubus glaucus'''»*. Universidad de los Andes.
- Edwards, D. (2019). *Fruit Spanish - UC Postharvest Technology Center*. Postharvest Center - University of California. [https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resource/Fact\\_Sheets/Datastores/Fruit\\_Spanish/?uid=5&ds=802](https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resource/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_Spanish/?uid=5&ds=802)
- FAO. (2017). Buenas prácticas agrícolas para bananos. En *FORO MUNDIAL BANANERO*. <https://doi.org/10.1016/16917ES/1/04.17>
- Food and agriculture organization of the United. (2022). *Markets and Trade: Bananas*. International Organization. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/>
- 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/s11694-021-00822-z>
- 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>
- Liew, C. Y., & Lau, C. Y. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. En *International Food Research Journal* (Vol. 19, Issue 2, pp. 751-758).
- Lundgren, G. A., dos Passos Braga, S., de Albuquerque, T. M. R., de Oliveira, K. Á. R., Tavares, J. F., dos Santos Vieira, W. A., Câmara, M. P. S., & de Souza, E. L. (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>
- Md Nor, S., & Ding, P. (2020). Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. En *Food Research International* (Vol. 134). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109208>
- Michelle, P. G. M. (2019). *Evaluación del efecto de un recubrimiento basado en matrices biopoliméricas y agentes antifúngicos sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica de la mora de Castilla en su proceso de post cosecha*. Universidad de los Andes.
- 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>
- OMS, & FAO. (2007). *Codex alimentarius: frutas y hortalizas frescas* (1.ª ed.). <https://www.fao.org/3/a1389s/a1389s.pdf>
- R Core Team. (2022). *R version 4.2.2 (Innocent and Trusting)*. R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Ringer, T., & Blanke, M. (2021). Non-invasive, real time in-situ techniques to determine the ripening stage of banana. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4426-4437. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01009-2>
- Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S. P., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E., & Vuong, Q. v. (2019). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. *LWT*, 100, 341-347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.055>
- Valentina, M. G. (2017). *Desarrollo de recubrimientos de biopolímeros para su implementación en el fruto de la papaya Maradol colombiana y evaluación de sus efectos en la poscosecha del fruto*. Universidad de los Andes.

#### **1.4. EVALUACIÓN DE DIFERENTES VOLÚMENES DE FUNGICIDAS Y DOSIS DE ENERGÍA UV-C EN FRUTA DE EXPORTACIÓN EN CONDICIONES NATURALES E INOCULADA ARTIFICIALMENTE CON LOS AGENTES CAUSALES DE PUDRICIÓN DE CORONA**

**Autores:** *Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Gloria Marcela Pérez Ochoa, Laura Arango Palacio y Sebastián Zapata Henao.*

##### **Resumen**

El banano es considerado una de las principales frutas de exportación y renglón importante de la economía nacional. Sin embargo, alrededor de un 30% de pérdidas económicas en postcosecha son causadas por problemas fitosanitarios como la enfermedad de la pudrición de corona. Actualmente, la principal estrategia para el control de enfermedades postcosecha son moléculas de síntesis química, sin embargo, no se tiene fundamento técnico sobre los volúmenes habitualmente utilizados en las cabinas de aspersión o cámaras foggi. Del mismo modo, las regulaciones en la restricción de moléculas para su control reducen las estrategias de manejo, siendo necesario la búsqueda de nuevas alternativas. Por lo anterior, el presente proyecto evaluó el efecto de diferentes volúmenes de fungicidas (150, 120, 90 y 60 CC) y dosis de energía de UV-C sobre la calidad de la fruta,

inoculadas artificialmente con los agentes causales de la pudrición de corona *Fusarium sp* y *Colletotrichum sp.*, a una concentración de  $5 \times 10^5$  esporas/ml respectivamente. Los resultados evidenciaron que en los tratamientos que fueron inoculados artificialmente con la suspensión fúngica, bajo diferentes volúmenes de mezcla, no hubo diferencias estadísticamente significativas para las fincas evaluadas. En relación a la dosis de energía UV-C utilizada, no hubo un control eficiente comparado con los demás tratamientos.

**Palabras clave:** Postcosecha, Musáceas, Volúmenes, *Fusarium sp* y *Colletotrichum sp.*

##### **1. Introducción**

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 (Lassois y Lapeyre, 2014; Sangeetha, Usharani y Muthukumar, 2010), causando pérdidas que varían entre el 10% y el 80% (FAO, 2019). 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% (Aguilar, García, Dulanto y Duque, 2013).

Lo anterior se atribuye a los agentes causales de la enfermedad *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp, los más prevalentes en el caso específico de la subregión del Urabá Antioqueño (Henaó, 2016).

Actualmente, se utilizan diversos ingredientes activos de fungicidas para el control de enfermedades postcosecha, sin embargo, se desconoce cuáles son los volúmenes adecuados en las cámaras de aspersión o foggi que ejerzan un control eficiente, además, ante las restricciones de moléculas ejercidas principalmente por la Unión Europea, donde Colombia exporta más del 70% de la fruta producida, delimitan nuevos retos tendientes a reducir la carga química, en especial de productos postcosecha, los cuales por su aplicación en la fase final de la cadena, tienen altas trazas de ingrediente activo en la fruta. En ese contexto, el objetivo del presente ensayo fue evaluar diferentes volúmenes de mezclas de fungicidas, inferiores a los utilizados habitualmente en las fincas productoras de banano de exportación del Urabá Antioqueño, como también, una dosis de energía de UV-C, en condiciones naturales e inoculación artificial de agentes causales de pudrición de corona.

## 2. Materiales y métodos

**2.1. Material vegetal.** Los ensayos se realizaron en la finca Trapiche y Galeón del grupo Santa María. Se utilizaron racimos de banano (*Musa* AAA) Cavendish en etapa de cosecha de 11 semanas, cosechados bajo los parámetros estándar de fruta premium y fruta de segunda. Los clústeres utilizados fueron previamente dispuestos en el tanque de desmane y desleche con 1% de piedra de alumbre y separados antes de la aplicación del producto postcosecha, con el fin de aplicar los tratamientos de manera controlada.

**2.2. Preparación de suspensiones fúngicas.** Los aislados fúngicos *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* sp., agentes causales de la enfermedad de pudrición de corona fueron obtenidos del cepario de hongos perteneciente a CENIBANANO. Cada hongo se sembró en placas Petri en Agar Papa Dextrosa (PDA) con 150 ppm de sulfato de estreptomina

(SE) (Allá, M. A., Gamal, N. G., Mougy, N. S., y Kader, 2014). Posteriormente, se dispusieron a una temperatura de 30°C durante 5 días. Posterior a este tiempo, se procedió a preparar las suspensiones fúngicas a una concentración de  $5 \times 10^5$  esporas/ml de cada microorganismo, utilizando un hematocimetro (Neubauer, Alemania) para realizar una mezcla de las cepas, con el fin de llegar a una concentración final de  $1 \times 10^6$  esporas/ml.

**2.3. Evaluación de volúmenes de fungicida y exposición a energía UV-C sobre las suspensiones fúngicas inoculadas artificialmente.** Los volúmenes evaluados fueron 60, 90, 120 y 150 cm<sup>3</sup>, este último corresponde al volumen convencional habitualmente asperjado por las cámaras foggi el cual representó el control positivo (T4). Por su parte, la emisión de energía utilizada fue 40 J m<sup>-2</sup> (T5) obtenida a partir de estudios previos realizados por Cenibanano. Los tratamientos fueron divididos en dos grupos bajo el mismo diseño experimental: un primer grupo sin la inoculación del patógeno (condiciones de inóculo natural de la finca) y un

segundo grupo con la inoculación artificial del patógeno. En el segundo grupo, previo a las aplicaciones de los tratamientos, cada cluster fue inoculado en la corona con 200 µL de la suspensión fúngica. El tratamiento II (T11) correspondió al control negativo (-) en la cual la fruta se inoculó con la suspensión fúngica sin ninguna aplicación de los tratamientos y un control absoluto (T12) en el cual se asperjo agua. Los tratamientos mencionados se describen en la **Tabla 1**. La aspersion de los tratamientos se realizó mediante bomba con capacidad de 1.5 L previamente calibrada. Posteriormente, la fruta fue almacenada en cava simulando un viaje de 21 días al continente europeo. Se realizaron dos evaluaciones, una evaluación en vida verde (a los 16 días posterior al ingreso a cava) y otra evaluación en estado de maduración (a los 5 días posterior a la aplicación de etileno). Por otro lado, las puntuaciones del grado de daño se evaluaron mediante la escala propuesta por Alwindia et al., (2012) y se procedió a cuantificar el índice de severidad.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos evaluados en coronas de banano Cavendish.

Tratamientos (T)	
1	(A + T) 60cc
2	(A + T) 90cc
3	(A + T) 120cc
4	(A + T) 150cc
5	40 J m <sup>-2</sup> (I)
6	IAP + (A + T) 60cc
7	IAP + (A + T) 90cc
8	IAP + (A + T) 120cc
9	IAP + (A + T) 150cc
10	IAP + 40 J m <sup>-2</sup> (I)
11	Control (-)
12	Control Absoluto

(IAP) *Inoculación artificial del patógeno*

(I) *Intermitente*

(A + T) *Azoxistrobin + Tiabendazol*

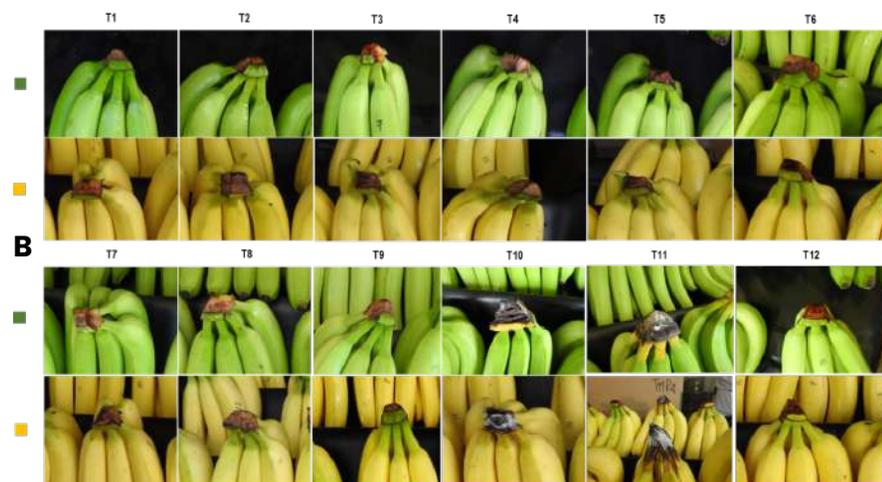
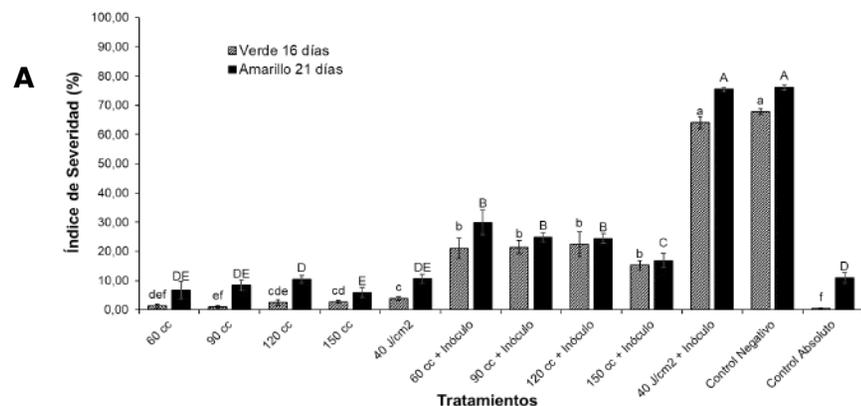
(-) *Control negativo*

**2.4. Diseño experimental.** Para la evaluación de los volúmenes en cada una de las fincas, cada uno de los tratamientos consistió de 5 repeticiones representadas en cajas que contenían 17 clúster de banano para un total de 60 cajas y 1.020 pseudorepeticiones. El diseño experimental fue completamente aleatorio y los resultados se analizaron utilizando el software y lenguaje de programación R project (versión 4.0.5, R coreteam, 2021) mediante pruebas no paramétricas, debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad. Los datos fueron analizados mediante la prueba de *Kruskal-Wallis* con un nivel de significancia de  $p = 0.05$ .

## 2.5. Resultados y discusión

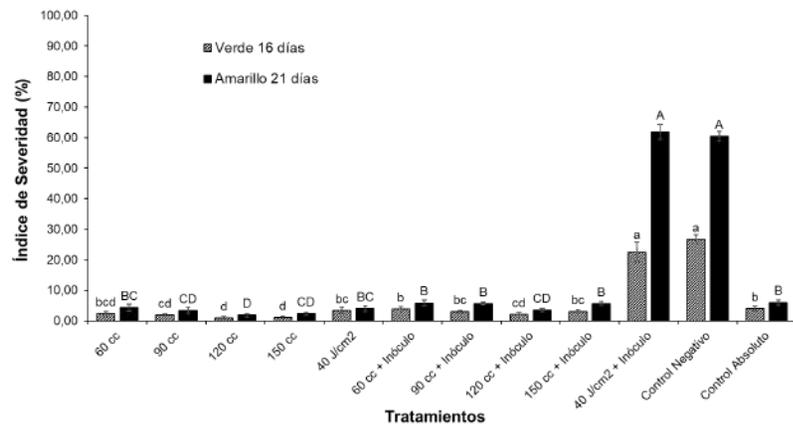
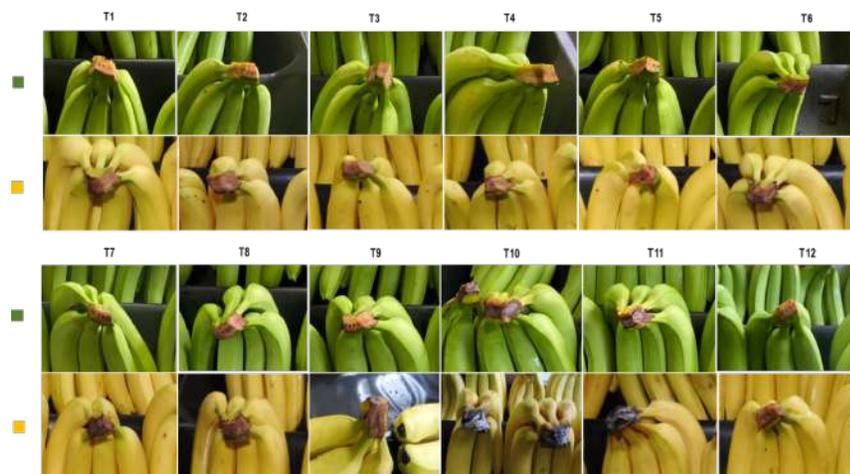
Para el ensayo realizado en la finca Trapiche, no se evidenció diferencias estadísticamente significativas de los tratamientos que fueron inoculados con la suspensión fúngica en comparación con el control negativo, tanto en vida verde como en amarillo (**Figura 1**). Los tratamientos

en los cuales no se inocularon artificialmente, se comportaron de manera similar al control absoluto, lo que se traduce en la baja presión del patógeno en condiciones naturales de campo.



**Figura 1 A.** Índice de severidad en vida verde y amarillo de clústeres de banano a diferentes volúmenes de mezcla de fungicida y dosis de energía UV-C con y sin inoculación artificial de los agentes causales de pudrición de corona en la finca Trapiche. Letras diferentes en mayúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en amarillo 21 días). Letras diferentes en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en verde 16 días) **B.** Fotos correspondientes a la corona de cluster evaluados a los 16 días (verde) y a los 21 días (amarillo) posterior a la aplicación de los tratamientos.

Por otra parte, para el ensayo realizado en la finca Galeón, los resultados fueron consecuentes con los obtenidos en la finca Trapiche. No hubo diferencias estadísticamente significativas de los tratamientos en los cuales fueron inoculados artificialmente con la suspensión fúngica en comparación con el tratamiento control (**Figura 2**). De igual manera, se evidenció una baja presión del inóculo en condiciones naturales.

**A****B**

**Figura 2 A.** Índice de severidad en vida verde y amarillo de clústeres de banana a diferentes volúmenes de mezcla de fungicida y dosis de energía UV-C con y sin inoculación artificial de los agentes causales de pudrición de corona en la finca Galeón. Letras diferentes en mayúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en amarillo 21 días). Letras diferentes en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en verde 16 días) **B.** Fotos correspondientes a la corona de cluster evaluados a los 16 días (verde) y a los 21 días (amarillo) posterior a la aplicación de los tratamientos.

## 2.6.Conclusiones

- Se evidenció que la presión de inóculo en condiciones naturales es mínima, siendo necesario realizar el ensayo bajo las mismas condiciones en épocas en las que históricamente se presenta mayor presión del patógeno.
- En los tratamientos donde se inoculó artificialmente el patógeno, bajo diferentes volúmenes de mezcla,

no hubo diferencias estadísticamente significativas para la finca Trapiche. En el caso de la finca Galeón, el tratamiento de 120 cm<sup>3</sup> mostró un mejor control tanto en verde como en amarillo, no obstante, los tratamientos de 60 y 90 cm<sup>3</sup> no presentaron diferencias comparado con el tratamiento de 150 cm<sup>3</sup>.

- En relación al tratamiento con la dosis de energía UV-C 40 J/cm<sup>2</sup>, no hubo un control eficiente comparado con los demás tratamientos.
- Es ideal diseñar un nuevo ensayo calibrando las cámaras foggi a los diferentes volúmenes evaluados y bajo la misma presión del patógeno. Adicional, es pertinente realizar un estudio donde se envíen contenedores a diferentes destinos, con el fin de evaluar diferentes tiempos a destino e incidencia de variaciones en condiciones de refrigeración de contenedores.

## 5. Referencias bibliográficas

- Abd-Alla, M. A., El-Gamal, N. G., El-Mougy, N. S., & Abdel-Kader, M. M. (2014). Post-harvest treatments for controlling crown rot disease of Williams banana fruits (*Musa acuminata* L.) in Egypt. *Plant Pathology and Quarantine*, 4(1), 1-12.
- Aguilar, R., García, R., Dulanto, J., Maldonado, E. (2013). Hongos asociados a la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico (*Musa* spp. L.) en Piura, Perú, (2013), pp. 81.
- Alvindia, D. G., Kobayashi, T., Natsuaki, K.T. y Tanda, D. (2004). Inhibitory influence of inorganic salts on banana postharvest pathogens and preliminary application to control Crown rot. *Journal of General Plant Pathology* 70 (1): 61-65.
- Alvindia, DG (2012). Revisando los tratamientos con agua caliente para controlar la pudrición de la corona del cv del banano. *Buñgulan. Protección de cultivos*, 33, 59-64.
- FAO. 2019 Food Outlook-Biannual Report on Global Food Markets–November 2019. Rome. Available online: <http://www.fao.org/3/ca6911en/ca6911en.pdf> (accessed on 26 November 2020).

Henao (2016). Recopilado de boletines publicados por la Asociación bananeros de Colombia, AUGURA. (2021).

Larrea, J. A. (2020). Elaboración de un manual fitosanitario de las principales enfermedades de banano (*Musa paradisiaca* L.), en Baba, Los Ríos, Ecuador.

Lassois, L. y de Lapeyre de Bellaire, L. (2014). Enfermedad de la pudrición de la corona de los plátanos. Decaimiento poscosecha, 103–130. doi: 10.1016 / b978-0-12-411552-1.00003-x.

Sangeetha, G., Usharani, S., & Muthukumar, A. (2010). Significance of *Lasiodiplodia theobromae* and *Colletotrichum musae* in causing crown rot in banana and their reaction on some commercial banana cultivars. *Indian Journal of Horticulture*, 67(1), 21–25.

## 5. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA INTRODUCCIÓN DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* RAZA 4 TROPICAL

**Autores:** Gloria Marcela Pérez, Andrés Mauricio Pinzón, Sebastian Zapata Henao

### Resumen

Colombia es uno de los mayores productores y exportadores de banano de América Latina y el Caribe (ALC), sin embargo, desde el año 2019 su producción se encuentra amenazada por la presencia de la enfermedad conocida como marchitez por *Fusarium*, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (Foc R4T). El patógeno está contenido en dos de los departamentos productores más importantes del país, con excepción del eje bananero de Urabá que continúa siendo una zona libre de la enfermedad. Este patógeno puede dispersarse de forma activa o pasiva, siendo ésta última la de mayor importancia por su difícil manejo, por lo anterior se realizó una identificación y clasificación de los límites bananeros característicos de la región de Urabá, a partir de la construcción de una matriz de riesgo

asociado a la introducción de Foc R4T. Se encontró que hay zonas de la región con nivel de riesgo alto, en donde predominan los límites con otros sistemas productivos, comunidades o vías principales, y otras zonas con un nivel de riesgo medio en donde predominan los límites bananeros entre sí y las vías terciarias.

**Palabras clave:** Foc R4T, Riesgo, Marchitez, Banano.

## 5.1. Introducción

El Banano es una de las principales frutas consumidas a nivel mundial, representando un alimento básico para millones de personas (Dita, 2018). América Latina y el Caribe (ALC) son el mayor productor y exportador de esta fruta y Colombia ocupa el cuarto lugar en exportaciones, alcanzando para el año 2020 aproximadamente 2 millones de toneladas después de un 7.3% de expansión, este incremento fue posible debido a la implementación de medidas de mitigación para el brote reportado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (Foc R4T) y el COVID-19, lo que contribuyó a que se continuarán desarrollando todas las actividades relacionadas con el cultivo (FAO, 2021). Según AUGURA (2021) el área sembrada de banano en Colombia aumentó en 227

hectáreas (ha.) para un total de 51,454 has reportadas. Este crecimiento tuvo lugar en la región de Urabá.

Una de las principales limitaciones fitosanitarias del cultivo de Banano es la marchitez por *Fusarium*, considerada como una de las diez enfermedades vegetales más destructivas de la historia (Dita, 2018). En el año 2019 se reportó por primera vez en el continente americano la presencia de una cepa de Foc R4T, específicamente en Colombia en el departamento de la Guajira, limitándose a un área de 175 has según el Instituto Técnico Agropecuario (ICA). Recientemente mediante la resolución 115182 del 17 de diciembre de 2021, el ICA confirmó un nuevo brote en el departamento de Magdalena, por lo cual la enfermedad ya tiene presencia en dos de las zonas productoras de banano más importantes del país. El eje bananero de Urabá aún permanece libre de la enfermedad.

Foc R4T es un hongo habitante del suelo con reproducción asexual, que produce microconidias, macroconidias y clamidosporas como estructuras de supervivencia. Puede persistir en el suelo, en tejido huésped o como endófito asintomático en plantas no hospedantes, por lo tanto, es extremadamente difícil su manejo. Adicionalmente puede estar presente en niveles profundos del suelo y con

periodos de incubación prolongados. Actualmente no existe un método eficaz para detectar plantas infectadas antes de que se manifiesten síntomas externos (Pegg, 2019). A su vez, el patógeno puede propagarse de forma activa o pasiva, ésta primera ocurre a través del suelo de una planta a otra debido a la proximidad de las raíces. Este tipo de propagación puede limitarse por medio de la cuarentena de la planta infectada y sus vecinas; no obstante, cuando la propagación es pasiva confinar al patógeno es más complejo. Los medios de propagación pasivos pueden ser: a través del material de siembra asintomático, el cual es el principal medio de dispersión a nivel local, nacional e internacional, el agua, generalmente proveniente de riego y/o inundaciones, suelos contaminados, movilizados por humanos (maquinaria agrícola, vehículos, calzado y ropa del personal de campo) o animales, residuos de cosecha infectados, hojas de banano en souvenirs, herramientas que han tenido contacto con savia de una planta infectada o suelos contaminados e insectos como el barrenador picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) (Pegg, 2015; Thangavelu, 2020; Dita, 2018).

En ese contexto, desde el año 2000 los reportes de Foc R4T han incrementado de manera exponencial, esto es debido a que las medidas de contención son cada vez más

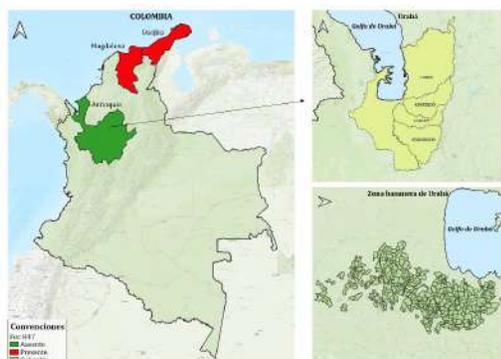
vulnerables siendo el tránsito indiscriminado de material contaminado (vegetal, suelo, agua, entre otros), uno de los factores más importantes para su diseminación. Aunado a esto, el poco conocimiento a cerca de conceptos básicos del patógeno y su epidemiología, la falta de planes de cuarentena y/o contingencia dificultan aún más las estrategias de manejo. De igual manera, la dispersión del material de siembra asintomático ha sido un factor determinante, sin embargo, algunos países han detectado otros medios de dispersión que han sido detonantes en el desarrollo de la epidemia como es el caso de China con el agua contaminada del río Pearl y las inundaciones generadas por altas precipitaciones; el suelo contaminado transportado por animales como cerdos y jabalís en sistemas agrícolas de pequeños productores o comunidades cercanas a las plantaciones en Australia (Martínez Solórzano, 2020) y en el Medio Oriente el transporte de fruta contaminada, aunque esta premisa no se ha comprobado científicamente (Dita, 2018).

Debido a lo anteriormente expuesto, y tomando como modelo las matrices de riesgo implementadas en Queensland, Australia como medida de control y contención para restringir los movimientos dentro y fuera de las fincas bananeras (Pegg, 2019), se hace necesario y

de gran importancia caracterizar las zonas productoras de banano en la región del Urabá Antioqueño, con la finalidad de identificar y clasificar los medios de dispersión presentes, los cuales representan una amenaza como vía de ingreso de la enfermedad en una zona declarada libre del patógeno.

## 5.2. Materiales y métodos

**1.5.2.1. Área de estudio.** El estudio fue realizado en la Zona bananera de Urabá, que está localizada al noreste del departamento de Antioquia, entre los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Tubo (**Figura 1**), limita al norte con los municipios de Necoclí y San Pedro de Urabá, al sur con el río Tumaradó y el departamento del Chocó, al este con la serranía de Abibe y el río mulato y al oeste con el golfo de Urabá y el río León; presenta un clima tropical lluvioso, tropical húmedo y seco (Escobar, 2002).



**Figura 1.** Ubicación del eje bananera de la región de Urabá Antioquia.

### 1.5.2.2. Construcción de matriz del nivel del riesgo asociado a Foc R4T.

Para la construcción de la matriz de riesgo asociada a la introducción de *Foc R4T*, se realizó una visita de campo a las 313 fincas bananeras de la región de Urabá, se documentaron los límites de cada una y se clasificaron en una escala tipo semáforo, desde riesgo alto a bajo. Para esta clasificación se tuvo en cuenta el estado actual de la enfermedad en Colombia, la cual se encuentra contenida únicamente en los departamentos de la Guajira y Magdalena y los reportes históricos de los medios de dispersión del patógeno a nivel mundial y su relevancia.

1.5.2.3. Levantamiento y procesamiento de la información. Se realizó el levantamiento de la información en campo con el apoyo del personal técnico del convenio 042 suscrito entre ICA y AUGURA y el área administrativa de cada finca y se procesó en el Software libre QGIS 3.10.9A.

## 5.3. Resultados y discusión

### 5.3.1. Matriz del nivel del riesgo asociado a Foc R4T.

Los límites bananeros característicos encontrados en la región son:

Nivel de riesgo	Factores	Categorías	Longitud (km)	Total (km)	%
Alto	Cultivo vecino	Plátano/otros cultivos	195	280	13%
	Comunidades	Urbana, rural	43		
	Vías	Primarias	41		
Medio	Cultivo vecino	Banano de otra compañía	657	1692	81%
	Vías	Secundarias, terciarias	505		
	Fuentes de agua	Ríos, caños, ubicación	368		
	Otros	Reserva natural, industria, restaurantes, ganadería aeropuerto.	163		
Bajo	Cultivo vecino	Banano misma compañía	112	112	5%
<b>TOTAL</b>				<b>2084</b>	<b>100%</b>

**5.3.1.1. Comunidades.** Se encontraron comunidades rurales y urbanas, las primeras comprenden veredas, corregimientos, resguardos indígenas y caseríos, y las segundas corresponden al casco urbano de los municipios de Chigorodó, Carepa y

Apartadó. Este límite fue clasificado con nivel de riesgo alto, debido a que las comunidades pueden ser un medio de dispersión del patógeno al acceder a las fincas por linderos no autorizados sin la desinfección previa (calzado, vehículos o herramientas) ya sea para transitar por el cable vía o realizar otras actividades no permitidas, adicionalmente es común encontrar en las comunidades rurales parcelas de musáceas como cultivo de traspatio para consumo local y/o sistemas pecuarios. Lo anterior coincide con lo reportado a nivel mundial, como es el caso de Australia, donde los asentamientos humanos en asocio con animales han sido un medio de dispersión determinante, por su parte los saltos transcontinentales del patógeno desde el sudeste asiático hasta África o Medio Oriente también sugieren que la actividad antropogénica ha sido la responsable del movimiento del patógeno a través de material de siembra infectado y suelo contaminado en el calzado, llantas de los vehículos, ropa y/o herramientas (Dita, 2018). Aproximadamente los cultivos de banano de la región limitan en 43 km con comunidades rurales y urbanas de este tipo.

**5.3.1.2.Vías.** Esta región cuenta con una red vial que comunica al eje bananero con el interior y la costa norte del país y vías secundarias (privadas) y terciarias que conectan las fincas bananeras con el casco urbano y los puertos de embarque (Escobar, 2002). Las vías primarias son vías nacionales de alto flujo vehicular, entre las cuales se encuentra la troncal Chigorodó-Turbo y las variantes de Carepa, Apartadó y Turbo. Estas vías se clasificaron con nivel de riesgo alto, debido al nivel de exposición del cultivo.

En las vías secundarias se encuentra la vía Zungo-Embarcadero y Nueva Colonia y en las terciarias las 12 vías comunales (Santillana, Idem Saden, Chiridó, El Silencio, El Cuatro, Los Caribes, El Siete, El Diez, Churidó, San Jorge, La Suerte y Palos Blancos) donde confluyen la mayor cantidad de fincas bananeras, además de vías municipales, veredales e internas de acceso hacia las empacadoras. Cabe anotar que este tipo de vías no se encuentran pavimentadas lo que constituye un riesgo mayor.

Estos dos tipos de vías se clasificaron con nivel de riesgo medio debido a que existen 12 puntos de lavado y

desinfección operando en cada comunal para los vehículos esenciales que ingresan a los predios, sin embargo, muchas de estas vías atraviesan fincas completas, lo que aumenta el nivel de exposición de ésta y debe ser concebida como una vía de alto riesgo. Es importante resaltar que el riesgo asociado a este límite es el nivel de exposición del cultivo a la actividad antropogénica o ingreso de animales, por lo que es necesario considerar la probabilidad de ocurrencia y este riesgo puede ser mitigado con la implementación de una barrera física que impida el ingreso. Sin embargo, hay otro riesgo inminente asociado a estas vías y es el movimiento de suelo contaminado mediante los vehículos que transitan y no son desinfectados, que puede quedar adherido a las vías y ser arrastrado hacia los canales mediante el agua de escorrentía, producto de las precipitaciones, ésta amenazada debe ser considerada de haber un brote en la zona. Existen aproximadamente 546 km de extensión de cultivo que limita con vías, de las cuales las vías secundarias y terciarias tienen la mayor participación con un 92% y las primarias con el 8%.

**5.3.1.3.Fuentes de agua.** Esta zona cuenta con una gran oferta hídrica, razón por la cual las fincas se ven

fuertemente influenciadas por diferentes ríos, caños y quebradas, que a su vez las conectan entre sí. Este límite se clasificó con nivel de riesgo medio debido a que el agua superficial y de drenajes naturales o artificiales es un medio de dispersión importante del patógeno, registrado en zonas donde hay presencia de la enfermedad y generalmente se realizan medidas deficientes de bioseguridad y erradicación (Martínez Solórzano, 2020). Sin embargo, cabe anotar que Urabá está declarada como una zona libre de la enfermedad, por lo que es posible asignar un nivel de riesgo menor. Se encontró que las fincas limitan con ríos, caños, quebradas y canales en una extensión de 368 km, los cuales en algunos casos dividen las fincas en dos o más secciones.

**5.3.1.4. Vecino bananero.** Las fincas bananeras se encuentran distribuidas en la región casi que, de forma contigua, por tal razón es común que la mayoría compartan por lo menos un límite con otra finca de banano, ya sea de la misma compañía u otra. Por normativa fitosanitaria en la presente resolución No. 17334 ICA de 2019, todas las fincas de

exportación deben cumplir con niveles que bioseguridad, que garanticen y respalden la sanidad de la región. Sin embargo, no todas las compañías han implementado estas medidas en la misma proporción, por tal motivo, las fincas con vecinos del mismo grupo se clasificaron con nivel de riesgo bajo y de diferente grupo con nivel de riesgo medio.

**5.3.1.5. Otros cultivos u actividad agrícola.** Esta región posee otros sistemas productivos importantes, los cuales a su vez también hacen parte del paisaje bananero; entre los límites más frecuentes encontrados están los cultivos de cacao, plátano, banano manzano, maracuyá, palma, piña y maíz, en cultivos establecidos o parcelas de comunidades, además se encuentran otras actividades agrícolas como la ganadería.

Todos estos límites se clasificaron con nivel de riesgo alto, debido a que toda actividad que implique movimiento de material orgánico ya sea para abonos o semilleros, o movimiento de animales, representa un riesgo para el cultivo; principalmente los cultivos de musáceas que son hospederos del patógeno, lo anterior ha sido evidente en

Centroamérica en el sistema agroforestal de café-banano, donde Foc RI se dispersa por medio de sustratos utilizados en plántulas de café (Martínez Solórzano, 2020).

Estos sistemas comparten lindero con fincas bananeros en 275 km, siendo de este total la ganadería y el cultivo de plátano son los sistemas con mayor peso, alcanzando un 43% y 42%, respectivamente, como se observa en la **figura 2**.

**Figura 2.** Porcentajes de participación de cada sistema productivo en la zona bananera de Urabá.

**5.3.1.6.Otros límites.** Se encontraron otros límites como reservas naturales o ecológicas, bosques, zonas industriales, restaurante, universidad, aeropuerto, entre otros, que fueron clasificados con nivel de riesgo medio, debido a que las fincas no reportaron conflictos con estos límites. En otros casos las fincas limitan con terrenos o fincas baldíos o invasiones, los cuales fueron clasificados con nivel de riesgo alto.

A continuación, se observa la matriz de riesgo construida a partir del análisis de cada límite bananero:

**Tabla 1.** Matriz del nivel de riesgo asociado a Foc R4T.

Nivel de riesgo	Factores	Categorías	Longitud (km)	Total (km)	%
Alto	Cultivo vecino	Plátano/otros cultivos	195	280	13%
	Comunidades	Urbana, rural	43		
	Vías	Primarias	41		
Medio	Cultivo vecino	Banano de otra compañía	657	1692	81%
	Vías	Secundarias, terciarias	505		
	Fuentes de agua	Ríos, caños, ubicación	368		
	Otros	Reserva natural, industria, restaurantes, ganadería aeropuerto.	163		
Bajo	Cultivo vecino	Banano misma compañía	112	112	5%
<b>TOTAL</b>				<b>2084</b>	<b>100 %</b>

De esta tabla resumen se puede inferir que los límites más frecuentes y con mayor extensión son los compartidos con vecinos bananeros, vías secundarias y terciarias y fuentes

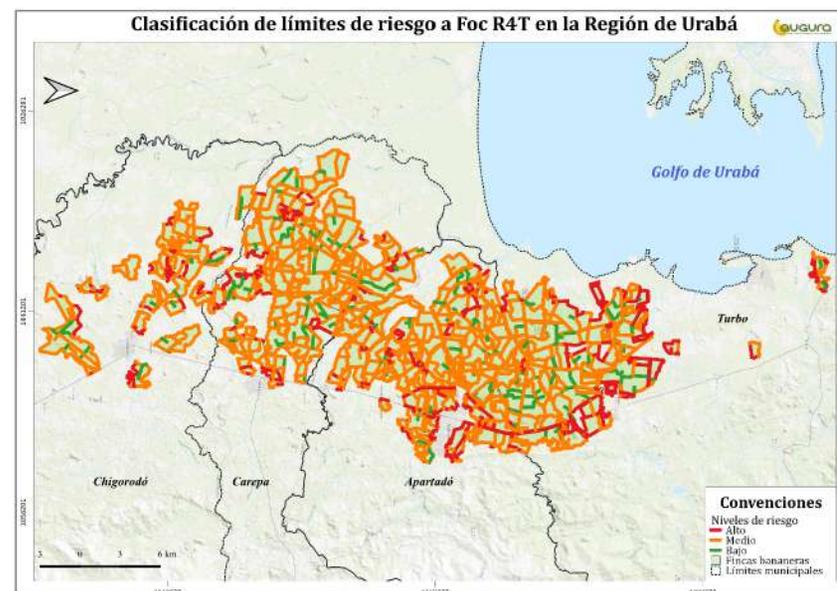
de agua, abarcando el 73% de los límites bananeros; analizando estos resultados de forma general se puede categorizar a la región en un nivel de riesgo predominantemente medio (81%), sin embargo es importante realizar un análisis de forma individual en cada predio, debido a que algunas fincas tienen situaciones más complejas que otras, principalmente las que colindan con comunidades o cultivos de plátano, para lo cual se está llevando a cabo un trabajo de sensibilización y comunicación del riesgo por parte de AUGURA e ICA desde el año 2019.

Cabe anotar que, dentro de la resolución No. 17334 se establece el cercamiento del perímetro de cada predio con la finalidad de impedir el ingreso de personas, vehículos o animales que puedan transportar suelo contaminado, esta medida puede mitigar el riesgo asociado a estos factores.

**5.3.2. Procesamiento de la información.** Se obtuvo un mapa con escala tipo semáforo del nivel del riesgo asociado a la introducción de Foc R4T (**Figura 3**), en donde se observa que el nivel de riesgo alto se encuentra relacionado con los linderos con comunidades urbanas de los municipios, las vías primarias, la mayoría de las fincas ubicadas en

Chigorodó en las comunales Iden Sadem y Chiridó y en la desembocadura del río León, las cuales tienen una mayor influencia de vecinos con parcelas de plátano y ganadería.

Por otra parte, en las fincas ubicadas dentro de las comunales El Silencio, El Cuatro, El Siete, El Diez, Palos Blancos, San Jorge y La Suerte, predominan los límites con otras fincas bananeras y vías secundarias o terciarias. Esto indica que hay una tendencia en estas comunales, producto de la distribución de las fincas, ubicándolas en términos generales en un nivel de riesgo de medio a bajo.



**Figura 3.** Mapa de la clasificación del riesgo a Foc R4T en las fincas bananeras de la región de Urabá.

Cabe anotar que este análisis del riesgo solo tiene en cuenta la introducción del patógeno vía suelo contaminado debido a la actividad antropogénica, grado de exposición, hospederos alternos y fuentes de agua, sin embargo, es importante mencionar que estos son solo algunos medios de dispersión del hongo; sin dejar de lado que la vía de diseminación más importante es la semilla contaminada, que usualmente es asintomática, y otros como la inadecuada disposición de los residuos de cosecha contaminados en los canales de drenaje, deficientes protocolos de bioseguridad internos, desinfección de las herramientas, desinfección de vehículos esenciales, cambio de botas y propagación del picudo negro (Pegg, 2015; Thangavelu, 2020; Dita, 2018).

En este sentido, es importante continuar con los trabajos de capacitación al personal de las fincas, comunidades y entidades involucradas con el sector bananero, el seguimiento del material de siembra y viveros, procurando que toda la semilla utilizada sea proveniente de cultivos *in-vitro* y tenga trazabilidad de la calidad de los sustratos, el agua utilizada en los lugares de endurecimiento y se realice vigilancia fitosanitaria

periódica del cultivo para el reporte de plantas sospechosas de forma oportuna.

#### **5.4. Conclusiones**

- Las fincas bananeras de Urabá poseen diferentes niveles de riesgo asociado a diseminación pasiva del patógeno, el cual en muchos casos puede ser mitigado con la construcción de una barrera física. No obstante, el mayor reto es generar una conciencia colectiva en la comunidad bananera, para garantizar que cualquier medida de bioseguridad implementada sea cumplida.
- Hay zonas de la región con riesgo alto, en donde predominan los límites con otros sistemas productivos, comunidades o vías principales, y existen otras zonas en donde predominan los límites bananeros entre sí y las vías terciarias.
- Es importante analizar cada predio de forma individual para determinar si los niveles de riesgo asignados a cada categoría varían, de acuerdo a

otros factores que pueden ser específicos de cada finca y la relación con el entorno.

- El material de siembra es el medio de dispersión más importante del patógeno, por tanto, se debe continuar con el seguimiento de la trazabilidad y los protocolos de bioseguridad implementados en los sitios de propagación y endurecimiento.

## 5.5. Referencias bibliográficas

AUGURA. (2021). Coyuntura Bananera 2020. Colombia: Asociación de Bananeros de Colombia. Obtenido de <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2021/06/Coyuntura-Bananera-2020.pdf>

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.

Escobar, H. M. (2002). Estudio de caracterización sector bananero colombiano. Obtenido de [https://](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2151/3004.pdf?sequence=1)

[repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2151/3004.pdf?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2151/3004.pdf?sequence=1) [8]

FAO. (2021). Banana market review 2020. Rome. Obtenido de [https://agfstorage.blob.core.windows.net/misc/FP\\_com/2021/10/11/Ban.pdf](https://agfstorage.blob.core.windows.net/misc/FP_com/2021/10/11/Ban.pdf)

Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. (2020). Fusarium wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259-276.

Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T., & Turner, D. W. (2019). The epidemiology of Fusarium wilt of banana. *Frontiers in plant science*, 10, 1395.

Ploetz, R. C. (2015). Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. *Crop Protection*, 73, 7-15.

Thangavelu, R., Loganathan, M., Arthee, R., Prabakaran, M., & Uma, S. (2020). Fusarium wilt: A threat to banana cultivation and its management. *Cab Rev*, 15(004).

## 6. EVALUACIÓN DEL EFECTO CORROSIVO DE 1.6 AMONIOS CUATERNARIOS SOBRE HERRAMIENTAS Y VEHÍCULOS DE USO DIARIO EN LA CADENA PRODUCTIVA DEL BANANO

**Autores:** Laura Arango Palacio, Gloria Marcela Pérez, Andrés Mauricio Pinzón, Sebastian Zapata Henao

### Resumen

Debido a la contingencia actual por la llegada de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (Foc R4T) a Colombia, agente causal de la enfermedad conocida como marchitez del banano, se activaron las alarmas y el plan de contención desde el año 2019 cuando se dio el primer reporte en el departamento de la Guajira. Actualmente, el patógeno está presente en el departamento de Magdalena. No obstante, El Urabá Antioqueño, principal región productora de banano de exportación del país, continúa siendo una zona libre de la enfermedad. En ese sentido, dentro de la implementación de protocolos de bioseguridad, basados en la consigna “Entre limpio y salga limpio”, una de las estrategias es el lavado y desinfección del calzado, las herramientas,

maquinaria y los vehículos esenciales; éstos últimos se llevan a cabo en puntos ubicados a nivel departamental, regional, comunal y al ingreso de cada predio productor. Para el proceso de desinfección, se utilizan productos comerciales a base de amonio cuaternario (QAC), los cuales son compuestos solubles en agua que han evolucionado en diferentes generaciones modificando su estructura química, lo que confiere mayor eficacia y aplicabilidad. Su potente efectividad contra Foc R4T se ha demostrado en estudios realizados en Australia y Colombia. En ese contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar 5 productos comerciales a base de amonio cuaternario y su efecto corrosivo en diferentes materiales de uso en la cadena productiva del banano, evidenciando que algunos productos pueden corroer en un mayor o menor grado según el tiempo de exposición. Sin embargo, en materiales como el hierro incluso el agua tiene un alto grado de afectación.

**Palabras clave:** Foc R4T, Corrosión, Amonios cuaternarios, Banano.

## 6.1. Introducción

Una de las enfermedades limitantes del cultivo de banano, considerado el cuarto alimento más consumido en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz (FAO, 2019), es la marchitez por *Fusarium*, ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), un hongo habitante del suelo que coloniza las plantas a través de heridas leves o aberturas naturales en las raíces, causando obstrucción del xilema y muerte de la planta (Ploetz, 2015). Los patógenos fúngicos se les atribuye entre el 27 % y el 42 % de las pérdidas de alimentos a nivel mundial (Lescott et al., 2015) y en el caso de Foc las pérdidas en cultivos de musáceas pueden alcanzar un 80% en variedades susceptibles (Ploetz et al., 2015). De este hongo se conocen 4 razas genética y patogénicamente diversas, de las cuales la raza 4 tropical (Foc R4T), es la más destructiva conduciendo a pérdidas de rendimiento del 100% y afectando severamente variedades resistentes que generalmente son plantadas (Ploetz et al., 2015).

La eventual llegada de Foc R4T a Colombia, más exactamente a los departamentos de La Guajira y el Magdalena ha generado gran preocupación y ha activado la alerta en el gremio bananero latinoamericano, poniendo en marcha diversas estrategias de contención y

prevención, puesto que, si no se toman las medidas de vigilancia fitosanitaria con rigurosidad, la rápida dispersión del hongo puede llegar a subregiones del departamento de Antioquia como lo es el Urabá, la más próspera en materia económica, siendo el cultivo de banano el principal renglón de productividad con un área plantada de 34.770 hectáreas de banano (PND, 2016; AUGURA, 2021). En ese sentido, la implementación de protocolos de bioseguridad, basados en la consigna “Entre limpio y salga limpio”, una de las estrategias es el lavado y desinfección del calzado, las herramientas, maquinaria y los vehículos esenciales; éstos últimos se llevan a cabo en puntos ubicados a nivel departamental, regional, comunal y al ingreso de cada predio productor.

Para el proceso de desinfección, se utilizan productos comerciales a base de amonio cuaternario (QAC). En su estructura básica constan de un nitrógeno central con cuatro radicales adjuntos, normalmente unido en su parte negativa a un ion cloro o bromo, lo que da origen a la sal QAC. Estos son desinfectantes catiónicos tensoactivos, que penetran la pared celular del patógeno por medio de la absorción, modificando las fuerzas y disminuyendo así la tensión superficial, esto a su vez causa la desorganización de la membrana, que altera la permeabilidad permitiendo que el nitrógeno interaccione

con los fosfatos de los fosfolípidos, ocasionando la fuga de material intracelular, la degradación de proteínas y ácidos nucleicos, ocasionando la muerte celular (Gerba, 2015).

El efecto que tienen los QACs sobre las herramientas y vehículos, es un interrogante muy común en el sector bananero, debido al uso rutinario de estos productos en la desinfección de herramientas, maquinaria, contenedores y vehículos esenciales. Actualmente, Colombia cuenta con 12 puntos de lavado y desinfección en la región de Urabá y 5 en el departamento del Magdalena, en donde diariamente se realiza dicho proceso entre 276 y 83 vehículos esenciales. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto corrosivo de productos comerciales a base de amonio cuaternario sobre herramientas y vehículos que son de uso diario en la cadena productiva del banano.

## 6.2. Materiales y métodos

En las instalaciones de AUGURA/CENIBANANO, se evaluaron 5 productos a base de QAC comúnmente utilizados en la industria bananera, preparados a una concentración de 1200 ppm (partes por millón) (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Ingrediente activo y concentración en ppm de los QACs evaluados.

Productos	Ingrediente activo	Preparación	
		%	ppm
QAC1	Cloruro de Didecil Dimetil Amonio (DDAC)	1%	1200
QAC2	Cloruro de Alquil Dimetil Bencil Amonio (ADBAC)	0.40%	1200
QAC3	Cloruro de Di (octil decil) Dimetil Amonio (DDAC) al 12%, Cloruro de	1%	DDAC 1200 CB
QAC4	Cloruro de Di (octil decil) Dimetil Amonio (DDAC) al 12%, Cloruro de	0.48%	DDAC 576 CB 1200
QAC5	Mezcla de Amonio Cuaternario 10%	1%	1000

Se simularon diferentes contextos y se utilizaron los siguientes materiales: **i.** Desinfección de herramientas (hierro y acero); **ii.** Desinfección de vehículos (acero inoxidable y aluminio) y **iii.** Estructuras como pediluvios (material galvanizado). Para cada contexto, se realizaron

3 réplicas con su respectivo control (agua), durante un periodo de evaluación de 2 meses. El área afectada por corrosión se midió utilizando el programa ImageJ versión 2.8 A continuación se describen las metodologías utilizadas para cada contexto:

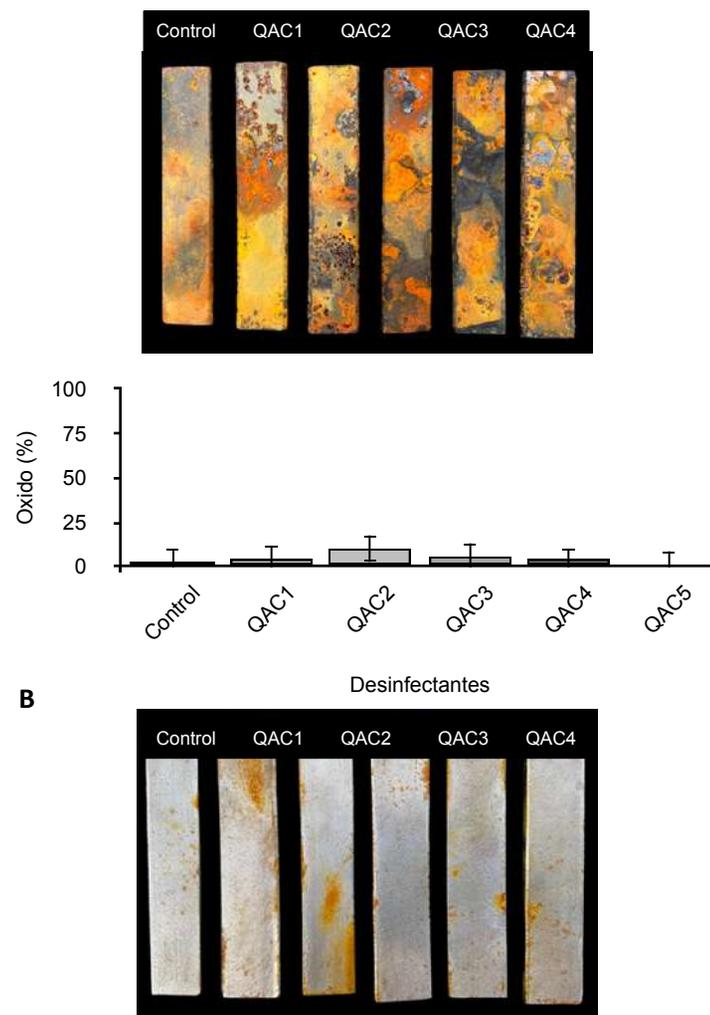
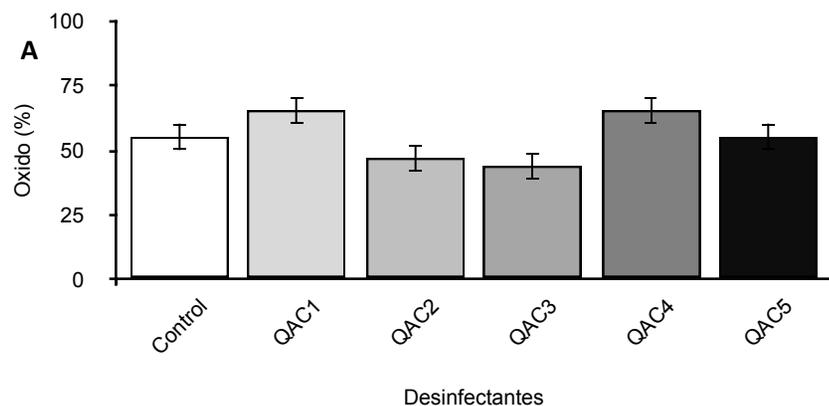
**6.2.1. Desinfección de herramientas.** Se tomaron recipientes plásticos de 14 cm de largo por 11 de ancho a los cuales se les adiciono 50 ml de cada una de las soluciones desinfectantes a una concentración de 1.200 ppm, para simular el proceso de desinfección realizado en las fincas bananeras se tomaron placas de hierro y acero de 20 cm<sup>2</sup>, las cuales fueron sumergidas en la solución durante 12 h, siendo extraídas del desinfectante a las 7:00 am y sumergiéndolas a las 5:00 pm, previamente lavadas con agua antes de tener contacto con la solución de amonio. Igualmente se simuló el proceso de desinfección de herramientas que se realiza planta a planta durante las labores de campo evitando la dispersión de enfermedades, para ello se utilizaron placas de hierro y acero, las cuales fueron asperjadas durante 10 seg con QAC10 veces al día.

**6.2.2. Desinfección de vehículos.** Se tomaron placas de acero y aluminio de 20 cm<sup>2</sup> las cuales fueron lavadas previamente con agua y posterior a ello fueron asperjadas durante 10 segundos (7:00 am, 12:00 m y 5:00 pm) con las soluciones desinfectantes a una concentración de 1.200 ppm.

**6.2.3. Estructuras como pediluvios.** Se tomaron recipientes de 14 \* 11 cm a los que se les adiciono 50 ml de solución desinfectante a una concentración de 1.200 ppm, a las que se les incorporo placas de galvanizado de 20 cm<sup>2</sup> dejándolas sumergidas por tiempos de 24 h. La evaluación se llevó a cabo durante 2 meses en los cuales se realizaba medición de la formación del óxido en cada una de las placas, su cuantificación se realizó mediante el programa ImageJ, cada uno de los contextos contó con un tratamiento control con agua; se realizaron 3 repeticiones en el tiempo. Para la verificación de la concentración del producto desinfectante, semanalmente se realizaba medición de la concentración con tirillas indicadoras (Precision Laboratories, High Level QAC Test Strip).

### 6.3. Resultados y discusión

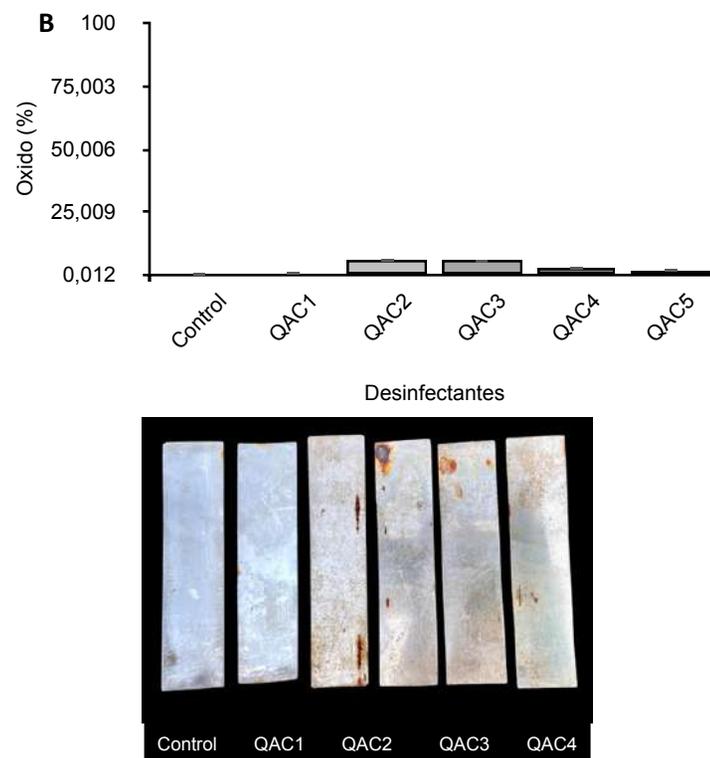
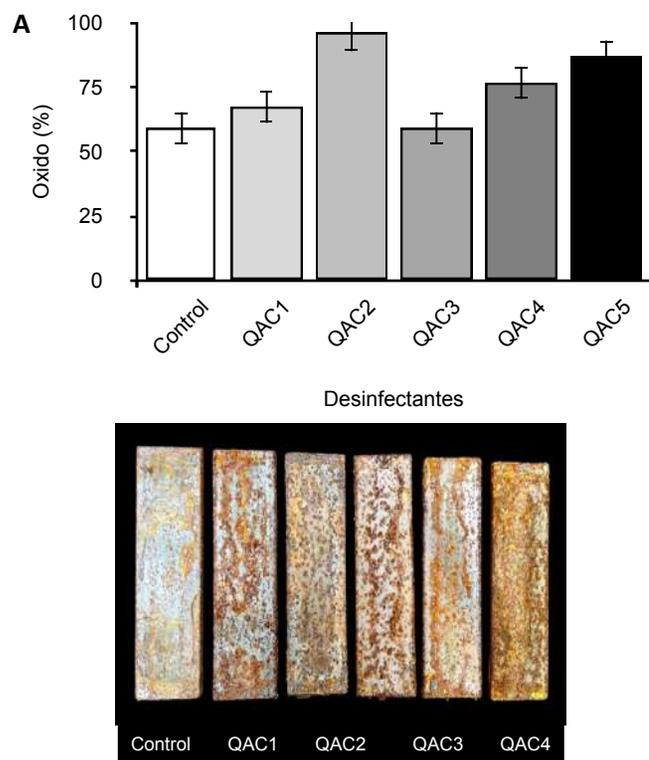
En el contexto de “desinfección de herramientas” se evidencia que, al sumergir el hierro y el acero inoxidable durante 12 horas, se presenta área afectada por corrosión (**Figura 1**). Sin embargo, el hierro es el material con mayor afectación incluso en el tratamiento control (agua), con porcentajes de hasta del 66% en el producto QAC1, del 55% en el control y el QAC5, y en menor proporción en los tratamientos QAC2 y QAC3 (**Figura 1A**). En el acero inoxidable el área afectada por corrosión fue menor, siendo mayor en el tratamiento con QAC2 con un 10%, QAC3 y QAC1 con un 5% y QAC4 y QAC5 menor o igual al tratamiento control (**Figura 1B**).



**Figura 1.** Contexto i. Desinfección de herramientas, sumergidas durante 12 h. **A.** Hierro; **B.** Acero inoxidable.

Estos mismos materiales asperjados durante 10 segundos (10 veces al día), cómo se realiza en la desinfección de

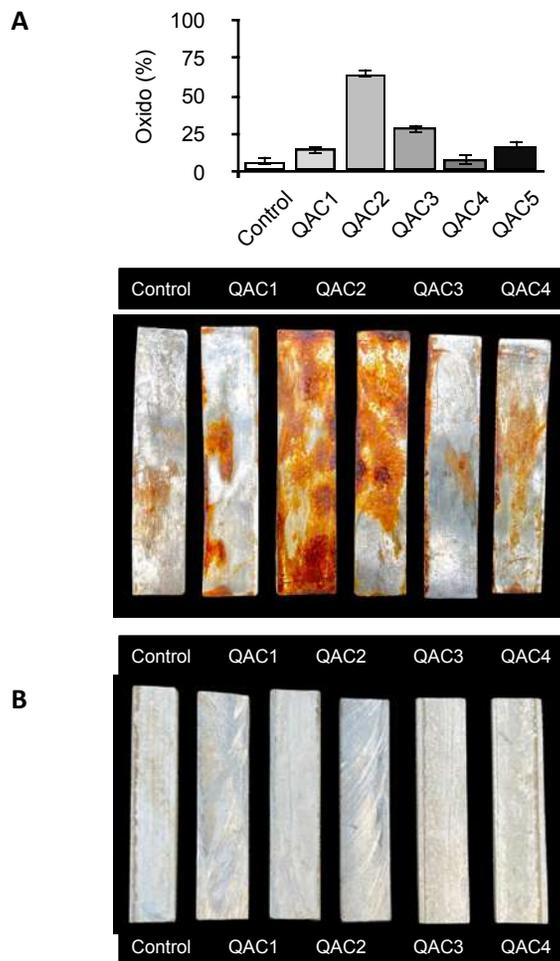
herramientas de lotes con historial de Moko (*Ralstonia solanacearum*), también presentaron área afectada por corrosión. En el hierro se observó hasta un 95% y 86% en los tratamientos con QAC2 y el QAC5 respectivamente (**Figura 2A**), y en el acero inoxidable de un 6% en el tratamiento QAC2 y 5% en el QAC3 (**Figura 2B**).



**Figura 2.** Contexto i. Desinfección de herramientas, asperjadas durante 10 segundos (10 veces al día). **A.** Hierro; **B.** Acero inoxidable.

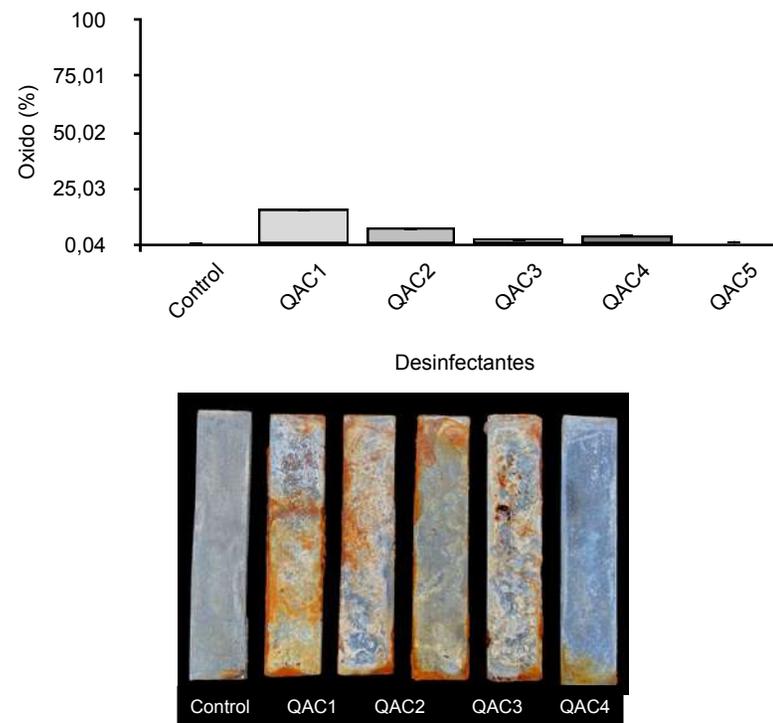
En el contexto de “desinfección de vehículos” se observa que, al asperjar el acero inoxidable durante 10 segundos (3 veces al día), el tratamiento con QAC2 y QAC3 presentan 65% y 28% respectivamente, de área afectada por corrosión, valores altos en comparación a los demás

tratamientos que presentaron afectación por debajo del 17% (**Figura 3A**). Cabe resaltar que, el aluminio no presentó área afectada (**Figura 3B**).



**Figura 3.** Contexto ii. Desinfección de vehículos, asperjadas durante 10 segundos a las 7:00 am, 12:00 m y a las 5:00 pm. **A.** Acero inoxidable; **B.** Aluminio.

En el contexto de “estructuras como pediluvios”, el material galvanizado presentó área afectada por corrosión luego de 24 horas en contacto con las soluciones, los tratamientos con mayor afectación fueron el QAC1 con 15% y el QAC2 con 7% (**Figura 4**).



**Figura 4.** Contexto iii. Estructura como pediluvios con placas galvanizado, sumergidas durante 24 h, en material galvanizado.

#### 6.4. Conclusiones

- Los resultados anteriores demuestran que los productos comerciales a base de QAC pueden corroer diferentes materiales, si son expuestos por tiempo prolongado. Sin embargo, en materiales como el hierro incluso el agua tiene un alto grado de afectación.
- Por otra parte, se evidenció que algunos productos tienen mayor capacidad corrosiva como se observó en el acero inoxidable (asperjado 3 veces al día), en los tratamientos QAC2 y QAC3 y en el material galvanizado sumergido durante 24 h, en los tratamientos QAC1 y QAC2.

#### 6.5. Referencias bibliográficas

Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). (2021). Situación del banano 2021. [<https://augura.com.co/wp-content/uploads/2021/04/Coyuntura-Bananera-2021.pdf>].

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/world-banana-forum/es/> [Acceso: 18 de septiembre 2019].

Gerba, C. P. (2015). Quaternary ammonium biocides: efficacy in application. *Applied and environmental microbiology*, 81(2), 464-469.

Jones, I. A., & Joshi, L. T. (2021). Biocide use in the antimicrobial era: A review. *Molecules*, 26(8), 2276.

Lescott T. La diversité génétique des bananiers. *Fruitrop*. 2015; 231:98-102.

MacDougall, K. D., & Morris, C. (2006). Optimizing disinfectant application in healthcare facilities. *Infect Control Today*, 10, 62-67.

Ploetz RC. Manejo del marchitamiento por *Fusarium* del banano: una revisión con especial referencia a la raza tropical 4. *Crop Prot*. 2015; 73:7-15.

PND (Bases Plan Nacional de Desarrollo 2016-2022) *Pensando en Grande*. 2016.

## 1.7 MEDICIÓN DE LA DERIVA EN APLICACIONES AÉREAS CON AVIÓN Y DRON EN EL URABÁ ANTIOQUEÑO DICIÓN EN LA DERIVA DE APLICACIONES

**Autores:** *Eduardo Lomanto del Castillo, Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Vicente Emilio Rey Valenzuela, Sebastián Zapata Henao*

### Resumen

La aplicación de productos fitosanitarios es indispensable para minimizar los umbrales de daño que afecten la productividad de los cultivos. En el cultivo del banano, las aspersiones aéreas sea por avión o dron son indispensables para el control de enfermedades como la sigatoka negra, sin embargo, estas aplicaciones se enfrentan a el fenómeno conocido con deriva el cual se define como el movimiento de las partículas influenciadas por el aire y otros factores climáticos que determinan el éxito de la aplicación. En ese contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el alcance de la deriva proveniente de aplicaciones con dos plataformas aéreas sin la interferencia del dosel de plantas de banano, dentro

de las condiciones normales de aplicación en la región productiva de banano de exportación en el Urabá antioqueño. Los resultados evidenciaron que la deriva aérea por aplicación con avión y dron se situaron bajo los 50 y 9 metros, respectivamente.

**Palabras clave:** Deriva, Avión, Dron, Productos Fitosanitarios.

### 7.1. Introducción

El depósito de aspersiones sobre superficies objetivo está definido y sujeto a diversas y variadas influencias. Algunos de estos parámetros son medianamente controlables por el piloto, otros por la formulación del agroquímico. Ciertas influencias como la velocidad del viento y la temperatura se pueden manejar parcialmente eligiendo el momento de aplicación y los parámetros adecuados, otros factores están fuera de control directo, como la estabilidad atmosférica, las turbulencias, la humedad, la capa límite, el microclima de los cultivos, la eficiencia de recolección de cultivos entre otros. La comprensión del mecanismo de estas influencias, como la actual generación de productos químicos y nuevas tecnologías en los equipos facilitan la

planificación de un proyecto de aplicación aérea con la máxima eficiencia posible (Sesquilé, 2014).

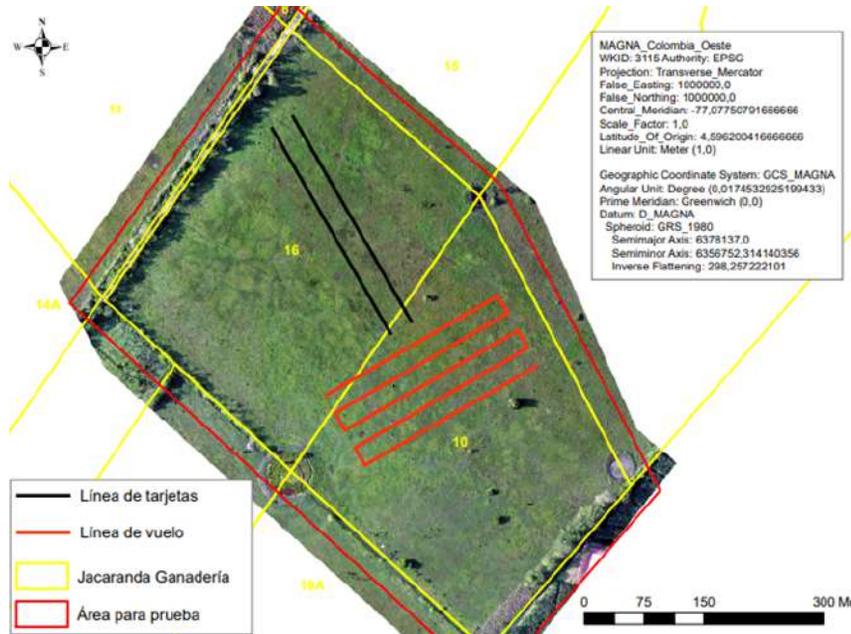
En la subregión del Urabá Antioqueño se hizo un amplio estudio de deriva proveniente de aspersiones aéreas en 2001, con los aviones disponibles en esa época. Desde ese momento, se ha mejorado la tecnología de aplicaciones y se evidencia la tendencia a la homogenización en los aviones empleados para realizar la aplicación en los cultivos, al ser las aeronaves Ayres Turbo Trush las que en un futuro cercano se utilicen para la labor de aplicación en cultivos de banano de exportación en Colombia. Del mismo modo, la tecnología ofrece alternativas para la aplicación que no existían en los tiempos mencionados, como es el caso de los denominados “drones”, cuyo uso se ha reglamentado por parte de Aerocivil mediante la incorporación de las medidas dirigidas a los drones a la norma RAC 91, como el apéndice 13 (Resolución 04201 del 27 de diciembre/2018), quedando oficializada por su publicación en el Diario Oficial 50858 del 5 de febrero/2019.

En Colombia, el Decreto 1843 de 1991, actualmente vigente, reglamenta el “Uso y Manejo de Plaguicidas”, y dictamina respecto a las FRANJAS DE SEGURIDAD en el Capítulo IX – De la aplicación, lo siguiente: “Artículo 87. “DE LA FRANJA DE SEGURIDAD. La aplicación de plaguicidas en zonas rurales

no podrá efectuarse a menos de 10 metros en forma terrestre y de 100 metros para el área (SIC) como franja de seguridad, en relación a cuerpos o cursos de agua, carreteras troncales, núcleos de población humana y animal, o cualquiera otra área que requiera protección especial.” Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el objetivo del presente trabajo fue determinar el alcance de la deriva proveniente de aplicaciones con dos plataformas aéreas sin la interferencia del dosel de plantas de banano, dentro de las condiciones normales de aplicación en la región productiva de banano de exportación en el Urabá antioqueño.

## **7.2. Materiales y métodos**

El estudio se realizó en un área sin obstáculos, que correspondió a un lote de ganadería en la finca Jacaranda, en el municipio de Carepa, vereda Zungo Embarcadero, con una altura de 36 msnm y coordenadas geográficas 7° 50' 02" N -76° 44' 03" W. Allí se ubicaron tanto el área de vuelos como las líneas de ubicación del papel sensible para las pruebas con el avión y con el dron **(Figura 1)**.



**Figura 1.** Plano general de la disposición de las pruebas para la determinación de deriva. Carepa, Antioquia.

Para las dos plataformas empleadas en la aplicación aérea se dispuso un espacio suficientemente amplio para permitir la maniobrabilidad segura de los dos sistemas y se dispusieron dos líneas perpendiculares a las líneas de vuelo (**Figura 1**), ubicando en ellas el papel sensible.

Todas las pruebas efectuadas para determinar la deriva proveniente de aplicaciones aéreas se realizaron dentro de la denominada “ventana de aplicación”, que

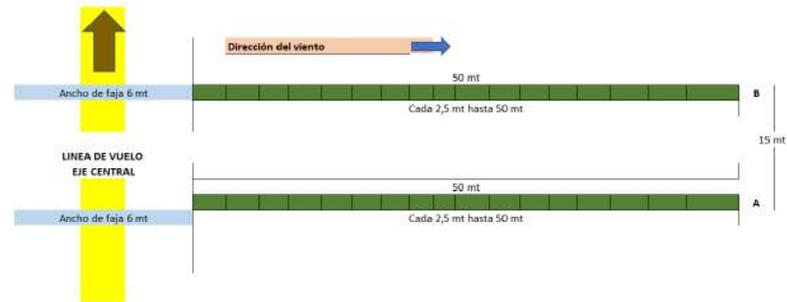
corresponde al período en el que las condiciones ambientales permiten la labor aérea en los cultivos de banano de exportación en la región. Dichas condiciones comprenden velocidad del viento hasta 2 m/s (7.2 km/h), temperatura menor de 30° C y humedad relativa mínima de 85%. La determinación en campo de las condiciones atmosféricas se efectuó mediante un anemómetro portátil y aplicaciones móviles en Android para temperatura (Termómetro: temperatura interior y exterior, Just4Fun Utilities) y humedad relativa (Hygrometer – Relative Humidity, Trajkovski Labs). Adicionalmente, se colectaron datos para los períodos de aplicación provenientes de estaciones climatológicas cercanas al lugar de las pruebas.

**7.2.1. Líneas de vuelo.** Cada vuelo se compuso de cinco pasadas, desde el centro del ancho de faja respectivo más cercano a las líneas de colecta.

**7.2.2. Mezcla de aplicación.** Se empleó la mezcla convencional de aplicación aérea sin la adición de ningún ingrediente activo, a la cual se agregó como marcador el producto Tinopal OB, en dosis de 15 gr/ha.

**7.2.3. Líneas de colecta.** Con el fin de tener una repetición de la información brindada en cada punto escogido de recepción de la deriva, se montaron dos líneas de papel sensible dispuestas en un soporte a 20 cm sobre la superficie del terreno, adecuándolas a las particularidades de cada plataforma, como se especifica en seguida.

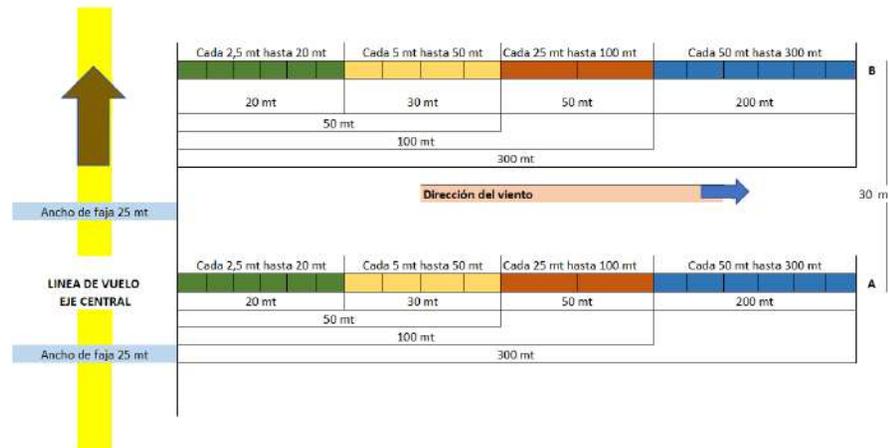
**7.2.4. Disposición de líneas de colecta y papel sensible.** Para el caso del avión las líneas de colecta se separaron 30 metros entre sí y se extendieron hasta 300 metros desde el borde del ancho de faja más próximo a ellas (**Figura 2**).



**Figura 2.** Disposición espacial de las líneas de colecta y papel sensible para la evaluación de la deriva con la aplicación con el avión.

A partir del borde del ancho de faja más cercano se colocó el papel sensible sobre cada línea; en los primeros 20 metros se separaron a una distancia de 2.5 metros, en los 30 metros siguientes la separación fue de 5 metros, entre los 50 y 100 metros se colocaron cada 25 metros, y de ahí en adelante se los ubicó cada 50 metros, hasta una distancia de 300 metros. Para cada línea se utilizaron 21 papeles sensibles, para un total de 210 durante todo el ejercicio. Cada papel sensible empleado estaba identificado con el número de vuelo, posición respecto al borde del ancho de faja y línea a la cual pertenecía (**Figura 2**).

Para el caso del dron, las líneas de colecta se separaron 15 metros entre sí, debido a las condiciones del terreno en el



que se llevó a cabo la prueba. Desde el límite del ancho de faja más cercano se ubicó el papel sensible con separación de 2.5 metros hasta los 50 metros, para tener un total de 21 papeles sensibles por línea (**Figura 3**), para un total de 210.

**Figura 3.** Ubicación en el terreno de las líneas de colecta y papel sensible para el estudio de la deriva proveniente de la aplicación con el dron.

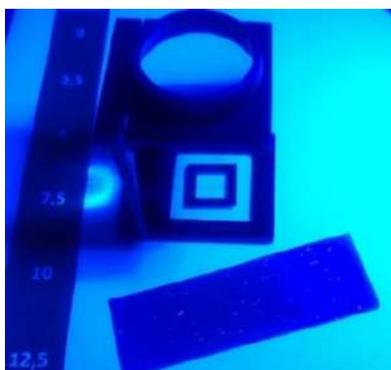
### **7.2.5. Características de las plataformas empleadas en las pruebas.**

Para el caso del avión, la aeronave destinada para los vuelos en la prueba de deriva fue un Ayres Turbo Trush afiliada a la empresa Calima, matrícula HK4644, con base de operación en el corregimiento Zungo Carretera, base Los Planes, del municipio de Apartadó, pilotada por el capitán Samuel Cabrera, quien conocía previamente el objetivo de su labor. El avión se encuentra calibrado para entregar 6 galones/ha, a una velocidad promedio de 192.14 km/h, con un ancho de pasada de 25 m, a 4m de altura. El avión tiene 60 boquillas CP-3 de acero inoxidable con ángulo 30/56°, orificio 0.078 y envergadura alar de 78.28%.

De otro lado, se contó con un dron DJI Agras T16 (Figura 8), propiedad de la empresa Datarock Ingeniería SAS, debidamente registrada para operarlo ante Aerocivil. Algunas características técnicas del dron son las siguientes: stator size = 100x5 mm; KV = 75 rmp/V; empuje máximo = 13.5 kg/rotor; potencia máxima = 2400W/rotor; número de rotores = 6. Para la aplicación se empleó el sistema con 8 boquillas XR110015VS, que entrega máximo 4.8 l/min, con tamaño de gota esperado entre 170 y 265  $\mu\text{m}$ , según el fabricante. Se emplearon los parámetros de vuelo aplicados en su práctica comercial: velocidad de aplicación 7 m/s; altura de vuelo 3 m sobre el dosel del cultivo; ancho de pasada 6 m. Estos parámetros de aplicación fueron previamente determinados por los técnicos respectivos.

**7.2.6. Colecta y lectura de papeles sensibles.** Cada vez que terminaba un vuelo (cinco pasadas) del avión o del dron se recolectaban los papeles sensibles expuestos y se colocaban nuevos. Todos los papeles sensibles se juntaron en una bolsa plástica autosellable por línea de colecta para cada uno de los cinco vuelos evitando tocar la superficie del papel.

Cada papel sensible expuesto se examinó bajo luz ultravioleta de onda larga (luz negra), lo que permite la visualización de las capturas (**Figura 4**). En cada papel se seleccionaron cinco campos de 1 cm<sup>2</sup> en los que se contó el número de gotas (manchas) y se midió su tamaño. Con estos datos se calculó el tamaño de las gotas a la salida del emisor y su diámetro volumétrico medio (DVM), a partir de lo cual se calculó también el volumen de mezcla colectado a cada distancia.



**Figura 4.** Elementos empleados para el examen de la captura de deriva, bajo luz ultravioleta: papel sensible, lupa reticulada y delimitador de campo de lectura.

### 1.7.3. Resultados y discusión

**7.3.1. Avión.** Las condiciones ambientales registradas durante los vuelos se presentan en la **Tabla 1**. Se evidenció una variación alta para el último vuelo en la velocidad máxima del viento, que se había mantenido estable en los anteriores, y que supera levemente el límite de aplicación. Todas las demás variables se consideran dentro de la “ventana de aplicación”.

**Tabla 1.** Registro de las variables atmosféricas de interés durante los vuelos realizados con el avión para el estudio de la deriva en Urabá.

24/09/2021	Vuelo 1	Vuelo 2	Vuelo 3	Vuelo 4	Vuelo 5
<b>Hora de aplicación</b>	Inicio 7:47 am Final 7:50 am	Inicio 8:00 am Final 8:02 am	Inicio 8:11 am Final 8:13 am	Inicio 8:19 am Final 8:22 am	Inicio 8:27 am Final 8:30 am
<b>Temperatura</b>	26.9° C	29.1° C	29.4° C	30.1° C	30.0° C
<b>Humedad relativa</b>	97.7%	95.9%	95.5%	95.5%	95.5%
<b>Velocidad viento</b>	Mín: 3.8 km/h Máx: 4.5 km/h	Mín: 1.7 km/h Máx: 4.6 km/h	Mín: 3.0 km/h Máx: 4.5 km/h	Mín: 1.9 km/h Máx: 4.6 km/h	Mín: 3.5 km/h Máx: 7.6 km/h
<b>Clasificación Beaufort</b>	Brisa ligera	Calma a brisa ligera	Aire ligero a brisa ligera	Calma a brisa ligera	Brisa ligera a suave brisa

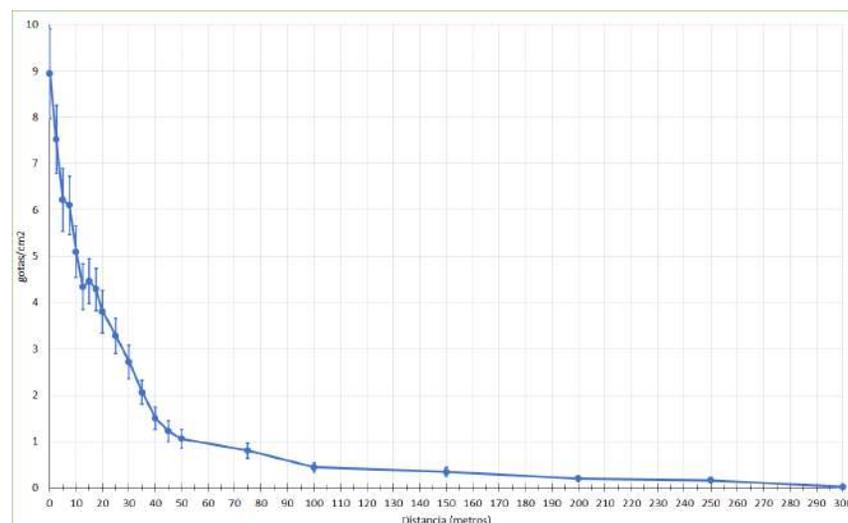
De igual manera, en la **Tabla 2** se pueden consultar algunas características de los vuelos con el avión, según los registros de la propia aeronave.

**Tabla 2.** Información de los vuelos de fumigación con el avión.

Vuelo	Hora inicio	Hora final	Distancia recorrida	Área asperjada	Volumen asperjado	Tasa de aplicación	Velocidad media	Tasa de pulverización
1	7:28	7:54	38.3 km	1.34 km	77.7 litros	23.3 lt/ha	192.5 kph	184.7 lt/min.
2	7:54	8:03	26.6 km	1.34 km	74.7 litros	22.3 lt/ha	192.0 kph	175.8 lt/min.
3	8:03	8:16	41.4 km	1.36 km	74.6 litros	22.0 lt/ha	189.0 kph	172.2 lt/min.
4	8:17	8:24	22.4 km	1.38 km	76.9 litros	22.3 lt/ha	200.4 kph	157.1 lt/min.
5	8:25	8:31	21.9 km	1.34 km	74.9 litros	22.3 lt/ha	186.7 kph	172.1 lt/min.

En la **Figura 5** se presenta la gráfica de los promedios de los conteos del número de gotas/cm<sup>2</sup> obtenido en las diferentes distancias evaluadas. De la gráfica se deduce que a medida que aumenta la distancia desde la fuente emisora, disminuye el número de gotas capturadas. La información muestra que hay mayor variabilidad de las lecturas entre más cercana se ubique la fuente emisora;

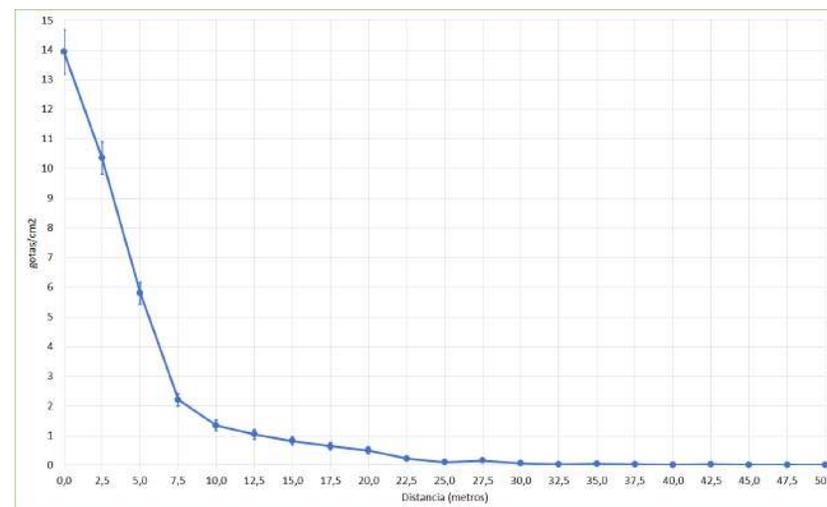
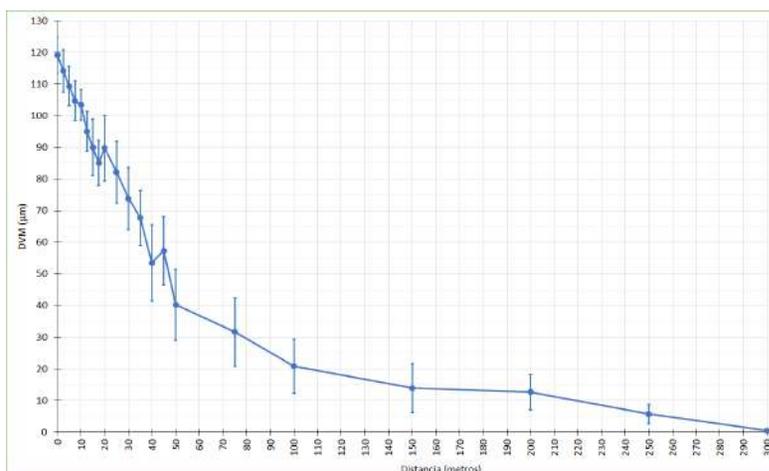
esto podría deberse a la variación de las condiciones ambientales entre los vuelos.



**Figura 5.** Número promedio de gotas/cm<sup>2</sup> ( $\pm$  error estándar) recolectadas en la prueba efectuada con el avión.

En cuanto al DVM, en la **Figura 6** se puede observar el promedio obtenido a lo largo de la distancia de captura. En términos generales, el tamaño de la gota se comportó como se esperaba: a más distancia, menor DVM; también, hubo mayor variabilidad en los datos entre los vuelos que en el caso del número de gotas/cm<sup>2</sup>.

Con la información obtenida en estos dos aspectos se hace posible establecer el volumen de deriva proyectado a una hectárea, por punto de colecta, que se presenta en la Figura 14. El valor máximo registrado, como en los demás parámetros, fue a 0 m, correspondiente a 0.33 l/ha; se presenta un fuerte descenso entre los 10 y 15 m (de 0.16 l/ha a 0.05 l/ha), y desde los 25m se ubica muy cerca de 0 l/ha: 3 ml/ha para esa distancia hasta 0.4 ml/ha a los 45 m desde la fuente de emisión. Con estos datos es posible calcular la concentración de cualquier ingrediente activo a cada distancia.



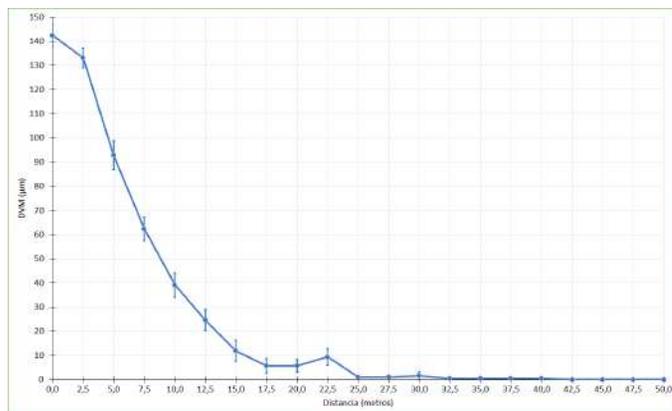
**Figura 6.** DVM promedio ( $\mu\text{m} \pm$  error estándar) de las gotas recolectadas en la prueba efectuada con el avión.

**7.3.2. Dron.** Para esta plataforma de aplicación, se registraron los valores climatológicos consignados en la **Tabla 3**. Luego del vuelo número 3 se hizo una pausa para cambiar las baterías del dron.

**Tabla 3.** Registro de variables climatológicas para la fumigación realizada con el dron.

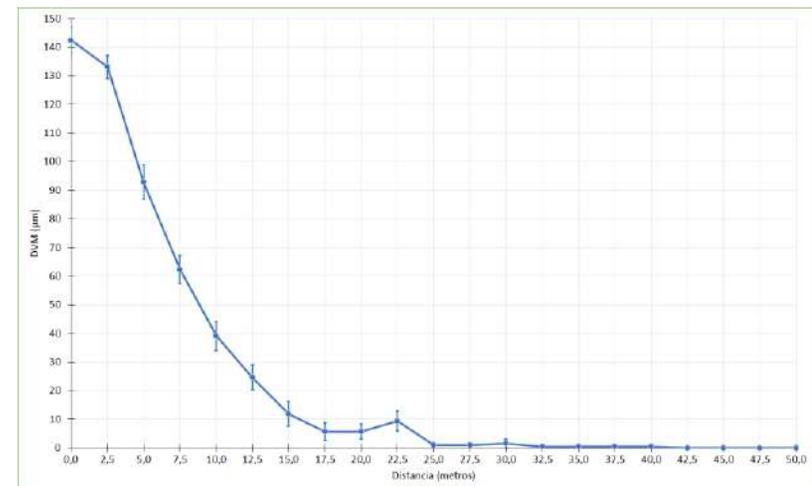
5/10/2021	Vuelo 1	Vuelo 2	Vuelo 3	Vuelo 4	Vuelo 5
<b>Hora de aplicación</b>	Inicio 8:31 am Final 8:33 am	Inicio 8:45 am Final 8:46 am	Inicio 8:54 am Final 8:55 am	Inicio 9:08 am Final 9:09 am	Inicio 9:17 am Final 9:18 am
<b>Temperatura</b>	25.2° C	25.2° C	25.2° C	25.2° C	27.0° C
<b>Humedad relativa</b>	91.1%	91.1%	97.7%	97.7%	97.7%
<b>Velocidad viento</b>	0.0 km/h	0.0 km/h	0.0 km/h	Mín: 3.6 km/h Máx: 7.2 km/h	Mín: 3.6 km/h Máx: 7.2 km/h
<b>Clasificación Beaufort</b>	Calma	Calma	Calma	Brisa ligera a suave brisa	Brisa ligera a suave brisa

El número de gotas/cm<sup>2</sup> presenta un fuerte descenso hasta los 7.5 m de distancia, al ir de 13.9 a 2.2; desde ese punto sigue descendiendo hasta los 25 m para presentar cierta estabilidad. Hasta los 42.5 m se registra un valor, muy bajo, de 0.02 gotas/cm<sup>2</sup>, luego de lo cual no hubo señal del marcador (**Figura 7**). Como se evidencio en el avión, la variabilidad entre lecturas disminuyó con el aumento de la distancia a la fuente de emisión.



**Figura 7.** Número promedio de gotas ( $\pm$  error estándar) para los puntos de muestreo en el estudio de la deriva con el dron.

El DVM promedio pasó de 142.2  $\mu$ l en los 0 m a 5.7  $\mu$ l a 17.5 m del borde de la franja del ancho de pasada empleado, lo que significa un descenso de 136.5  $\mu$ l a esa distancia; posteriormente se observó un leve aumento (2.7  $\mu$ l) hasta los 22.5 metros y una estabilización alrededor de 1.0  $\mu$ l hasta los 30 m, llegando a ser 0.0  $\mu$ l desde los 42.5 m (**Figura 8**).



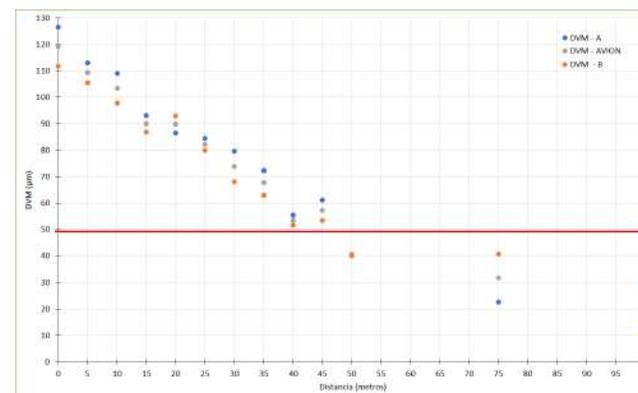
**Figura 8.** DVM ( $\mu$ l) registrado ( $\pm$  error estándar) para cada punto de captura en la prueba de deriva debida a la aplicación con el dron.

Los resultados obtenidos difieren de lo que reportan Sánchez et al. (2021) para el caso de Costa Rica. Aunque las características de los drones empleados en las dos pruebas son muy similares, así como los parámetros de aplicación escogidos, la mayor diferencia entre los modelos es su capacidad de tanque. Por consiguiente, se asume que la diferencia aquí reportada entre los dos estudios se debe a que, en el caso de Costa Rica, la aplicación se hizo a un cultivo de banano.

De igual manera, se debe mencionar los siguientes aspectos en el estudio realizado: 1. Las pruebas se hicieron en vacío, por lo que se podría esperar una deriva mayor al no haber interferencia con el dosel del cultivo y 2. La mezcla aplicada no llevaba ningún ingrediente activo, con lo que las gotas en condición de deriva serían más livianas que las provenientes de una aplicación comercial, con más alta probabilidad de arrastre por viento a distancias mayores.

En el caso de la deriva potencialmente nociva, en relación al avión, se tomó como base el concepto del Dr. Josef Fischer, físico-químico y toxicólogo, asesor internacional del estudio efectuado en 2001, que menciona que la deriva sin efecto biológico nocivo obedece a menos de 5 gotas/cm<sup>2</sup> con DVM máximo de 50  $\mu\text{m}$ .

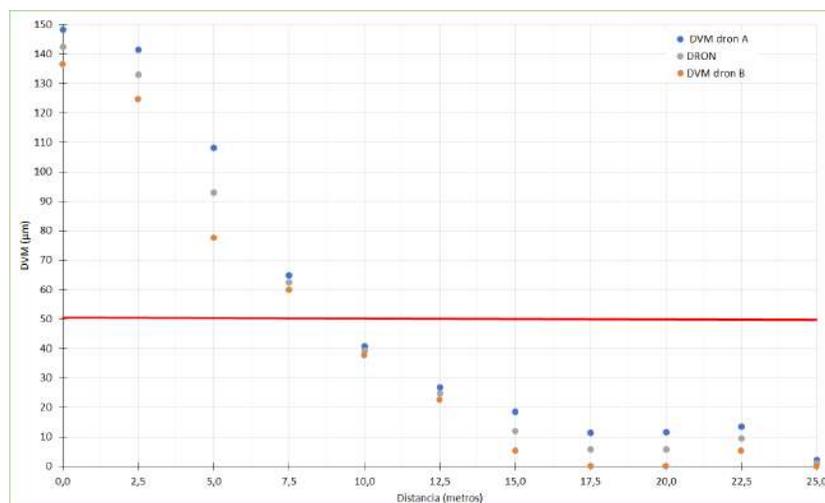
En ese sentido, bajo los parámetros mencionados, y con los resultados obtenidos en este estudio, el DVM se encuentra entre los 45 metros (DVM promedio 57.4  $\mu\text{m}$ ) y los 50 m (DVM promedio 40.3  $\mu\text{m}$ ) de la fuente de emisión (Figura 9).



**Figura 9.** Resultados de la captura de deriva proveniente de aplicación con avión hasta los 100 metros de distancia; se representan los datos de las dos líneas de recolección y el promedio. La línea horizontal roja determina el máximo DVM que debe tener una gota para evitar efectos biológicos nocivos.

Aplicando supuestos matemáticos, se tiene que a los 48 metros el DVM es inferior al límite determinado que se mencionó anteriormente. A esa distancia hay poco más de una gota/cm<sup>2</sup> (**Figura 5**), con lo que a esa distancia se cumplen los supuestos establecidos. Este resultado es similar al obtenido en el estudio de 2001, que menciona una franja de seguridad de 45 m.

Por otra parte, para el Dron el DVM límite de 50  $\mu\text{m}$  se encuentra entre los 7.5 m y los 10 m (**Figura 10**). El DVM promedio fue de 62.4  $\mu\text{m}$  y 39.2  $\mu\text{m}$ , respectivamente.



**Figura 10.** Resultados de la captura de deriva proveniente de aplicación con dron hasta los 25 metros de distancia; se representan los datos de las dos líneas de recolección y el promedio. La línea horizontal roja determina el máximo DVM que debe tener una gota para evitar efectos biológicos nocivos.

Con el mismo criterio de determinación aproximada de la distancia a la que se puede considerar no efectiva la deriva, se obtuvo que a los 9.0 metros de distancia se

cumplen las condiciones. El número promedio de gotas/ $\text{cm}^2$  en el rango se ubicó entre 2.2 y 1.3 (**Figura 7**), con lo que se cumplen los supuestos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio difieren del trabajo que fue realizado en Costa Rica (2021), debido a que concluyen que a una distancia de 5 m la deriva es nula. Sin embargo, los datos que se relacionan a esa distancia muestran gotas con DVM entre 101.2 y 158.0  $\mu\text{m}$ ; esto hace suponer que, para determinar la distancia de seguridad la variable utilizada fue el volumen capturado, con lo que en la prueba actual la zona de seguridad se ubicaría hasta los 2.5 metros de distancia. Adicionalmente, las pruebas en Costa Rica se hicieron desde aplicaciones a cultivo de banano, mientras que en el trabajo actual se trató de maximizar la deriva al hacer las aplicaciones sobre el terreno.

#### 7.4. Conclusiones

- La deriva aérea por aplicación con avión y dron se sitúa bajo los 50 y 9 metros respectivamente. Para el caso de la aplicación con avión, los resultados presentaron diferencias a la observado en un

amplio estudio realizado en 2001, posiblemente a la mejora en equipos, mejores tecnologías (por ejemplo, avances en el sistema GPS, válvulas de cierre automático) y entrenamiento a pilotos aéreos.

- Dado que el decreto que regula la zona de seguridad tiene bastante tiempo de expedición, se puede solicitar su revisión; los datos de los trabajos de 2001 y el actual demuestran que esta zona para aplicaciones aéreas puede reducirse a la mitad. De igual manera, tener en cuenta que para el momento que se expidió el decreto 1843 de 1991 no se tenía contemplado la tecnología de aplicación por dron.
- Con el fin de obtener más información que complemente los datos que en este estudio se presentan, se recomienda llevar a cabo más pruebas de deriva con las dos plataformas que se utilizaron, principalmente el dron, por su reciente introducción para el manejo de enfermedades de importancia como Sigatoka negra; tales pruebas pueden hacerse en condiciones similares bajo las

que se hizo este trabajo, así como en condiciones reales de aplicación a cultivos.

## 7.5. Referencias bibliográficas

Betancur B., Juan Carlos. 2016. Análisis y reestructuración del Área Buffer en Control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en la finca Maryland. Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Administración de Empresas Agropecuarias Caldas – Antioquia.

Decreto 1843 de 1991. Por el cual se reglamentan sobre uso y manejo de plaguicidas.

Quantick, H. R. 1985. Aviation in crop protection, pollution and insect control.

Johnstone, D.R. 1971. Droplet size for low and ultra low volumen spraying. Cott. Gr. Rev 48, 218 – 233.

Matthews, G.A. 1992. Pesticide application methods. 2nd ed.

Sesquilé Peña, Juan David. 2014. Evaluación de la calidad de aplicación de plaguicidas en un cultivo de espinaca. Universidad Nacional de Colombia.

Facultad Nacional de Salud Pública Universidad de Antioquia. 2001. Estudio de la deriva de agroquímicos por aplicaciones aéreas en la zona bananera de Urabá.

FAO. 2002. Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Aérea de Plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

Novartis. 1998. Aplicaciones técnicas: principios y fundamentos.

Sánchez, M; Villalobos, R; Villalta, R; Carr C; Guzmán M. 2021. Medición de la deriva en aplicaciones aéreas de fungicidas para el combate de la sigatoka negra con sistema de aeronaves no tripuladas (RPAS-drones) en el cultivo de banano. Hoja divulgativa N° 21, Dirección de Investigaciones, Corporación bananera nacional, Corbana. Costa Rica.

SprayGuru. 2017. Lector de tarjetas hidro sensibles, Glosario.

Syngenta. 2002. Manual for field trials in crop protection. 4th edition.

Syngenta. Aplicaciones Técnicas, Principios y Fundamentos.

## 8. PROSPECCIÓN DE CEPAS DE *Trichoderma* spp. DE LA REGIÓN DE URABÁ CON ACTIVIDAD ANTAGÓNICA FRENTE A *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* RAZA 1

**Autores:** Kelly Maryori Ortiz Quintero, Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Gloria Marcela Pérez Ochoa, Sebastián Zapata Henao

### Resumen

El banano es una de las frutas tropicales de mayor consumo y comercialización en Colombia y en el mundo. Sin embargo, su producción se ve seriamente afectada por la marchitez por *Fusarium*, considerada como la enfermedad más devastadora en la historia del banano, ocasionada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc), un hongo cosmopolita, habitante natural del suelo que provoca efectos destructivos en la planta, bloqueando su sistema vascular, impidiendo con ello la absorción de agua y nutrientes ocasionando marchitez y seguidamente su muerte. De igual manera, este hongo presenta una alta variabilidad genética, como consecuencia de procesos evolutivos, lo que ha generado la aparición de diferentes

razas fisiológicas, afectando diversos cultivares de banano. En ese contexto, la eventual llegada de la raza 4 tropical (R4T) a Colombia, más exactamente a los departamentos de La Guajira y el Magdalena en el año 2019 y 2021, respectivamente, ha generado gran preocupación y activado la alerta en el gremio bananero latinoamericano, poniendo en marcha diversas estrategias para contener la enfermedad en las áreas donde está presente y evitar la entrada a regiones declaradas libres de la enfermedad como la subregión del Urabá antioqueño. Es importante mencionar que a nivel mundial no existen productos de síntesis química que controlen la enfermedad y las investigaciones están direccionadas a la obtención de material vegetal resistente y estrategias biológicas mediante microorganismos antagonistas. En ese sentido, el objetivo del presente estudio, fue la prospección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. de la región de Urabá con actividad antagónica frente *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Raza 1 como modelo de estudio. Los resultados obtenidos evidenciaron que la cepa TM5L12 aislada de suelo, mostro una mayor actividad antagonista sobre Foc R1, en comparación con las otras cepas aisladas.

**Palabras clave:** Biocontrol, Foc R4T, Antagonismo

## 8.1. Introducción

El banano se ubica como uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial, junto con el arroz, trigo y maíz (Perrier et al., 2011). Colombia, es el quinto país con mayor exportación lo que representa uno de los principales rengones de la economía del país. Sin embargo, las diversas plagas y enfermedades son los principales factores que afectan la productividad de la fruta. En ese contexto, la marchitez ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), habitante natural del suelo, es la enfermedad que hasta la historia de hoy ha sido la más devastadora para la agroindustria bananera (Catambacan y Cumagun, 2021). De igual manera, este hongo presenta una alta variabilidad genética, como consecuencia de procesos evolutivos, lo que ha generado la aparición de diferentes razas fisiológicas, afectando diversos cultivares de banano. Aunado a esto, la fácil diseminación de sus estructuras reproductivas como microconidios y macroconidios, el escaso conocimiento de la epidemiología de la enfermedad y la falta de alternativas de manejo, hacen aún más difícil su control.

Actualmente, la enfermedad se encuentra distribuida a nivel mundial, sin embargo, hasta el 2019 se reportó el

primer caso en el continente americano, más exactamente en Colombia y posteriormente en Perú en el 2021, lo que ha generado gran preocupación y ha activado la alerta en el gremio bananero, poniendo en marcha diversas estrategias de control. Por las consideraciones mencionadas, el control biológico mediante el uso de microorganismos con actividad antagonista, es una alternativa que juega un papel fundamental, no solo en la acción directa sobre el microorganismo patógeno, sino también, sobre las condiciones edáficas, interactuando con la microbiota de la rizosfera, generando suelos supresivos frente a Foc R4T (Damodaran et al., 2020). En ese sentido, *Trichoderma* spp. es un hongo cosmopolita del suelo que ha sido ampliamente caracterizado, evidenciando diferentes mecanismos de acción como micoparasitismo, producción de enzimas que degradan las paredes fúngicas, promotores del crecimiento que favorecen a la planta y generación de metabolitos secundarios y compuestos volátiles (Qian et al., 2019); (Sánchez-Espinosa et al., 2020). En ese contexto, el objetivo del presente trabajo fue el aislamiento y caracterización de cepas nativas de *Trichoderma* spp. provenientes de la región de Urabá, principal región exportadora del país, con potencial antagonico frente a *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raza 1, como modelo de estudio.

## 8.2. Materiales y métodos

**8.2.1. Zona de muestreo.** Para la evaluación e identificación de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con posible actividad antagonica frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza 1, se realizó un muestreo en el campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, adscrito al Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO) ubicado en la subregión del Urabá-Antioquia (7° 49'25 °N 76 ° 38'55'W). Allí, se realizó la colecta de muestras de suelo y se distribuyeron trampas de arroz, con el fin de realizar el aislamiento a partir del sustrato colonizado. Cada uno de los puntos de muestreo fueron georreferenciados mediante un GPS (Garmin) **(Figura 1)**.



**Figura 1.** Mapa del campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado en la subregión del Urabá-Antioquia. Los asteriscos en rojo indican la disposición de las trampas de arroz. Los puntos amarillos indican las muestras de suelo.

### 8.2.2. Cepa de *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* (Foc).

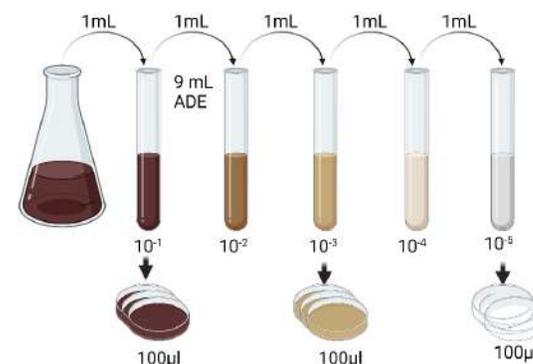
Cabe mencionar que debido a las restricciones y al alto riesgo que implica trabajar con la cepa de Foc R4T en el Urabá, zona declarada libre del patógeno, la presente investigación se desarrolló utilizando

una cepa de *F. oxysporum* f. sp. *ubense* R1, codificada como IB, de la colección de hongos del laboratorio de CENIBANANO, aislada a partir de muestras de pseudotallo sintomático de plantas de banano Manzano (AAB) de la finca comercial "La Isla Bonita" (lat. 7 ° 48'08 " N, long. 76o41'25 " W) con un historial de presencia de Foc R1 de 12 años y conservadas previamente por el método de papel filtro. Para su reactivación, se tomó un papel y se dispuso en el centro de una caja Petri, que contenía medio de cultivo PDA, suplementado con cloranfenicol (Colmed internacional ®) a una concentración de 150 ppm para evitar la contaminación bacteriana, incubado durante 7 días a 27 °C.

### 8.2.3. Aislamiento de *Trichoderma* spp. a partir de muestras de suelo.

Las muestras de suelo se obtuvieron de un cultivo establecido de banano Cavendish, en los lotes 7, 8, 9, 11 y 12 del campo experimental, seleccionados bajo los criterios de vigorosidad de plantas, productividad y bosques nativos circundantes. De igual manera, se muestrearon lotes bajo presión de otras

enfermedades y expuestos a fumigación aérea. Los muestreos se realizaron con ayuda de un barreno, tomando muestras de 10 cm de profundidad y suelo a nivel superficial. Cada muestra fue depositada en tubos falcón de 50 ml, marcados debidamente con el lote muestreado, posteriormente se trasladaron al laboratorio de CENIBANANO donde cada una de las 12 muestras colectadas fueron tamizadas para eliminar partículas de mayor tamaño, posterior a ello, se pesó 1 g de suelo por muestra y este fue llevado a 9 ml de agua destilada estéril (ADE), de esta solución madre se realizaron diluciones seriadas hasta  $10^{-5}$ , luego se tomó 100  $\mu$ l de las diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  para realizar siembra en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) (Difco™, Becton, Dickinson and company) (**Figura 2**), suplementado con cloranfenicol (Colmed international ®) a una concentración de 100 ppm para evitar la contaminación bacteriana, incubado durante 7 días a 27 °C, realizando tres réplicas por dilución para cada muestra de suelo.

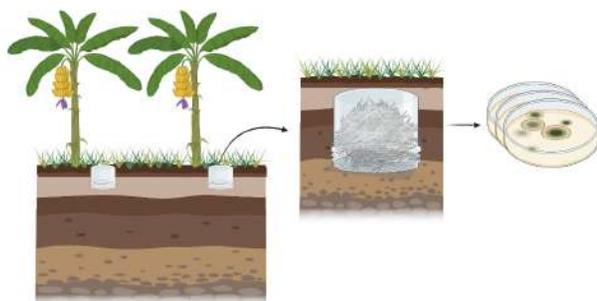


**Figura 2.** Diluciones seriadas a partir de muestras de suelo.

Pasados 5 días se observó el crecimiento presentado en las cajas sembradas de las diferentes muestras y diluciones, realizando caracterización de las posibles colonias con características morfológicas características de *Trichoderma* spp. como tonalidad verde esmeralda y un olor agradable (anisado o coco), posteriormente, se procedió a realizar la purificación de la cepa realizando cultivo monospórico.

**8.2.4. Aislamiento de *Trichoderma* spp. a partir de trampas de arroz.** Las trampas fueron distribuidas de acuerdo a los criterios anteriormente mencionados, inicialmente, el arroz fue lavado 3

veces con ADE para hidratarlo, luego de esto se calentó agua y se adiciono el arroz para cocinarlo durante 20 min, posteriormente, se extrajo y se dejó secar en papel absorbente por 30 min , seguidamente fue depositado 100 gramos de arroz en recipientes plásticos y sellados con una capa de gasa. Durante el transcurso del recorrido, los recipientes se disponían a 10 cm de profundidad del suelo, cubriéndose posteriormente con el mismo suelo (**Figura 3**).

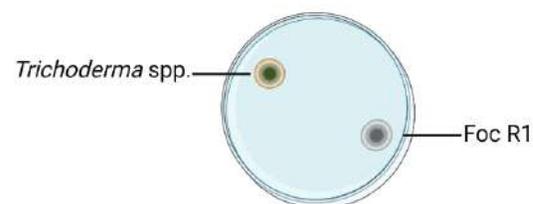


**Figura 3.** Disposición de trampas para la captura de microorganismos a partir de sustrato de arroz.

Pasados 8 días se realizó la recolección de las trampas y llevadas al laboratorio para su procesamiento y posterior aislamiento. Inicialmente, se seleccionaron los granos de arroz que presentaban esporulación verde esmeralda, los

cuales fueron sembrados en medio PDA e incubados durante 5 días a una temperatura de 27°C, posterior a ello, se procedió a seleccionar las colonias que presentaban similitud con características reportadas en literatura reaislandose a una nueva caja con medio PDA, nuevamente pasados 5 días de incubación, se realizó el procedimiento anteriormente descrito para obtener un cultivo monospórico y finalmente la purificación de la cepa.

**8.2.5. Prueba de antagonismo.** Para evaluar el antagonismo se realizó enfrentamientos duales, en un extremo se sembró un disco del biocontrolador y en el otro extremo un disco del patógeno (Foc R1), de modo que estos quedaran próximos a los bordes (1cm) como se evidencia en la **Figura 4**.



**Figura 4.** Descripción ilustrativa de prueba de antagonismo *Trichoderma* spp. vs Foc R1.

La evaluación del antagonismo consistió en la toma del diámetro de crecimiento tanto del antagonista como del patógeno, midiendo el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), mediante la fórmula de (Worasatit et al., 1994), donde:

$$PICR = \left[ \frac{Di - Dii}{Di} \right] * 100$$

Siendo:

Di - Diámetro de las colonias del patógeno libre de antagonistas.

Dii- Diámetro de las colonias del patógeno enfrentadas con las cepas antagonistas.

Se realizó la evaluación con la escala planteada por (Bell et al., 1982), en esta se hace referencia a los diferentes clases de antagonismo de *Trichoderma* sobre un microorganismo patógeno (**Tabla 1**), la cual mide el crecimiento del micelio del patógeno y relaciona que porcentaje fue inhibido por el antagonista, determinando

el grado de invasión y destrucción por parte de *Trichoderma* spp. al patógeno (Agamez Ramos et al., 2009).

**Tabla 1.** Descripción de grado y capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. sobre microorganismos fitopatógenos (Agamez Ramos et al., 2009).

Grado	Capacidad antagónica
<b>1</b>	<i>Trichoderma</i> spp. sobre creció completamente el patógeno y cubrió la superficie del medio
<b>2</b>	<i>Trichoderma</i> spp. sobre creció las dos terceras partes de la superficie del medio
<b>3</b>	<i>Trichoderma</i> spp. y el patógeno colonizaron cada uno aproximadamente la mitad de la superficie del medio y ningún organismo fue dominando por el otro
<b>4</b>	El patógeno colonizo las dos terceras partes de la superficie del medio y resistió enrollamiento de <i>Trichoderma</i> spp.
<b>5</b>	El patógeno domino completamente <i>Trichoderma</i> spp., sobre creció y ocupó por entero la superficie del medio.

**8.2.6. Análisis estadístico.** El análisis de los datos se realizó bajo un diseño completamente al azar. Cada ensayo contó con 8 repeticiones, y 4 réplicas por tratamiento. Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los test de análisis de varianza (ANOVA), Bartlett y Tukey de la librería stats. De igual manera utilizó la metodología LSD de Fisher para comparación de medias bajo este mismo método, haciendo uso del software libre R (versión 4.2.2) (R Core Team, 2022). utilizando el paquete estadístico R Studio.

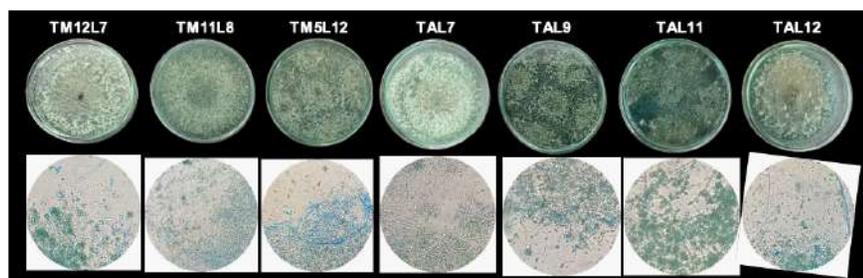
### 8.3. Resultados y discusión

Se obtuvieron un total de 7 cepas de *Trichoderma* spp. de los diferentes lotes muestreados, de las cuales 3 aislados se obtuvieron de muestras de suelo y los 4 restantes a partir de trampas de arroz (**Tabla 2**). Los aislados obtenidos fueron purificados y caracterizados morfológicamente, evidenciando inicialmente micelio de color blanco y eventualmente micelio de color verde esmeralda, de igual manera, las colonias presentaban aroma anisado; en cuanto a la identificación microscópica se observó micelio septado, conidióforos ramificados perpendiculares, fiálides largas y delgadas,

conidios citriformes y subglobosos y clamidosporas (**Figura 5**).

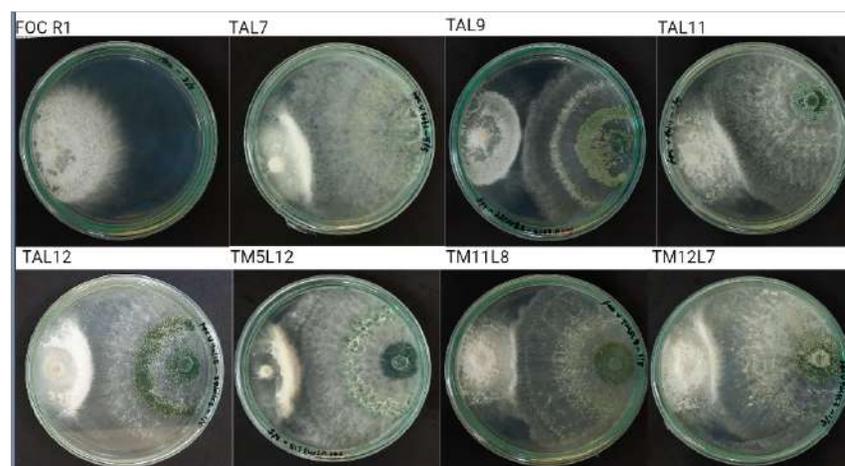
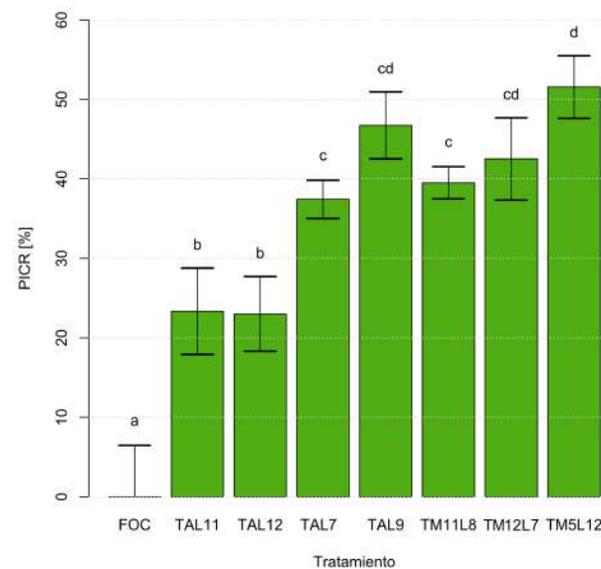
Código	Hongo	Lote	Tipo de Muestra
TM12L7	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 7	Suelo
TM11L8	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 8	Suelo
TM5L12	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 12	Suelo
TAL7	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 7	Trampa de Arroz
TAL9	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 9	Trampa de Arroz
TAL11	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 11	Trampa de Arroz
TAL12	<i>Trichoderma</i> spp.	Lote 12	Trampa de Arroz

**Tabla 2.** Codificación de las cepas nativas aisladas indicando lote y tipo de muestra.



**Figura 5.** Registro fotográfico de las 7 cepas nativas aisladas de *Trichoderma* spp. caracterizadas macroscópica y microscópicamente.

En relación a las pruebas de antagonismo para las 7 cepas obtenidas, se evidencio que todas las cepas confrontadas presentaban un grado mayor o menor de antagonismo sobre Foc R1. Los aislados TM5L12, TAL9 y TM12L7 mostraron un porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de 51, 46 y 42% respectivamente frente a Foc R1 (**Figura 6**).

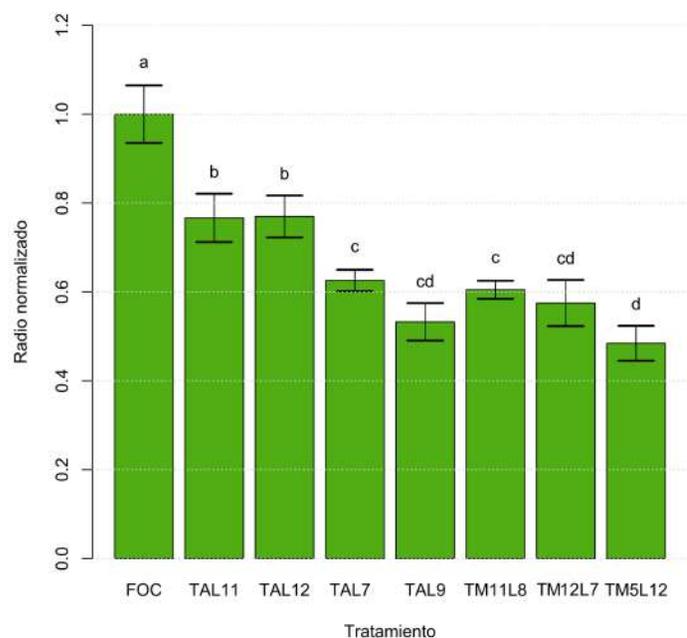


**Figura 6. A** Inhibición del crecimiento radial (PICR) representada en porcentaje de las cepas nativas aisladas del campo experimental frente a Foc RI. Los valores presentados corresponden a la media  $\pm$  SD. Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos,  $p$ -value  $< 0.01$ . **B** Registro fotográfico de antagonismo de las cepas de *Trichoderma* spp. frente a Foc RI.

Las relaciones y sinergias que se encuentran entre los organismos del suelo han permitido ejecutar estrategias con el fin de controlar enfermedades causadas por patógenos. Muchos microorganismos poseen las capacidades de actuar como controladores biológicos suprimiendo el desarrollo normal del patógeno, donde actúan mediante la generación de volátiles, metabolitos secundarios, enzimas, competencia por espacio y alimento generando un ambiente hostil. En el mismo sentido, el control biológico ha tomado gran fuerza en los últimos años en diversos patosistemas incluyendo el Foc / Banano, en el que se ha trabajado con *Trichoderma* spp. un género de hongos habitante natural del suelo, el cual ha sido considerado como uno de los mejores agentes de control biológico (Bubici et al., 2019).

En ese sentido, la capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. está ampliamente documentada, sus características como un hongo habitante natural del suelo le permiten proteger a las plantas y ser catalogado como un microorganismo que ofrece una alternativa eficaz para el control de enfermedades (Sánchez-Espinosa et al., 2020). La acción antagónica de *Trichoderma* spp. se basa en el micoparasitismo (Papavizas, 1985); (Harman y Kubicek, 2014) debido a su capacidad de generar enzimas degradadoras de la pared fúngica como lo son quitinasas, glucanasas y proteasas (Qian et al., 2019), de igual manera, su capacidad de generar compuestos orgánicos volátiles y antimicrobianos y de forma indirecta, la inducción de la resistencia sistémica inducida en la planta (Sudantha, 2021); (Bubici et al., 2019). En ese contexto, la obtención de cepas nativas de *Trichoderma* spp., de plantaciones de banano con potencial antagónico, permitirá la evaluación en condiciones de invernadero y campo, de igual manera, evaluar factores fisiológicos de la planta dentro de las interacciones de los agentes de biocontrol con la rizosfera. Por otra parte, al realizar el análisis teniendo como referencia la medición del diámetro radial de Foc RI enfrentadas con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas, se observa que las mediciones del radio en las cepas en las cuales hubo una

mayor inhibición de Foc R1 son TM5L12, TAL9 y TM12L7 con un porcentaje de 48%, 53% y 57%, seguidas de TM11L8 con 60%, TAL7 con 62%, TAL11 y TAL12 con 76% y 77% respectivamente. Lo anterior es consecuente con lo evidenciado en el análisis inicial, donde la cepa TM5L12 presenta el mejor comportamiento frente a Foc R1 (**Figura 7**).



**Figura 7.** Comparación radial de Foc R1 enfrentadas con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas del campo experimental.

Samaniego-Fernández et al., (2018) evidencio la gran capacidad antagonica de cepas de *Trichoderma* frente a diversos fitopatógenos del suelo *Rhizoctonia solani* Kühn, *Fusarium* spp. y *Sclerotium rolfsii*. (Sudantha, 2021), realizó aislamientos de endófitos de *Trichoderma* spp. de plantas de banano donde obtuvo cepas eficaces para suprimir el crecimiento del hongo *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Por otro lado, cepas de *Trichoderma* evaluadas contra Foc R4T produjeron metabolitos altamente tóxicos con fuerte actividad antagonica, inhibiendo el crecimiento del micelio entre un 50-96% (Al-Ani, 2018). Estudios similares realizados por (Napitupulu et al., 2019), demostraron que luego de cinco días de crecimiento de *Trichoderma harzianum*, hubo una sobreposición de estructuras del biocontrolador entre un 63 y 88% de la superficie, las cepas produjeron metabolitos volátiles con actividad antimicrobiana que tuvieron efectos significativos en el crecimiento y desarrollo del patógeno.

#### 8.4. Conclusiones

- La cepa nativa TM5L12 de *Trichoderma* spp. aislada a partir de muestra de suelo evidencio una gran capacidad antagónica frente a *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raza 1 (Foc R1), lo que permitirá escalar a evaluaciones en invernadero y en campo. De igual manera, las cepas nativas TAL9 y TM12L7 de *Trichoderma* spp. aisladas a partir de trampas de arroz y de muestras de suelo respectivamente, presentaron efecto antagonista frente a Foc R1.

#### 8.5. Referencias bibliográficas

Agamez Ramos, E., Barrera Violeth, Jos., & Oviedo Zumaqué, L. (2009). Evaluación del antagonismo y multiplicación de *Trichoderma* sp. En sustrato de plátano en medio líquido estático. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 61-70.

Al-Ani, L. (2018). Antagonistic of some *Trichoderma* against *Fusarium oxysporum* sp. F. *Cubense tropical race 4 (FocTR4)*. 2, 35-38.

Bell, D. K., Wells, H. D., & Markham, C. R. (1982). In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 72(4), 379-382.

Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Gómez-Lama Cabanás, C., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological Control Agents Against *Fusarium* Wilt of Banana. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.00616>

Catambacan, D. G., & Cumagun, C. J. R. (2021). Weed-Associated Fungal Endophytes as Biocontrol Agents of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Cubense* TR4 in Cavendish Banana. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, 7(3), 224. <https://doi.org/10.3390/jof7030224>

Harman, G. E., & Kubicek, C. P. (Eds.). (2014). *Enzymes, Biological Control and commercial applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482267945>

Napitupulu, T. P., Ilyas, M., Kanti, A., & Sudiana, I. M. (2019). In vitro evaluation of *Trichoderma harzianum* strains for

- the control of *Fusarium oxysporum* F.sp. *Cubense*. *Plant Pathology & Quarantine*, 9(1), 152-159.
- Papavizas, G. C. (1985). *Trichoderma* and *Gliocladium*: Biology, Ecology, and Potential for Biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 23(1), 23-54. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.000323>
- Perrier, X., Langhe, E. D., Donohue, M., Lentfer, C., Vrydaghs, L., Bakry, F., Carreel, F., Hippolyte, I., Horry, J.-P., Christophe, J., Lebot, V., Risterucci, A.-M., Tomekpe, K., Doutrelepont, H., Ball, T., Manwaring, J., Maret, P. de, & Denham, T. (2011). Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(28), 11311-11318. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>
- Qian, Y., Zhong, L., Sun, Y., Sun, N., Zhang, L., Liu, W., Qu, Y., & Zhong, Y. (2019). Enhancement of Cellulase Production in *Trichoderma reesei* via Disruption of Multiple Protease Genes Identified by Comparative Secretomics. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.02784>
- Samaniego-Fernández, L., Harouna, M., Corbea, O., Castillo, A. J., & Placeres-Espinosa, I. (2018). *Isolation, identification, and evaluation of indigenous strains of Trichoderma spp. As antagonistic fungi of soil pathogens*. 33.
- Sánchez-Espinosa, A. C., Villarruel-Ordaz, J. L., & Maldonado-Bonilla, L. D. (2020). The cause and potential solution to the *Fusarium* wilt disease in banana plants. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 435-442. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.617>
- Sudantha, I. (2021). Characterization and virulence of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Cubense* cause wilt disease in banana plants and its biological control using endophytic fungi *Trichoderma* spp. At West Nusa Tenggara, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 886, 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012016>
- Worasatit, N., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., & Rowland, C. (1994). Variation in pyrone production, lytic enzymes and control of rhizoctonia root rot of wheat among single-spore isolates of *Trichoderma koningii*. *Mycological Research*, 98(12), 1357-1363. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)81063-0](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)81063-0)

## 9. EVALUACIÓN DE EXTRACTO NATURAL COMO ATRAYENTE EN TRAMPAS PARA CAPTURA DE ADULTOS DE *Antichloris viridis*

**Autores:** Angela Benavides Martínez, Carlos Alberto Vicente Arenas y Sebastian Zapata Henao

### Resumen

La ausencia de herramientas para el monitoreo de plagas como *Antichloris viridis* ha dificultado tener un control oportuno para evitar daños en las plantaciones de banano. Bajo este contexto, en el presente trabajo se evaluó un extracto natural como posible atrayente de adultos de esta plaga en miras de desarrollar un prototipo de trampa para ser utilizada dentro de las plantaciones, con el fin de capturar los adultos, cortando el ciclo de la plaga y disminuyendo el nivel de poblaciones de la mariposa, así evitando posturas de huevos y posteriores larvas que producen defoliaciones en el cultivo. Se encontró, que el extracto atrae adultos de *Ceramidia*, de acuerdo al ciclo de vida de la plaga, por lo cual, se

proyecta como una posible herramienta para escalar en un futuro, en el manejo integrado de plagas en banano.

**Palabras clave:** *Ceramidia*, Bejuco del diablo, monitoreo.

### 9.1. Introducción

Como parte del manejo integrado de plagas en el cultivo de banano, resulta importante realizar el monitoreo en campo con el fin de detectar la presencia temprana de ciertas plagas dentro de la plantación. *Antichloris viridis* llamada por su nombre común (nc.) *Ceramidia*, es una plaga defoliadora, cuyos instares larvales realizan el daño tan pronto emergen de los huevos, el monitoreo sobre la hoja implica que el daño ya se está forjando, por esto, se requiere monitorear y controlar los adultos para evitar las oviposiciones sobre las hojas antes que se produzca el daño. Por esta razón, implementar el uso de trampas atrayentes de adultos de esta plaga se torna una necesidad en las plantaciones de banano, de esta manera, interrumpir su ciclo biológico y evitar la pérdida de daño foliar en las plantaciones.

## 9.2. Materiales y métodos

### 9.2.1. Propagación de la planta (*Sarcostema glaucum*).

La planta de *Sarcostema glaucum* es un bejuco de hoja ancha, llamado comúnmente “Bejuco del diablo”. Esta planta se buscó en una de las plantaciones de banano del Urabá y se empezó a propagar en el campo experimental y en la parcela de Cenibanano. Para esto, se cortaban ramas de la planta y se sembraban o se buscaba la semilla y se trasplantaba para lograr su propagación (**Figura 1**).



**Figura 1.** Planta *Sarcostema glaucum* nc. “bejuco del diablo”.

**9.2.2. Preparación del extracto.** se tomaron hojas del bejuco y pesaron 60 g/l, se doblaron y cortaron en tiras de 1 cm de ancho aproximadamente (**Figura 2**).



**Figura 2.** Corte de hojas de bejuco

Las hojas cortadas se colocaron en una licuadora y se agregó agua o agua + alcohol (de acuerdo al tratamiento), se licuó muy bien durante 1 o 2 minutos (**Figura 3**). Para las trampas que llevaban extracto + alcohol (T1) se realizó la mezcla de agua y alcohol en una proporción 1:1, es decir que, por 1 L, se colocó 500 ml agua y 500 ml alcohol al 70%.



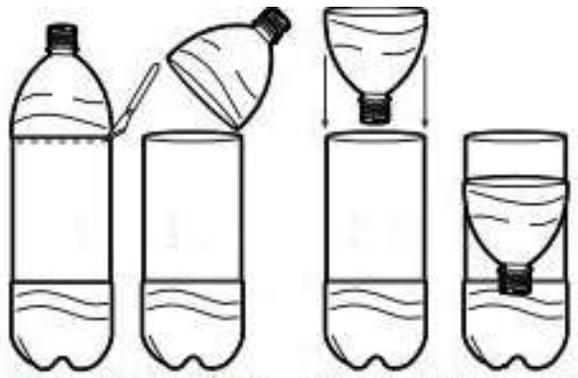
**Figura 3.** Licuado para obtención de extracto del bejuco.

Este licuado, se pasó por un tamiz o colador y se exprimó muy bien, hasta dejar sin líquido el afrecho del licuado, se envasó y conservó hasta ser utilizado, generalmente el extracto se preparó un día antes de ser utilizado (**Figura 4**).

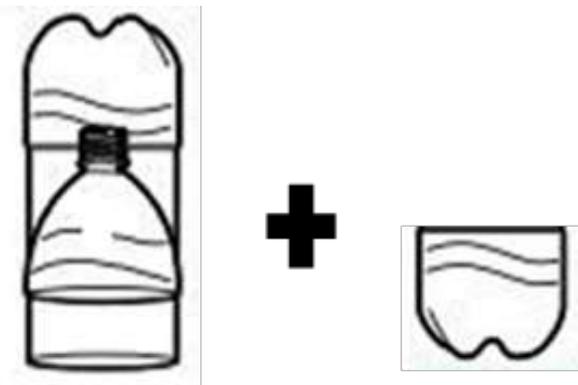


**Figura 4.** Colado del extracto.

**9.2.3. Construcción de trampas.** Se tomó una botella PET de gaseosa de 2 o 2.5L y se cortó, de manera que quedara un embudo, luego se colocó dentro de la otra parte cortada de la botella de forma invertida (**Figura 5**). Por otro lado, se cortó la base de otra botella PET y luego con alambre se amarró a la botella anterior desde tres puntos, con el fin de asegurarla (**Figura 6 y 7**).



**Figura 5.** Paso 1 para construcción de la trampa.



**Figura 6.** Paso 2 para construcción de la trampa.



**Figura 7.** Paso 3 de construcción y ejemplo de cómo debe quedar la trampa.

**9.2.4. Instalación de trampas.** Para la instalación, se realizaron dos orificios en la parte lateral de la trampa para realizar el amarre a la torre. Dichas trampas se ubicaron cada 50 m sobre el cable vía. Los tratamientos se instalaron de manera intercalada y las trampas fueron activadas desde el momento que se agregó el líquido (100 ml) a cada una de estas. Las trampas fueron revisadas cada 8 días, registrando el número de capturas de individuos adultos / tratamiento, e inmediatamente

se reactivaba la trampa de nuevo. En el lote se instalaron 4 trampas por cada tratamiento, para un total de 16 trampas, ubicadas en un lote de una finca que tuviera altas poblaciones de la plaga.

**9.2.5. Tratamientos.** En este trabajo se evaluaron los siguientes tratamientos: **T1:** Planta + agua + alcohol al 70% (1:1); **T2:** Planta + agua; **T3:** Alcohol etílico al 70%; **T4:** Preparación de oxyfluorfen al 1% (Producto Galigán®).

### 9.3. Resultados y discusión

Las trampas fueron instaladas en la semana 33 y se obtuvieron datos a partir de la semana 34 hasta la semana 47. Durante este periodo, se alcanzó a evaluar al menos tres ciclos de vida de la plaga dentro de la plantación (**Tabla 1 y Figura 8**).

**Tabla 1.** Capturas obtenidas durante el periodo de evaluación donde se señalan los tres ciclos de *Antichloris viridis*.



**Figura 8.** Capturas de adultos de *Antichloris viridis* en campo.

Los resultados de todas las capturas de adultos de *Antichloris viridis* nc. *Ceramidia* también presentados en la **Tabla 1** muestran que la mayoría de individuos obtenidos en las trampas fueron a partir de aquellas que contenían el extracto de la planta o bejuco, lo cual es un indicativo

TRATAMIENTO	SEMANA														
	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
T1	4	16	3	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	6	
T2	1	0	0	1	0	0	0	12	1	0	0	0	0	6	
T3			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
T4						0	0	0	0	0	0	0	0	0	

que la planta posee algún metabolito que ejerce un efecto de atracción a la mariposa o adulto de esta plaga. Por otro lado, el T1 (planta + agua + alcohol al 70%) fue el que obtuvo mayor número de capturas con un total de 41 individuos adultos, seguido del T2 (planta + agua) con un número de capturas de 21 individuos durante todo el experimento. Con estos resultados, se puede considerar que el alcohol ayuda a que los metabolitos que contiene la planta sean volatilizados y de esta manera atraer y capturar mayor número de adultos, sin embargo, se debe realizar un análisis para identificar dichos metabolitos y poder probar que esto es así, realizando diferentes formulaciones que contengan alcohol. Los tratamientos T3 (alcohol al 70%) y T4 (oxyfluorfen al 1%) no obtuvieron capturas de la plaga, el T3 fue colocado para verificar que el alcohol no era el que atraía los adultos en el otro tratamiento que contenía alcohol (T1), lo cual se confirmó y el T4 para ratificar que el producto (Galigán®) no realizaba efecto de atracción de adultos a pesar de contener el ingrediente activo (Oxyfluorfen), el cual siempre fue utilizado en las trampas de monitoreo de esta plaga en la zona.

#### **9.4. Conclusiones**

- El monitoreo de *Antichloris viridis* o nc. *Ceramidia* sp. es una herramienta básica que permite a los productores dar seguimiento y control oportuno, la creación de una trampa que pueda atraer, capturar y monitorear la presencia de adultos, podrá evitar que la plaga complete su ciclo de vida y produzca pérdidas por daño foliar.

#### **9.5. Referencias bibliográficas**

- Benavides A. & Cadavid M. 2019. Identificación y manejo integrado de plagas de banano y Plátano en Urabá y Magdalena. Cenibanano. 96p.
- León, M., Henao, A., Pinilla, C. & Gonzales, F. 2002. Aportes al conocimiento de la *Ceramidia* en Urabá – Antioquia. C.I. Unibán S.A. 63 p.

## 10. EVALUACIÓN DE BOLSAS SOBRE PARA EL CONTROL DE LA COCHINILLA Y COLASPIS EN BANANO

**Autores:** Angela Benavides Martínez, Carlos Alberto Vicente Arenas y Sebastian Zapata Henao

### Resumen

La disminución de moléculas disponibles para el uso y control de plagas por prohibición o disminución de LMR's (límites máximos de residualidad) por parte de la Unión Europea (UE) y otras entidades internacionales, ha creado la necesidad de la búsqueda de nuevas alternativas para el control de plagas en banano. En el presente estudio se realizó la evaluación de diferentes bolsas tratadas sobre la incidencia y severidad de cochinilla, *Colaspis* spp., Áfidos y escamas, plagas comunes en banano; este trabajo se realizó en dos fincas de la región de Urabá. Los resultados muestran dos bolsas prometedoras, una con mejores resultados para control de cochinilla y otra para control de *Colaspis* spp.

**Palabras clave:** Manejo integrado, fundas, fumagina.

### 10.1. Introducción

La cochinilla harinosa (Hemíptera) es un insecto plaga que afecta principalmente a calidad de la fruta en la cadena productiva del banano, debido a que la sola presencia de una de ellas sobre la fruta exportada, puede generar problemas de rechazo sanitario debido a que en muchos países es considerada como una plaga cuarentenaria. Este insecto produce unas sustancias azucaradas que las hormigas usan como alimento, estableciendo una relación simbiótica con estas, quienes son fuente de dispersión. Estas sustancias promueven el crecimiento de microorganismos como el hongo productor de fumagina (*Capnodium* sp.), el cual crece sobre la corona de la mano, manchando y dañando la fruta, defecto que produce el rechazo y la pérdida de fruta.

Por otro lado, existe otra plaga del género *Colaspis* spp. que es un coleóptero, el cual mordisquea el fruto en estados inmaduros del racimo (1 a 3 semanas) e incluso en estado de bacota. Esta plaga produce una cicatriz, la

cual es de total rechazo a la hora de realizar la selección de la fruta en la empacadora.

Debido a la disminución de moléculas disponibles para el uso y control de plagas por parte de la Unión europea (UE) y otras entidades internacionales, se busca la necesidad de nuevas alternativas eficientes para el manejo de plagas como cochinilla y *Colaspis* spp. principalmente en banano. Por lo anterior, se plantea este trabajo, cuyo principal objetivo es la evaluación de nuevas bolsas en fincas con alta incidencia de estas plagas.

## **10.2. Materiales y métodos**

**10.2.1. Área de trabajo.** Este trabajo se realizó en dos fincas: Finca A y Finca B, ubicadas en la zona norte del eje bananero de Urabá, las cuales tenían antecedentes de alta incidencia de cochinillas y *Colaspis* spp. principalmente.

**10.2.2. Fechas de montaje (embolse) y evaluación.** Este trabajo se realizará en dos periodos durante un año.

El primer montaje del embolse fue realizado desde la semana 18 a la 31 de 2022 y la evaluación a partir de la semana 29 a la 42 de 2022. El segundo montaje del embolse se inició en la semana 48 y va hasta la semana 9 de 2023 y las evaluaciones van a partir de la semana 7 a la 20 de 2023.

**10.2.3. Selección, embolse y marcaje de plantas.** Para ambas fincas, las plantas se iban seleccionando a medida que se iba realizando el embolse y se iban turnando los tratamientos en orden a medida que se recorría todo el lote. Las plantas fueron seleccionadas con bacotas recién paridas y/o que tuvieran máximo dos brácteas abiertas, revisando que no estuvieran afectadas por *Colaspis* spp. El embolsador instalaba la bolsa, se le colocaba sobre la bolsa el sticker con el número de tratamiento y la repetición (ejemplo: T1-R1, T1-R2 etc) y se colocaba la cinta distintiva del tratamiento en el pseudotallo para su fácil identificación (**Figura 1**). En cada finca se seleccionaron 20 plantas / tratamiento.



**Figura 1.** Embolse de bacotas y marcaje de plantas.

**10.2.4. Cosecha y evaluación.** Los racimos fueron llevados a 11 semanas para su cosecha y se evaluó la incidencia y severidad de cochinillas (**Tabla 1**) y fumagina (**Tabla 2**), de acuerdo a las escalas establecidas por Cubillos, 2013:

GRADO DE SEVERIDAD	DESCRIPCION
0	Ausencia de cochinillas
1	Presencia de 1 a 10 cochinillas en vástago o "clusters".
2	Presencia de 11 a 30 cochinillas en vástago o "clusters".
3	Presencia de 31 a 100 cochinillas en vástago o "clusters".
4	Presencia de 100 o más cochinillas en vástago o "clusters"

**Tabla 1.** Escala para evaluar severidad de cochinillas

GRADO DE SEVERIDAD	DESCRIPCION
0	Ausencia de fumagina
1	Menos del 25% de la corona con fumagina
2	Menos del 50% de la corona con fumagina
3	Mayor al 50% de la corona y de los pedúnculos de los dedos.

**Tabla 2.** Escala para evaluar severidad de fumagina

Se evaluó la incidencia de daño por *Colaspis* spp. y se realizó un recuento de número de dedos afectados por este /racimo, además, incidencia de escamas y áfidos. Se realizó análisis estadístico descriptivo para la evaluación de los datos.

**10.2.5. Tratamientos.** Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

**Para Finca A:**

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
--------------------	--------------------

T1	Testigo o funda natural sin insecticida (Treebag)
----	---

T2	Testigo comercial (Bifentrina 0.1+Piriproxifen 0.3)
----	---

T3	Funda A6A2
----	------------

T4	Funda A6A4
----	------------

T5	Funda A6A5.
----	-------------

**Para Finca B:**

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
--------------------	--------------------

T1	Testigo comercial (Bifentrina 0.1+Piriproxifen 0.3)
----	---

T2	Funda A6A2
----	------------

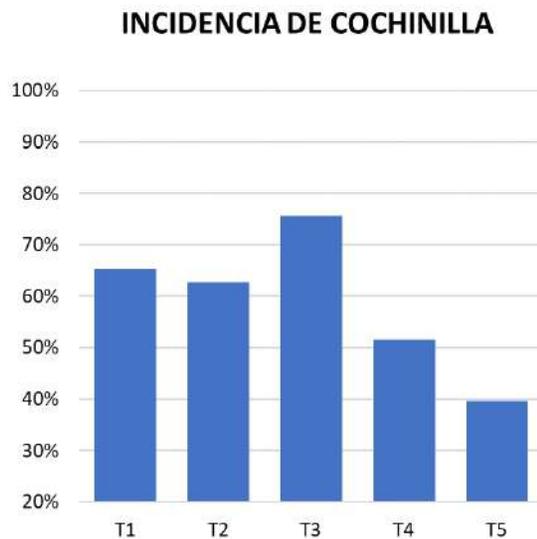
T3	Funda A6A4
----	------------

T4	Funda A6A5
----	------------

### **10.3. Resultados y discusión**

Los resultados mostrados corresponden al primer montaje de embalse del año 2022.

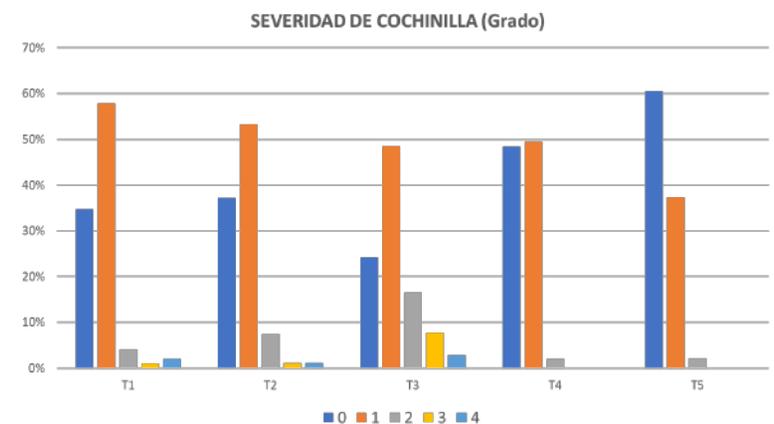
**10.3.1. Finca A.** De acuerdo a los resultados obtenidos para la evaluación de incidencia de cochinilla, todas las bolsas presentaron presencia o incidencia de la plaga. Sin embargo, el tratamiento T3, T1 y T2 presentaron mayores porcentajes de incidencia que T4 y T5 en su orden (**Figura 2**).



**Figura 2.** Porcentaje de incidencia de cochinilla obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca A.

Respecto a la severidad de cochinilla en esta finca y en la mayoría de tratamientos predomina el grado 1 de severidad (entre 1 a 10 cochinillas) seguido de grado 0 (0 cochinillas), 2 (entre 11 y 30 cochinillas), 3 (entre 31 a 100 cochinillas) y 4 (superior a 100 cochinillas). En la figura anterior y en la **(Figura 3)** se muestra que la bolsa del T5

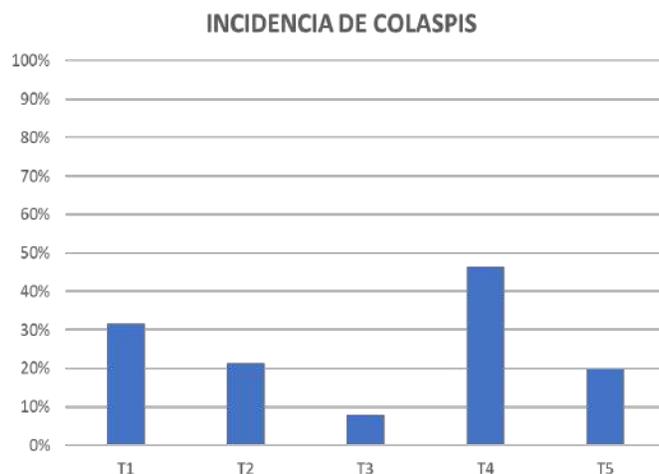
es la que presenta menor porcentaje de incidencia y severidad, por lo cual se puede inferir que el ingrediente activo que contiene esta bolsa es la de mayor control de la plaga. Por lo anterior, esta bolsa (Funda A6A5) es prometedora para ser usada dentro del manejo integrado y control de la cochinilla harinosa en banano.



**Figura 3.** Porcentaje de severidad de cochinilla obtenido en los diferentes tratamientos en Finca A.

En relación con la incidencia de *Colaspis* spp. en esta finca, se encontró que el T4 fue el que presentó más

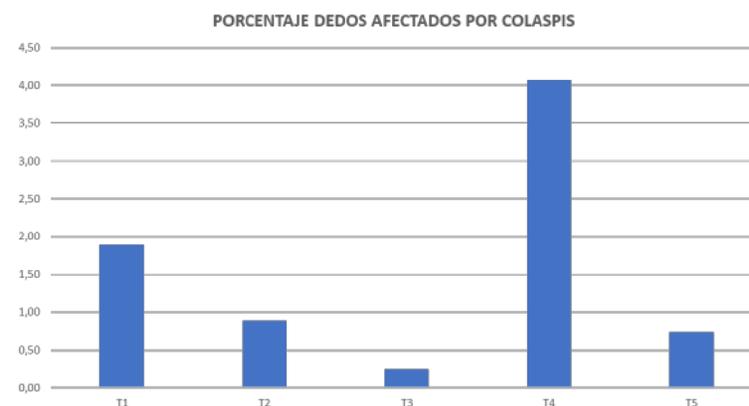
porcentaje de incidencia, seguido de T1, T2, T5 y T3 en su orden (**Figura 4**).



**Figura 4.** Porcentaje de incidencia de *Colaspis* spp. obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca A.

En cuanto al porcentaje de dedos afectados por *Colaspis* spp. el T4, T1 y T2 fueron los que presentaron mayor porcentaje de dedos afectados, seguido de T5 y T3. En la figura anterior y en la (**Figura 5**) se muestra que la bolsa del T3 es la que presenta menor porcentaje de incidencia y menor porcentaje de daño en dedos, por lo cual se

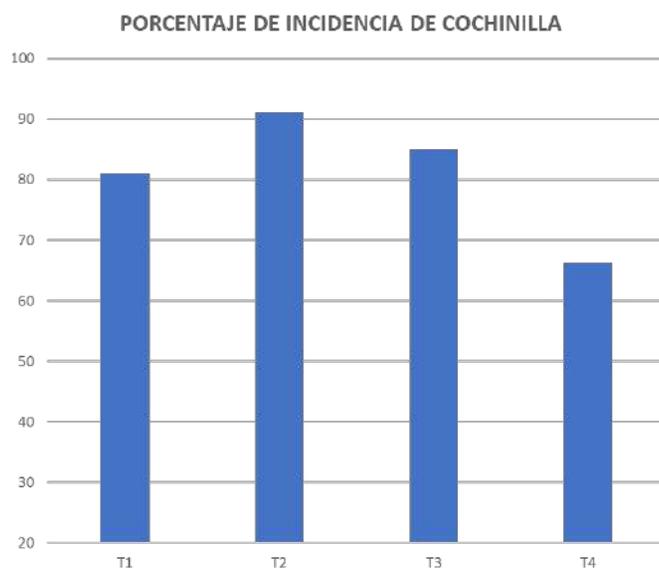
puede inferir que el ingrediente activo que contiene esta bolsa es la de mayor control de la plaga. Por lo anterior, esta bolsa (A6A2) es prometedora para ser usada dentro del manejo integrado y control de *Colaspis* spp. en banano.



**Figura 5.** Porcentaje de dedos afectados por *Colaspis* spp. obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca A.

**10.3.2. Finca B.** En relación a los resultados obtenidos de la evaluación de incidencia de cochinilla en esta finca, todas las bolsas presentaron presencia o incidencia

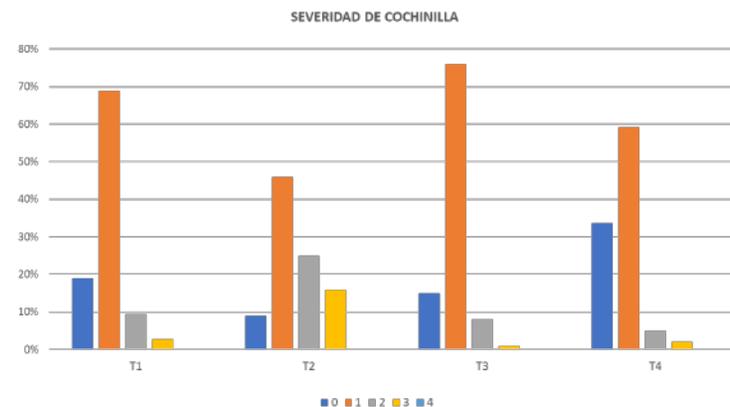
de la plaga. Sin embargo, el tratamiento T2, T3 y T1 presentaron mayores porcentajes de incidencia que T4 en su orden (**Figura 6**).



**Figura 6.** Porcentaje de incidencia de cochinilla obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca B.

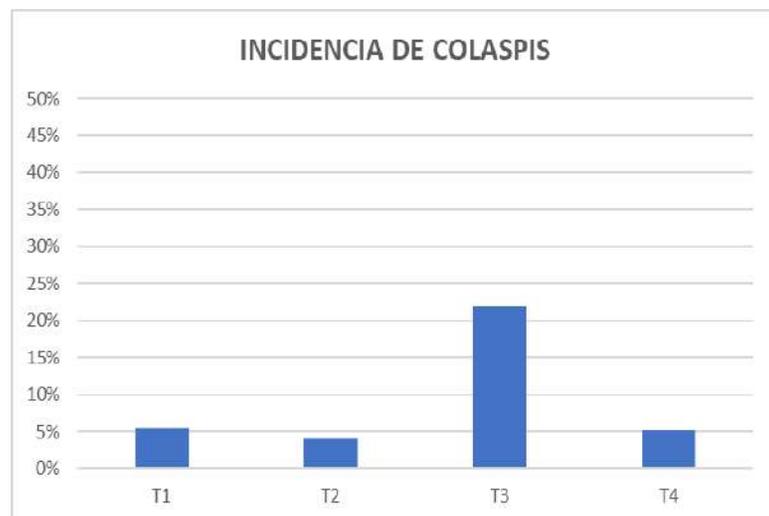
Respecto a la severidad de cochinilla en esta finca y en la mayoría de tratamientos predomina el grado 1 de

severidad (entre 1 a 10 cochinillas) seguido de grado 0 (0 cochinillas), 2 (entre 11 y 30 cochinillas) y 3 (entre 31 a 100 cochinillas). Para esta finca, no se obtuvieron racimos con grado 4 de cochinilla. Como se muestra en la (**Figura 6 y 7**) la bolsa del T4 es la que presenta menor porcentaje de incidencia y severidad, por lo cual se puede deducir que el ingrediente activo que contiene esta bolsa es la de mayor control de la plaga. Por lo anterior, esta bolsa (Funda A6A5) es prometedora para ser usada dentro del manejo integrado y control de la cochinilla harinosa en banano.



**Figura 7.** Porcentaje de severidad de cochinilla obtenido en los diferentes tratamientos en Finca B.

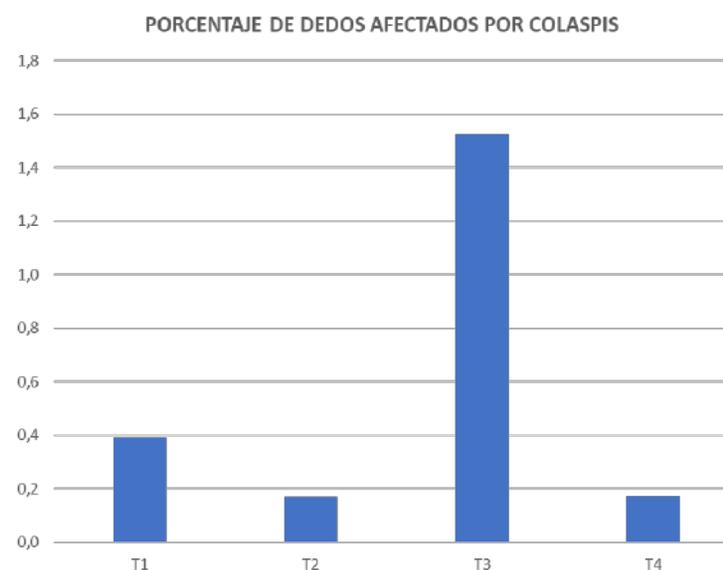
En relación con la incidencia de *Colaspis* spp. en esta finca, se encontró que el T3 fue el que presentó mayor porcentaje de incidencia, seguido de T1, T4 y T2 en su orden (**Figura 8**).



**Figura 8.** Porcentaje de incidencia de *Colaspis* spp. obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca B.

En cuanto al porcentaje de dedos afectados por *Colaspis* spp. el T3 y T1 fueron los que presentaron mayor porcentaje de dedos afectados, seguido de T2 y T4. En la figura anterior y en la (**Figura 9**) se muestra que la bolsa

del T2 es la que presenta menor porcentaje de incidencia y menor porcentaje de daño en dedos, por lo cual se puede inferir que el ingrediente activo que contiene esta bolsa es la de mayor control de la plaga. Por lo anterior, esta bolsa (A6A2) es prometedora para ser usada dentro del manejo integrado y control de *Colaspis* spp. en banano.



**Figura 9.** Porcentaje de dedos afectados por *Colaspis* spp. obtenidos en los diferentes tratamientos en Finca B.

Los resultados muestran que, en las dos fincas, el comportamiento de las bolsas es similar. Para ambas fincas, la bolsa que mejor controla cochinilla es (A6A5) y la bolsa que mejor controla *Colaspis* spp. es (A6A2). En las evaluaciones no se encontraron incidencias de fumagina, áfidos y escamas para este periodo del año.

#### 10.4. Conclusiones

- Los resultados del primer montaje de esta evaluación, muestran que existen dos bolsas prometedoras para el buen control de cochinilla harinosa y *Colaspis* spp. Estas pueden servir como herramientas que permitirán facilitar y complementar el MIP de estas plagas en el cultivo de banano.

#### 10.5. Referencias bibliográficas

Cárdenas, J.E. 2002. Algunos aspectos y de manejo de cochinillas (Homóptera: Pseudococcidae), en la zona bananera de Urabá (Antioquia). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. p. 82.

Cubillo, D. 2013. Manejo integrado de insectos plagas en el cultivo de banano. Conceptos y aplicaciones. P.105.



## 11. COLECCIÓN ENTOMOLÓGICA DE INSECTOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE BANANO

**Autores:** *Angela Benavides Martínez, Carlos Alberto Vicente Arenas*

### Resumen

Para el sector bananero es importante desarrollar conocimiento para sus productores y personal relacionado a este, respecto a cuáles son las plagas insectiles y otros artrópodos que están asociados al cultivo de banano. Por esta razón se hace necesario la creación de la colección entomológica en su Centro de Investigación. Este trabajo se ha venido realizando desde el año 2020, inicialmente con la colección de estados inmaduros (larvas) de las plagas del cultivo y se le ha dado continuación con los diferentes estados como pupas, ninfas y adultos. Por otro lado, se hace relevante también conocer cuál es el tipo de entomofauna asociada a esta cadena productiva, la cual se continuará alimentando a través de los años.

### 11.1. Introducción

Dentro del manejo integrado de plagas en el cultivo de banano, una de las actividades de gran importancia es el

monitoreo, pero para llevar a cabo esta labor, es necesario crear herramientas de conocimiento. Una de estas es la de dar a conocer a productores y personal relacionado al cultivo, cuales plagas afectan la producción del banano. Por tal razón, el objetivo de este trabajo es crear la colección entomológica de Cenibanano, la cual incluirá las plagas del cultivo y su entomofauna asociada, con fines de investigación y enseñanza para visitantes del centro de investigación.

### 11.2. Materiales y métodos

- Jama entomológica
- Aspiradores entomológicos
- Envases de 1 galón plásticos
- Botellas tipo PET de gaseosa de 1.5 o 2 L
- Alambre
- Cartón plástico
- Marcadores

- Tela tipo tull
- Tubos PVC
- Papel parafinado
- Envases de diferentes tamaños
- Alcohol etílico al 70%
- Alfileres entomológicos
- Láminas de icopor
- Horno o estufa

**11.2.1. Base de datos.** La sistematización de la base de datos entomológica general tanto como de la colección de arañas, se llevó a cabo utilizando el programa Excel, donde se crearon archivos para cada una, con la información importante de cada individuo (Taxonomía, datos de colecta, estructura de la planta (si aplica), método de colecta etc.).

**11.2.2. Colecta y captura.** Para la captura y colecta de los insectos se utilizaron diferentes metodologías como la captura con jama entomológica, captura por

trampas (pitfall o de caída, con cebo o dosel (especialmente para mariposas) y trampas de botella con cebo) (**Figura 1, A-D**).

A.



B.



C.

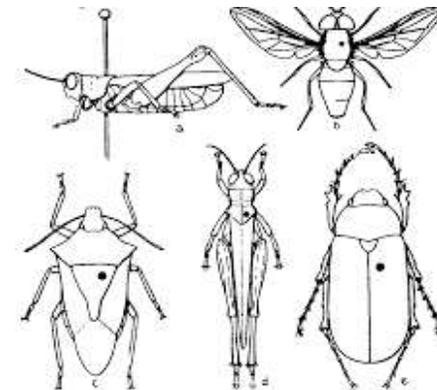


D.



**Figura 1.** Diferentes métodos de captura **A.** Red o jama entomológica **B.** Trampa de caída o tipo Pitfall **C.** Trampa de dosel con cebo para mariposas **D.** Trampa de botella con cebo

**11.2.3. Montaje e Identificación.** Para el montaje de tuvieron en cuenta los órdenes al cual pertenecían los insectos, ya que depende de este como se realiza su montaje (**Figura 2**).



**Figura 2.** Esquema para el montaje de insectos según su orden

Posteriormente se llevan a un proceso de secado en horno o estufa con una temperatura de 40°C por un periodo mínimo de 8 días o más, dependiendo del tamaño del individuo (**Figura 3A**). Luego del proceso de secado, los individuos (estados adultos) fueron montados en cajas entomológicas, donde se etiquetaron con datos importantes como identificación del individuo, orden, fecha y lugar de colecta, nombre del colector, ciudad, ubicación y forma de captura, luego fueron organizados por órdenes y familias (**Figura 3B**). En caso de estados inmaduros(larvas) se guardan en frascos como colección líquida (**Figura 3C**). Para realizar el etiquetado y categorización de los individuos pertenecientes a la colección entomológica, se revisaron diversos autores, fuentes y publicaciones; como, por ejemplo, la diversidad de artrópodos de Cenicafé y manuales de Cuidado, Manejo y Conservación de las colecciones biológicas de la Universidad Nacional de Colombia, entre otros.

Para lograr la identificación y clasificación taxonómica de los artrópodos recolectados se utilizaron claves taxonómicas (Chapman, et al. 2013; Triplehorn et al. 2005; Aguiar et al., 2006; Mound, et al. 2009) y otras revisiones bibliográficas.

**A.**





**Figura 3. A.** Proceso de secado en horno o estufa a 40°C durante 8 días. **B.** Montaje en cajas entomológicas de adultos y **C.** Colección líquida de Inmaduros (larvas).

### 11.3. Resultados y discusión

**11.3.1. Base de datos.** En la base de datos entomológica general, organizada en Excel se incluyó la siguiente categorización:

- Colección de formas inmaduras (CFI)
- Colección taxonómica central (CTC) (Entomofauna asociada)
- Colección económica central (CEC) (Plagas de colección)
- Colección taxonómica didáctica (CTD) (Entomofauna para capacitaciones)
- Colección económica didáctica (CED) (Plagas para capacitaciones)

Además, se incluyó información importante de cada individuo (Taxonomía, datos de colecta, estructura de la planta (si aplica), método de colecta etc.). A medida que se van adicionando individuos a la colección, se va

adicionando la información de cada una de las muestras en la base de datos.

11.3.2. **Muestreos.** A continuación, se hace una relación de las fincas muestreadas, el grupo empresarial, el número y las fechas de muestreos y algunas observaciones (**Tabla 1**).

FINCA	GRUPO EMPRESARIAL	FECHAS MUESTREOS	No. DE MUESTREOS	OBSERVACIONES
CAMPO EXPERIMENTAL	CORDURA	01 SEP 2021 HASTA 28 ENE 2022	39	ROTACIÓN DE TRAMPAS POR DIFERENTES LOTES
CAREPA	C.I. TROPICAL	02 FEB HASTA 25 FEB 2022	8	ROTACIÓN DE TRAMPAS POR LOS LOTES 8, 17 Y 16
BANANAL	C.I. TROPICAL	28 FEB HASTA 23 MAR 2022	8	ROTACIÓN DE TRAMPAS POR LOS LOTES 6 Y 1
FLORIDA	C.I. TROPICAL	30 MAR HASTA 22 ABR 2022	8	ROTACIÓN DE TRAMPAS POR EL LOTE 7
RAÍCES	C.I. TROPICAL	10 MAY HASTA 03 JUN 2022	8	SIN ROTACIÓN DE LOTES POR BIOSEGURIDAD
ZUMBADORA	AGRÍCOLA SARAPALMA	14 JUN HASTA 05 JUL 2022	8	SIN ROTACIÓN DE LOTES POR BIOSEGURIDAD
HORIZONTES	AGRÍCOLA SARAPALMA	02 AGO HASTA 26 AGO 2022	8	SIN ROTACIÓN DE LOTES POR BIOSEGURIDAD
GÉNESIS	AGRÍCOLA SARAPALMA	23 SEP HASTA 21 OCT 2022	8	SIN ROTACIÓN DE LOTES POR BIOSEGURIDAD

**Tabla 1.** Muestreos realizados para las colectas de la colección.

11.3.3. **Inventario colección entomológica.** La colección entomológica actualmente cuenta con 1789 individuos colectados (**Tabla 2**). Los órdenes de mayor a menor abundancia son: Coleóptera (766), Hemíptera (664), lepidóptera (185), Himenóptera (101), Blattodea (16), Díptera (15), Myriapoda (15),

Acari (14), Dermáptera (4), Ortóptera (4), Neuróptera (1), Odonata (1), Isópoda (1), Opiliones (1) y Thysanoptera (1). La riqueza de familias por orden, se muestra a continuación (**Tabla 2**). De los 1789 individuos, 1408 corresponden a plagas de banano, 183 a benéficos (polinizadores, parasitoides y depredadores) y 198 a otros hábitos asociados al cultivo.

Orden	Familias	Riqueza (No. Familias)	Abundancia (No. Individuos)
Coleoptera	Cerambycidae, Chrysomelidae, Cicindelidae, Coccinellidae, Curculionidae, Elateridae, Histeridae Hydrophilidae, Lampyridae, Melolonthidae, Passalidae, Scarabaeidae, Staphylinidae	13	766
Hymenoptera	Apidae, Brachonidae, Chalcididae, Formicidae, Pompilidae, Scelionidae, Vespidae	7	101
Hemiptera	Aphididae, Cicadellidae, Cicadidae, Diaspididae, Pentatomidae, Reduviidae	6	664
Lepidoptera	Erebidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Nymphalidae, Psychidae	6	185
Blattodea	Blaberidae	1	16
Diptera	Stratiomyidae, Syrphidae	2	15
Dermaptera	-	-	4
Orthoptera	Gryllotalpidae	1	4
Acari	-	-	14
Isopoda	-	1	1
Neuroptera	Chrysopidae	1	1
Odonata	-	1	1
Opiliones	-	1	1
Thysanoptera	Thripidae	1	1
Myriapoda	-	-	15
<b>Total</b>			<b>1.789</b>

**Tabla 2.** Inventario de colección entomológica

#### 11.4. Conclusiones

• El estudio de la entomofauna asociada al cultivo de banano en la subregión de Urabá, dará a conocer la diversidad de artrópodos que conforman los sistemas productivos, y a su vez, contribuirá a la conservación de las especies que prestan diferentes funciones en los agroecosistemas bananeros.

• Con el desarrollo de este trabajo se da inicio a la organización y curaduría de la Colección Entomológica del Centro de Investigaciones del Banano – Cenibanano, la cual servirá como colección de referencia a nivel académico y científico en Colombia.

• Esta investigación constituye uno de los primeros aportes para futuros trabajos encaminados a la evaluación, diseño e implementación de programas de manejo integrado de plagas.

#### 11.5. Referencias bibliográficas

Aguiar, A., Amarante, S., Arias-Penna, D., Arias-Penna, T., Brothers, D., Buffington, M., Campos, D., Cantor, F., Carmean, D., Carpenter, J., Cure, J., Darling, D., Deans,

A., Delvare, G., Fernández, F., Finnamore, A., Fontal-Cazalla, F., Gates, M., Gibson, G., González, V. Hanson, P., Heraty, J., Heydon, S., Huber, J., Kimsey, L., La Salle, J., Liu, Z., López-Ávila, A., Masner, L., Manson, W., Morrone, J., Nates-Parra, G., Nieves-Aldrey, J., Noyes, J., Olmi, M., Palacio, E., Pineda, D., Pinto, J., Rasplus, J., Ronquist, F., Sarmiento, C., Schauff, M., Sharkey, M., Scott Shaw, R., Smith, D., Soldati, L., Terayama, M., Vargas-Rojas, J., Virla, E. & Wahl, D. 2006. Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical.

Aguirre-Tapiero, M. 2009. Clave de identificación de géneros conocidos y esperados de Elateridae Leach (Coleoptera: Elateridae), en Colombia.

Almaguel, L. 2002. Morfología, taxonomía y diagnóstico fitosanitario de Ácaros de importancia agrícola.

Chapman, R.F., Simpson, S. & Douglas, A. 2013. The Insects: Structure and function. Fifth edition.

Cruz, C. & Posada, F. 2003. Evaluación de la diversidad de la zona cafetera colombiana representada en la colección de artrópodos de Cenicafé.

De Borbón, C. 2007. Clave para la identificación del segundo estadio larval de algunos thrips comunes (Thysanoptera: Thripidae). Mendoza, Argentina.

- Delvare, G., Aberlenc, H., Michel, B. & Figueroa, A. 2002. Los Insectos de África y de América Tropical. Claves para la identificación de las principales familias. CIRAD.
- McGinley, R. 1993. Where's The Management in Collections Management? Planning for improved Care, Greater Use, and Growth of Collections.
- Montaño, M., Meza, A. & Dias, L. 2012. La Colección entomológica CEBUC y su potencial como colección de referencia de insectos acuáticos.
- Mound, L. A. & NG, Y.F. 2009. An illustrated key to the genera of Thripinae (Thysanoptera) from south east Asia.
- Mound, L., Retana, A. & du Heume, G. 1993. Claves ilustradas para las familias y los géneros de *Terebrantia* (Insecta: Thysanoptera), de Costa Rica y Panamá.
- Rodríguez, A., Samper, C., Quevedo, F., Fernández, F., Simmons, J., Hernández-Camacho, J., Montenegro, M. & Muñoz-Saba, Y. 2005. Cuidado, Manejo y Conservación de las colecciones biológicas. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo. Universidad Nacional de Colombia.
- Simbaqueba, R., Serna, F. & Posada-Flórez, F. 2014. Curaduría, morfología e identificación de Áfidos (Hemiptera: Aphididae), del museo entomológico UNAB. Primera aproximación.
- Soto, G. & Retana, A. 2003. Clave ilustrada para los géneros de Thysanoptera y especies de *Frankliniella* presentes en cuatro zonas hortícolas en Alajuela, Costa Rica.
- Téllez-Farfán, L. & Posada-Flórez, F. 2013. Curaduría e identificación de la fauna de *Bombus* de la colección de entomología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.
- Triplehorn, C., Johnson, N. & Borror, D. 2005. Borror's Introduction to the Study of Insects. Seventh edition.

## 12. DISEÑO Y PROTOCOLO PARA MONITOREO Y MANEJO DE PICUDOS DEL BANANO

**Autores:** *Angela Benavides Martínez, Carlos Alberto Vicente Arenas y Sebastian Zapata Henao*

### Resumen

En la zona bananera de Urabá, la incidencia de picudos del banano no se consideraba de gran importancia debido a su baja severidad de afectaciones en las plantaciones de banano, sin embargo, en el último año, los reportes en fincas bananeras han venido en aumento. Esta plaga, es normalmente encontrada en cultivos de musáceas como plátano, no obstante, la escasez de información en cultivos de banano, incentiva a plantear un protocolo de manejo para esta cadena productiva importante para el sector agrícola. Este trabajo se llevó a cabo con el trabajo realizado en diferentes fincas bananeras, llevando a cabo desde su inicio el monitoreo tradicional y evaluando diferentes alternativas para el control de esta plaga.

### 12.1. Introducción

El complejo de picudos del banano y el plátano, está conformado por un grupo de insectos que pertenecen al orden Coleóptera; familia Curculionidae, considerados como plagas limitantes en la producción de musáceas. Estos artrópodos ocasionan graves afectaciones a nivel de raíz, cormo y pseudotallo, debido a que las larvas se alimentan de tejidos vasculares que resultan indispensables para el transporte de agua y nutrientes en la planta, lo cual está directamente relacionado a la disminución del peso del racimo. La realización de un documento exclusivo para la cadena productiva de banano, aportará a productores bananeros y personal técnico asociado al cultivo, una herramienta para identificar el complejo de picudos y como lograr su manejo y control.

### 12.2. Materiales y métodos

**12.2.1. Implementación del monitoreo.** Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica para conocer la biología, hábitos y los diferentes tipos de trampas

utilizadas para el monitoreo y control de esta plaga en campo. En dos fincas reportadas con incidencia de picudos (Finca San Juan y Finca Carepa), se empezaron a fabricar y a instalar trampas tipo sándwich, colocando un mínimo de 20 trampas/ha. Dichas trampas se revisaban dos veces por semana, realizando los respectivos registros por un tiempo mínimo de 4 semanas consecutivas para observar la incidencia y severidad de la plaga en la finca.

**12.2.2. Construcción de la trampa.** Esta trampa consta de un trozo de pseudotallo de unos 40 a 50 cm de longitud dividido en dos partes longitudinales que se colocan en el suelo, a uno de estos se le abre en todo el centro un espacio de unos 10 cm donde se coloca el insecticida sea biológico o químico. A los dos extremos se le instalan dos trozos de peciolo, lo que facilita el acceso de los picudos. Posterior a esto se instala un pedazo de hoja verde y se coloca un trozo sobre el otro como si fuera un sándwich (**Figura 1**) y posteriormente se cubre con hojarasca.

1



2





**Figura 1.** Construcción de trampa tipo sándwich para captura de picudos.

Las trampas de pseudotallo, deben ubicarse en la parte de atrás de la planta (al lado de la planta abuela) para

que no sean removidas al realizar labores como el deshije, además deben cubrirse con hojarasca para evitar su desecación rápida y además crear un ambiente propicio para la captura de la plaga (oscuridad y humedad). Las trampas de tejido vegetal tienen una duración máxima de alrededor de 15 días para ser renovadas nuevamente.

**12.2.3. Registro y planilla de monitoreo.** En la planilla se debe colocar o registrar el número de individuos capturados por lote y por trampa, identificando y clasificando entre picudo negro, rayado y picudito en lo posible (**Figura 2**).

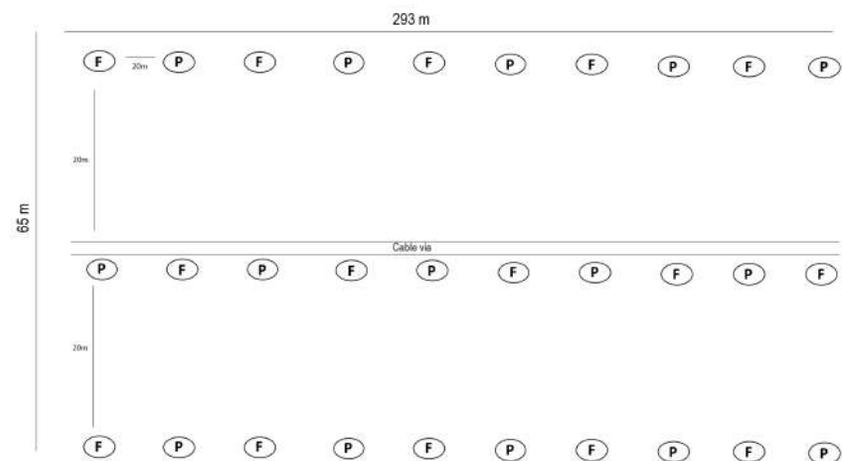
FINCA: _____		PERSONA QUIEN MONITOREA: _____					
SEMANA : _____		FECHA: _____					
LOJE	BOTALON	TRAMPA	CANTIDAD PICUDOS CAPTURADOS			TOTAL	OBSERVACIONES
			P. NEGRO	P. RAYADO	PICUDITO		
TOTAL PICUDOS FINCA							

**Figura 2.** Ejemplo de planilla para registro de captura de picudos.

#### 12.2.4. Evaluación de feromona para el control de picudo negro.

La feromona Cosmolure® es una feromona de tipo agregación, específica para picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), la cual puede capturar tanto machos como hembras. La evaluación de esta feromona se planteó como una alternativa al monitoreo y al control convencional, donde la finalidad era comparar dos tratamientos (los dos tipos de trampas) en cuanto a eficiencia y a costos. El área escogida fue un lote en la finca Carepa, donde se tenía alta incidencia de la plaga, la cual se dejó de trampear por al menos dos semanas antes del montaje del experimento. En esta área de aproximadamente de 1 hectárea continua, se instalaron dos tratamientos de manera intercalada: T1. trampas artesanales de pseudotallo tipo sándwich marcadas (P) (manejo convencional de la finca) y T2. trampas con la feromona Cosmolure®(F). Las trampas se colocaron en línea, cada 20 metros, dejando 10 metros desde la orilla para un total de 3 trampas por línea, instalando un total de 15 trampas de pseudotallo y 15 trampas de feromona Cosmolure® (Figura 3). A los quince días de instaladas, las trampas de pseudotallo se reemplazaban por nuevas trampas y a las trampas

de feromona Cosmolure® se les reemplazará el sachet de esta por uno nuevo, solo hasta cumplir un mes.



**Figura 3.** Diagrama de ubicación de trampas en el lote.

Los registros de capturas para los dos tratamientos, se realizaban dos veces por semana, utilizando la planilla de registro (Figura 2) por un periodo de dos meses consecutivos.

**12.2.5. Fabricación de trampas con feromona.** A 20 garrapas de 5 galones completamente limpias o nuevas, se les abrieron ventanas con orientación

descendente (hacia abajo) en los 4 lados del recipiente. Estas ventanas servían como rampas de acceso para los adultos del picudo negro. Luego del proceso anterior, con un clavo se abrió un orificio en la parte superior de la garrapa donde se colgaba la feromona Cosmolure® con la ayuda de un trozo de alambre de calibre 27 (alambre dulce). Finalmente, se adicionó agua y jabón en la garrapa para evitar el escape de los picudos, posterior a ello, se enterró la garrapa en el suelo dejando introducido el recipiente por lo menos 5 cm, con la finalidad de que las rampas de acceso tuvieran un ángulo suficientemente plano para facilitar la entrada de los adultos de *C. sordidus* (Figura 4).



**Figura 4.** Trampa de feromona

### 12.3. Resultados y discusión

**12.3.1. Implementación de monitoreo.** El trabajo que se realizó con finca San Juan y Finca Carepa, dio origen para establecer el monitoreo de picudos en ambas fincas, gracias a esta labor y la experiencia durante el tiempo de monitoreo (aprox.10 meses), se fue escribiendo y mejorando cada vez más el protocolo de manejo y control para esta plaga en banano, protocolo con el que ya se cuenta. Posteriormente, se fueron adoptando algunas herramientas de control como fue la aplicación de hongos entomopatógenos en las trampas y en campo, y, por último, se evaluó la eficiencia de la trampa de feromona específica para picudo negro (*Cosmopolites sordidus*).

**12.3.2. Evaluación de feromona.** Los resultados comparativos entre los dos tratamientos mostraron que la trampa con la feromona, captura entre 7 a 8 veces más que la trampa tipo sándwich o convencional. Durante los dos meses monitoreados las capturas para la trampa convencional fueron de

202 adultos en total, mientras que con la trampa de feromona se lograron capturar 1.728 adultos.



**Figura 5.** Comparativo de capturas de adultos obtenidos en un periodo de 2 meses entre la trampa tipo sándwich y la trampa de feromona.

Respecto a los costos comparativos para estos dos tratamientos se muestran en la (**Tabla 1**). Este ejercicio se realizó para el numero de trampas utilizado por hectárea mes.

Trampa Pseudotallo		Trampa Feromona	
Jornal de Fabric.(144/horas semanales)	\$388	Feromona	\$60.000
Melaza/150g/día	\$323	Galon plastico de 25L	\$6.000
Engeo/semana/25 cc/día	\$4.125	Detergente	\$1.951
<b>Total Fabricación/trampa</b>	<b>\$4.835</b>	<b>Total Fabricación/trampa</b>	<b>\$67.951</b>
<b>Costo trampas /ha (26) x 2</b>	<b>\$251.429</b>	<b>Costo trampas /ha (16)</b>	<b>\$1.087.216</b>
Jornal monitoreo/trampas/mes	\$80.640	Jornal monitoreo/trampas/mes	\$49.624
<b>Total Fabricación y monitoreo 1 mes</b>	<b>\$332.069</b>	<b>Total Fabricación y monitoreo 1 mes</b>	<b>\$1.136.840</b>

**Tabla 1.** Costos comparativos de los dos tratamientos evaluados.

## 12.4. Conclusiones

- El establecimiento de un monitoreo del complejo de picudos debe establecerse obligatoriamente para determinar la incidencia y severidad de la plaga en el cultivo.

- La trampa de feromona es una alternativa efectiva para el monitoreo y control del picudo negro. A pesar de ser más costosa, captura más individuos adultos que la trampa convencional, lo cual es una herramienta para disminuir la cantidad de picudo en fincas donde se tienen altas poblaciones.

## 12.5. Referencias bibliográficas

Sepúlveda-Cano, P. y Rubio-Gómez, J. (2009). Especies de Dryophthorinae (Coleóptera: Curculionidae) asociadas a plátano y banano (*Musa* spp.) en Colombia. *Acta biológica colombiana*. 2 (14), 49-72.

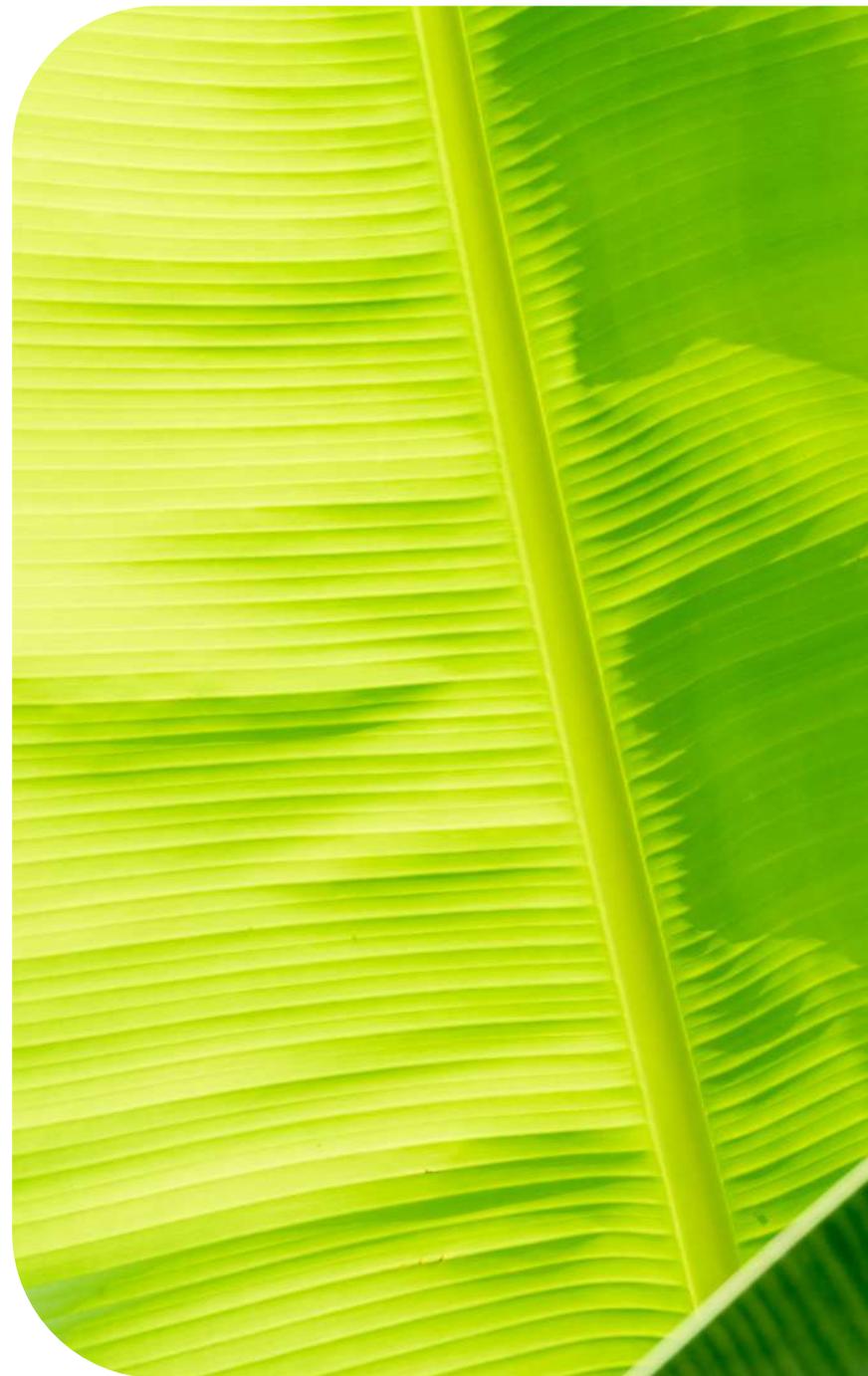
Piedra-Buena, A., Hernández, E., Paris, M., Pomposo, M. y Perera S. (2021). Evaluación de organismos entomopatógenos para el manejo del picudo de la platanera (*Cosmopolites sordidus*) en condiciones de campo. Informe técnico N° 7. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. 40 p.

Carballo, M. (2001). Opciones para el manejo del picudo negro del plátano. Hoja técnica N°36 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 4 p.

Angulo, W., Osorio, J., Muñoz, J. y Ortiz, D. (2020). Monitoreo y captura de picudos del plátano y banano. Cartilla N° 3. Universidad Nacional de Colombia. 28 p.

Castrillón, C. (1987). Reconocimiento del picudo negro (*Cosmopolites sordidus*, Germar) del plátano en el departamento del Quindío. Revista ICA Informa, Manizales. 16-21.

García, F., Gómez, J. y Belalcázar, S. (1994). Manejo biológico y cultural de *Cosmopolites sordidus* (Germar) en plátano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.





Línea de investigación:

# Fisiología y nutrición vegetal

## 2. LINEA DE INVESTIGACIÓN EN FISIOLÓGÍA

### 2.1. NIVELES FREÁTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FENOLOGÍA Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE BANANO

**Autores:** *Diego Felipe Feria Gómez, Diego Alejandro Londoño Puerta, Sindy Paola Cardona Flórez y Sebastian Zapata Henao*

#### Resumen

Los constantes eventos de precipitación que se presentan en la zona productora de banano de Urabá, cada vez mayores durante los últimos años, ocasionan aumentos más prolongados del nivel freático y propician múltiples expresiones del estrés en las plantaciones. Para encontrar las consecuencias asociadas al desarrollo y crecimiento, se seleccionaron plantas alrededor de cuatro condiciones de nivel freático en el Campo Experimental y Demostrativo en Carepa – Colombia (T1: <100, T2: 100 – 120, T3: 120 – 160 y T4: >160), y se monitorearon los tiempos fenológicos, la

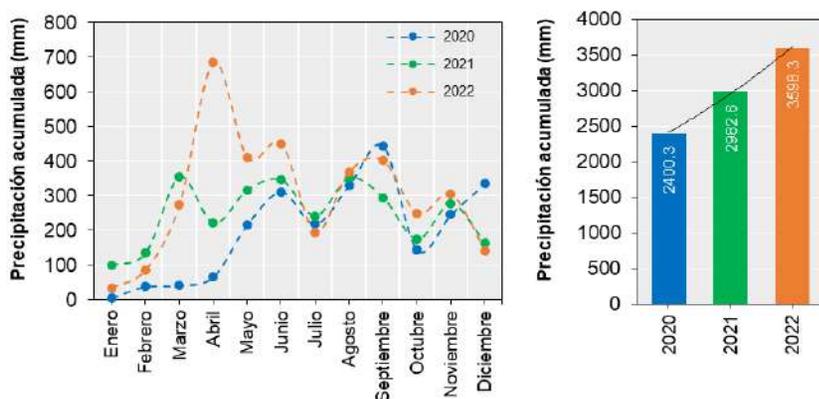
producción de hojas, los cambios morfológicos y el nivel freático de los pozos, además del seguimiento de las precipitaciones. Se evidenció que las plantas que se desarrollan a niveles freáticos más superficiales (<100 cm y 100 – 120 cm) expresan una emisión foliar mucho más lenta y por ende alargamientos más severos de su etapa vegetativa independiente, lo que en términos productivos significa disminuciones del retorno (racimos cosechados por unidad productiva al año).

**Palabras clave:** *Musa AAA cv. Cavendish, emisión foliar, estrés.*

#### 2.2.1. Introducción

Actualmente en la zona productora de banano del Urabá los eventos de precipitación han sido un 33% mayores respecto al año 2020 (**Figura 1**), esto hace que la mayoría de las plantaciones experimenten aumentos del nivel freático más frecuentemente, a pesar de la amplia red de drenajes con la que cuentan los sistemas (Salazar, 2012), esto propicia condiciones de hipoxia en la raíz y diferentes expresiones del estrés como, producción de especies reactivas de oxígeno, producción de raíces adventicias (Teoh et, al. 2022), afectación en procesos de fotosíntesis,

respiración y absorción de nutrientes (Rodríguez-Iturbe & Porporato, 2004). Además, se ha demostrado que el nivel freático también afecta el vigor de la planta y la cantidad de hojas a cosecha y de forma más importante el peso del racimo (Muñoz-Ruiz & León-Quirós, 2016).



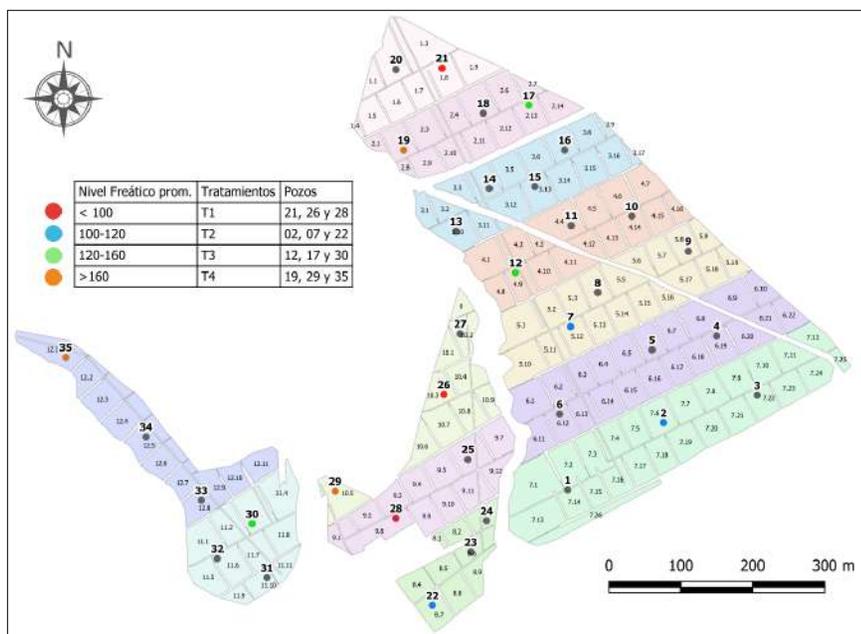
**Figura 1.** Precipitación promedio acumulada en la zona Urabá centro.

Los niveles freáticos también causan afectaciones sobre el desarrollo de la planta, al extender sus etapas fenológicas y disminuir el retorno (Sancho, 1993), teniendo repercusiones en la oferta de racimos al año y las posibles explicaciones sobre el traslado de fruta fuera de los picos comunes de floración.

Debido a las condiciones climáticas recurrentes por las que atraviesa la zona productora y los efectos que esto tiene sobre las plantaciones en Urabá, se plantea monitorear las fluctuaciones del nivel freático, sus relaciones con el clima y su efecto sobre la fenología de las plantas de banano.

## 2.2.2. Materiales y métodos

Para el desarrollo de este ensayo se seleccionaron los pozos de nivel freático, instalados y distribuidos en todo el Campo Experimental y Demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, que tuvieran su promedio anual histórico en el rango de cuatro tratamientos determinados (T1: <100, T2: 100 – 120, T3: 120 – 160 y T4: >160) y por cada tratamiento se eligieron los tres pozos que mejor se ajustaban a dicho rango (**Figura 2**).



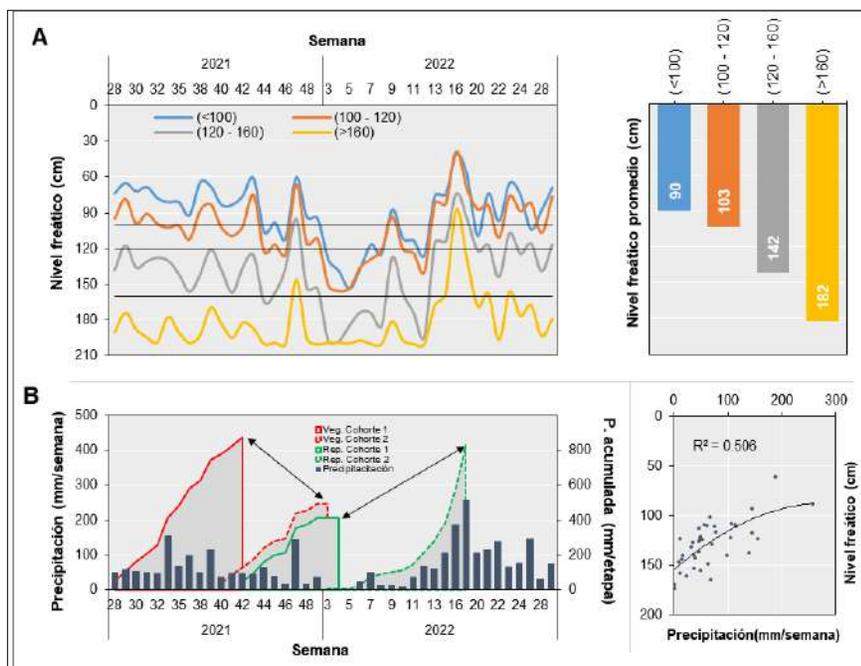
**Figura 2.** Ubicación de pozos de nivel freático en el Campo Experimental y Demostrativo.

Alrededor de cada pozo se seleccionaron tres plantas en la semana 28 y tres más en la semana 42 en fase F10 (Inicio de la etapa vegetativa independiente), y se cuantificó semanalmente, la emisión foliar, número de hojas emitidas, semanas a emisión de la hoja 12 (Inicio de la etapa reproductiva) y semanas a floración, además del nivel freático en el pozo de observación.

### 2.2.3. Resultados y discusión

Durante el ensayo, el nivel freático de los pozos seleccionados se mantuvo en los rangos promedios determinados hasta la semana 43 de 2021, a partir de allí la disminución de las lluvias hizo que los niveles más superficiales descendieran por debajo de los 120 cm. Los nuevos eventos de precipitación hicieron que a partir de la semana 13 de 2022 las plantas experimentaran por un corto tiempo niveles superficiales menores a 90 cm, que fueron más estable sobre el final del semestre (**Figura 3A**).

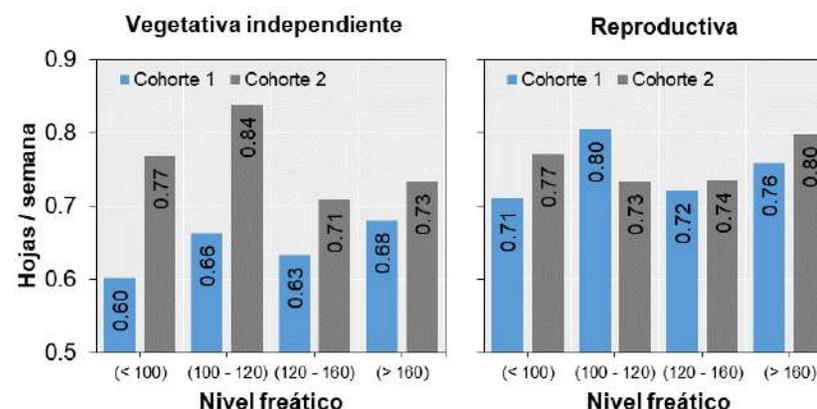




**Figura 3.** (A) Comportamiento del nivel freático en el segundo semestre de 2021 y primer semestre de 2022, y su (B) relación con la precipitación acumulada semanal. Veg. (etapa vegetativa independiente), Rep. (etapa reproductiva)

La precipitación es el factor que más influye en el comportamiento del nivel freático, aunque su relación también es influenciada por factores como la textura, la conductividad hidráulica y la eficiencia del sistema de drenaje (Rawls, 1983). Las plantas de la cohorte 1 (plantas seleccionadas en una fecha con un estado fenológico

determinado), seleccionadas en la semana 28, tuvieron mayor precipitación acumulada en el estado vegetativo independiente, respecto a las de la cohorte 2, además, la cohorte 1 acumuló menos precipitación en el estado reproductivo que la cohorte 2, obteniendo así poblaciones diferenciadas donde el nivel freático pudo mediar su crecimiento y desarrollo (**Figura 3B**).



**Figura 4.** Emisión foliar.

Las condiciones de estrés asociadas desencadenaron la disminución de la tasa de emisión foliar de la cohorte 1, en la etapa vegetativa independiente y en la etapa reproductiva de la cohorte 2, donde coincidió el aumento del nivel freático (**Figura 4**). Teoh et, al. (2022) demuestran que los procesos bioquímicos se alteran debido al

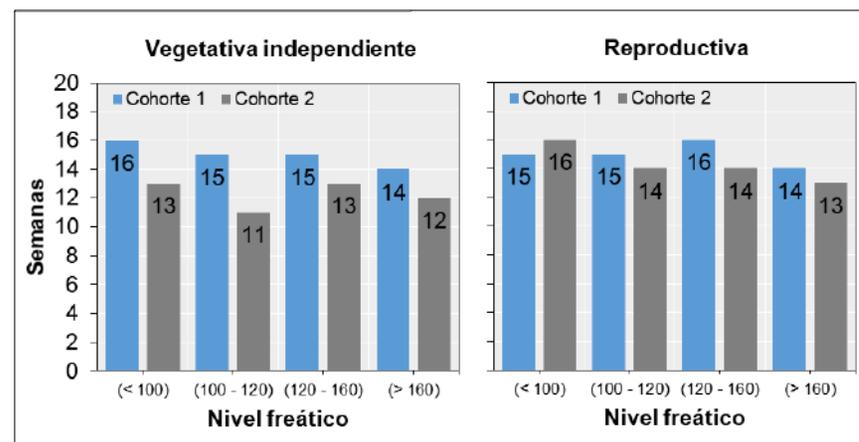
aumento del nivel freático y se limitan el crecimiento y la duración de las etapas.

**Tabla 1.** Duración de la etapas fonológicas.

Etapa	Intervalo	Duración (semanas)
Vegetativa dependiente	(Yema a F10)	12 a 14
Vegetativa independiente	(F10 a Hoja 12)	13 a 15
Reproductiva	(Hoja 12 a Floración)	13 a 17

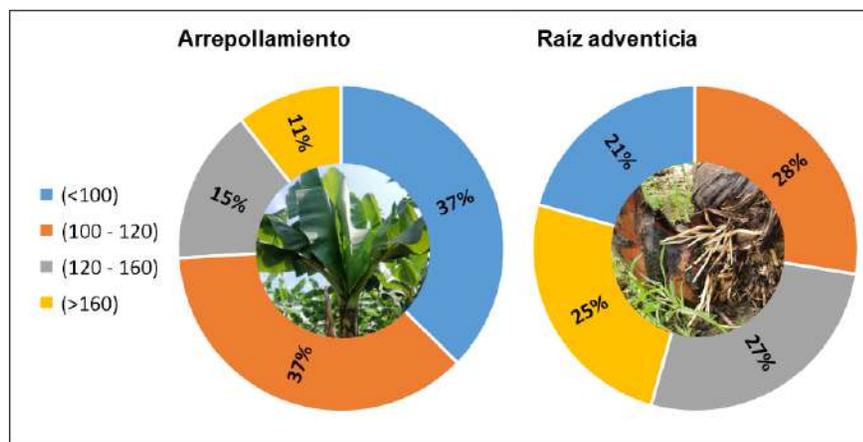
En general, la duración de las etapas fenológicas es muy variable (**Tabla 1**), y esto se debe a que las poblaciones tienen condiciones externas diferenciadas que influyen en su desarrollo; en el caso del nivel freático, cuando este disminuye, y las raíces profundas no están anegadas, la duración de una etapa puede disminuir de 2 a 4 semanas en la etapa vegetativa independiente. En la etapa reproductiva los cambios no son tan acentuados, debido a que la planta pasó de una diferenciación foliar a una floral, y para el caso de la cohorte 2, que estuvo con niveles freáticos más superficiales, la duración de la etapa fue más extensa en niveles menores a 100 centímetros (**Figura 5**). Todos estos procesos disminuyen el retorno y las proyecciones de las curvas típicas de floración se

afectan, trasladando picos de oferta de racimos a semanas posteriores.



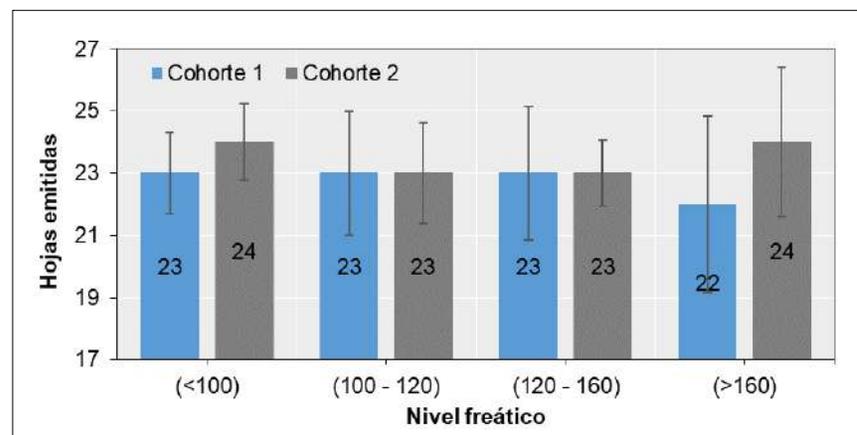
**Figura 5.** Duración de las etapas fenológicas.

Existen otras características que se expresan como consecuencia del estrés por exceso hídrico, una de ellas es el acortamiento de entrenudos o arrepollamiento, este se encuentra en mayor proporción en poblaciones que se desarrollan a niveles freáticos menores a 120 centímetros. Por otro lado, las raíces adventicias son más generalizadas, y no obedecen a las variaciones del nivel freático, pero se observan con mayor frecuencia cuando suceden eventos seguidos de precipitación (**Figura 6**).



**Figura 6.** Probabilidad de expresión de arrepollamiento y raíces adventicias.

Las plantas pueden variar la cantidad de hojas que desarrollan antes de la diferenciación floral, y esto va a determinar la disponibilidad de área foliar para los procesos fotosintéticos (Muñoz-Ruiz & León-Quirós, 2016), y aunque un promedio de 23 hojas después de F10 es un dato aceptable, las condiciones de anegamiento pueden acelerar la diferenciación, disminuyendo la formación de hojas, siendo más evidente en poblaciones con niveles freáticos menores a 100 cm, y en plantas con niveles freáticos mayores a 160 cm más propensas al déficit (**Figura 7**).



**Figura 7.** Hojas emitidas de F10 a floración.

#### 2.2.4. Conclusiones

El comportamiento del nivel freático afecta el crecimiento y desarrollo de la planta de banano y puede desencadenar formaciones adaptativas que alargan su fenología y explican las múltiples diferencias de las curvas típicas de floración.

#### 2.2.5. Referencias bibliográficas

Muñoz-Ruiz, C., & León-Quirós, J. R. (2016). El rol del nivel freático en el rendimiento del banano (*Musa AAA*) clon gran enano. *Revista Tecnología En Marcha*,

15(3), Pág. 18–24. Recuperado a partir de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/2810](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2810)

Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1983). Estimation of Soil Water Properties. *Trans. ASAE*, 25, 1316–1320 & 1328.

Rodríguez-Iturbe, I., & Porporato, A. (2004). *Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems. Soil Moisture and Plant Dynamics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Salazar, C. (2012). El drenaje agrícola en el cultivo del banano (Aplicado a las zonas bananeras de Colombia). editorial académica española.

Sancho, H. (1993). Response of the banana (Chon Valery) to three drainage conditions. *CORBANA*.

Teoh, E.Y.; Teo, C.H.; Baharum, N.A.; Pua, T.-L.; Tan, B.C. (2022). Waterlogging Stress Induces Antioxidant Defense Responses, Aerenchyma Formation and Alters Metabolisms of Banana Plants. *Plants*, 11, 2052. <https://doi.org/10.3390/plants11152052>

## 2.2. EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y FISIOLÓGICA DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN BANANO DURANTE LA PRIMERA GENERACIÓN

**Autores:** Diego Felipe Feria Gómez, Diego Alejandro Londoño Puerta, Sindy Paola Cardona Flórez y Sebastian Zapata Henao

### Resumen

La búsqueda del aumento de la productividad ha guiado a los productores bananeros a considerar la siembra de mayor número de plantas por hectárea, pero estas decisiones desencadenan consecuencias poblacionales que bien podrían tener repercusiones productivas; para determinar la influencia sobre las plantas se escogieron tres arreglos de siembra (triángulo, surco sencillo, surco doble) y cinco densidades (1400, 1700, 2000, 2500, 3000), y se distribuyeron en una renovación mediante un factorial 3x5 (15 tratamientos) aleatoriamente con 3 repeticiones. Se cuantificó la altura y perímetro del a floración, la tasa de emisión foliar y el peso bruto del racimo. Se encontró que las densidades superiores a 2500 PI/ha tienen mayor altura, pero su perímetro no varía significativamente de

las demás densidades, al igual que la emisión foliar y el peso bruto del racimo, en primera generación.

**Palabras claves:** *Musa* AAA, cv. Cavendish, arreglo espacial, emisión foliar.

### 2.2.1. Introducción

La producción en el cultivo de banano puede ser medida mediante distintos componentes de rendimiento influenciadas principalmente por, la oferta climatológica de la zona de cultivo, las condiciones edáficas, el material vegetal establecido, el manejo, etc. Este último depende en gran parte de la disposición de las plantas en diferentes arreglos y densidades de siembra que determinan la oferta de racimos (Sánchez & Mira, 2013). Cuando el enfoque productivo busca el aumento de número de racimos por hectárea, se tiende a pensar en tener altas densidades, sin embargo, este manejo agronómico tiene algunas desventajas: ejerce una gran influencia sobre el crecimiento y desarrollo de cada planta debido a la competencia por luz que se genera dentro de la comunidad (Cayón, 1992). La alta densidad de siembra es una de las estrategias para aumentar la productividad sin afectar la calidad de la fruta (Gogoi *et al.* 2015). En banano se considera alta densidad a partir de 2000

plantas por hectáreas (PI/ha), en esta investigación se evaluaron diferentes densidades de siembra y arreglos espaciales para conocer el comportamiento de variables de crecimiento y de productividad del clon Williams en primera generación.

### 2.2.2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Campo Experimental y Demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado en Carepa - Colombia, con una altitud de 36 msnm; durante la evaluación se presentó una humedad relativa entre 69 y 94% y una precipitación promedio de 3.153 mm. Se seleccionó el lote 6 con un área de renovación de 3.46 ha, sembrada en septiembre de 2021, con meristemas del clon Williams y bajo las labores de manejo convencional de una finca de exportación.

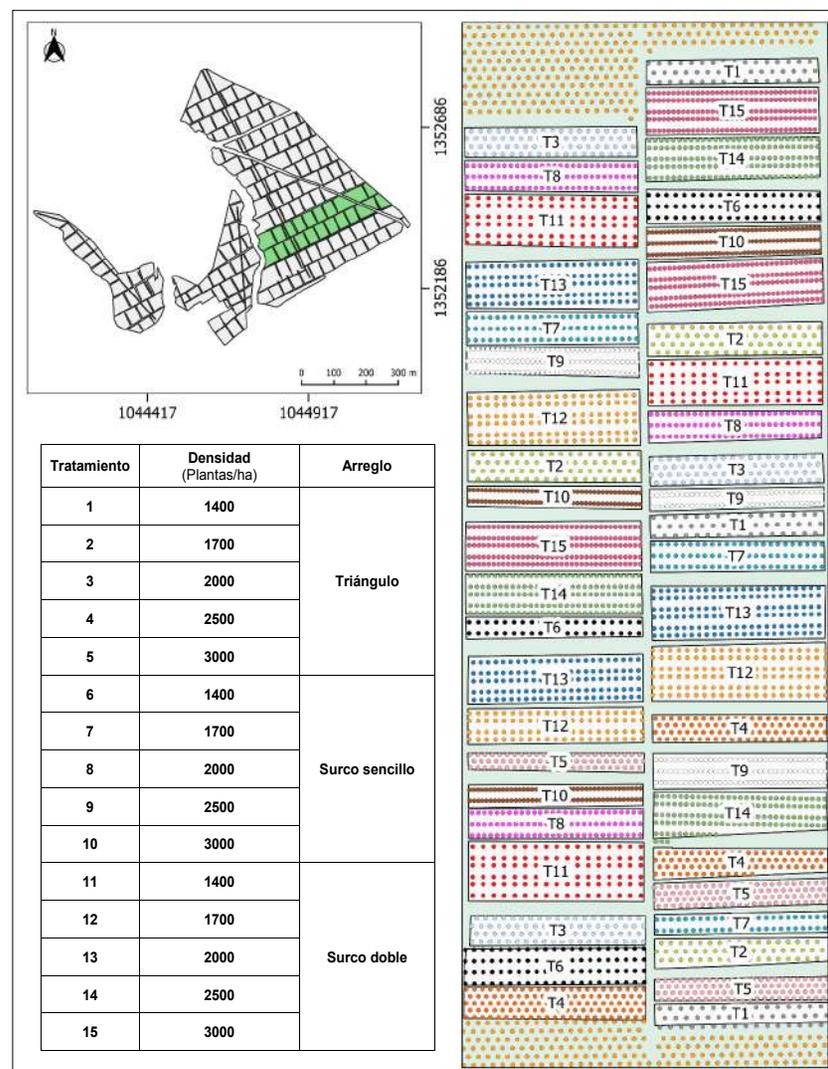
Se escogieron 5 densidades de siembra para tres arreglos espaciales y distancias descritas en la **tabla 1**, y se construyeron tratamientos usando un factorial 5x3, Los 15 tratamientos, cada uno con tres repeticiones, se distribuyeron aleatoriamente en todo el lote (**Figura 1**).

Densidad (Plantas/ha)	Triángulo	Surco sencillo		Surco doble		
	X	X	Y	X	Y	H
1400	2.87	2.38	3	2.8	3	2
1700	2.6	1.95	3	2.3	3	2
2000	2.4	1.66	3	2	3	2
2500	2.15	1.33	3	1.6	3	2
3000	1.96	1.11	3	1.3	3	2

**X:** Distancia entre plantas, **Y:** Distancia entre surcos, **H:** Distancia entre hileras.

**Tabla 1.** Distancias de siembra según tratamiento y arreglo espacial.

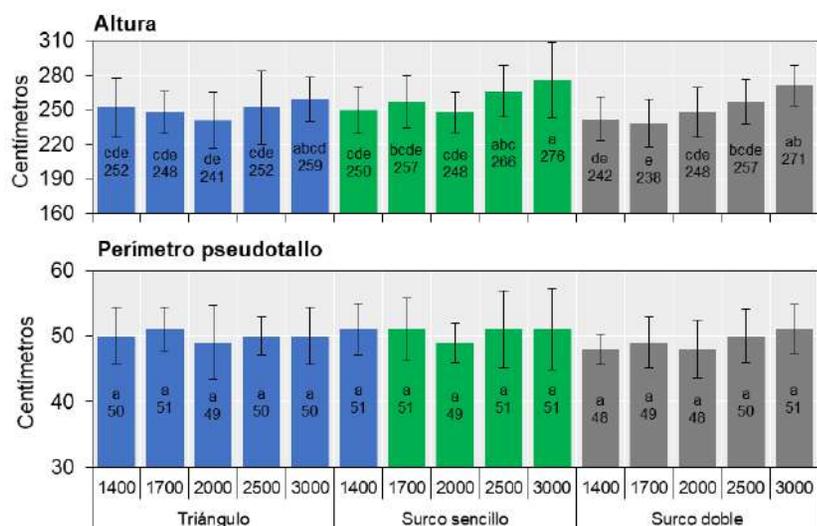
Las variables evaluadas fueron, altura, perímetro, emisión foliar y peso de racimo. La altura se midió desde la base del rizoma hasta la intersección de las dos últimas hojas emitidas y el perímetro se midió a un metro de altura desde la base del rizoma. La emisión foliar se midió cuantificando las hojas emitidas por semana y el peso del racimo se registró en la cosecha, a las 11 semanas después de la floración, esto de acuerdo con las especificaciones de postcosecha.



**Figura 1.** Ubicación del lote y distribución de los tratamientos.

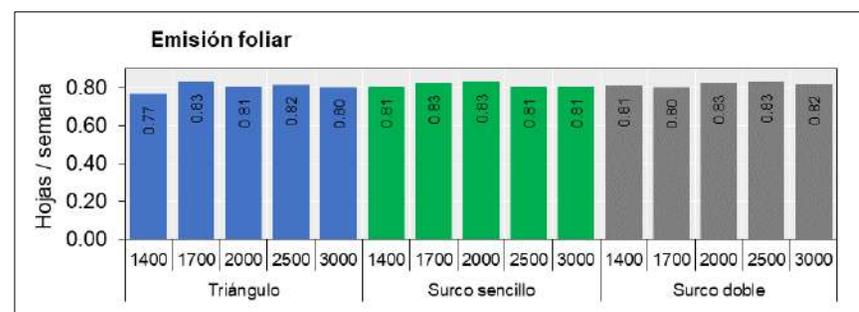
### 2.2.3. Resultados y discusión

En general las plantas que crecen en densidades de 2500 a 3000 tienen mayor altura, resultados que concuerdan con lo dicho con Palkar *et al.* (2012), esto se puede desencadenar producto de la competencia por luz que tienen las plantas en altas densidades (Cayón, 1992). El perímetro por su parte no varió significativamente en ninguno de los tratamientos (**Figura 2**), como ya se había presentado en trabajos previos (Smith *et al.* 2010; Barrera *et al.* 2021).



**Figura 2.** Comportamiento de la altura y el perímetro en las densidades evaluadas. Letras distintas muestran diferencia significativa por prueba de Duncan's ( $P < 0.05$ ).

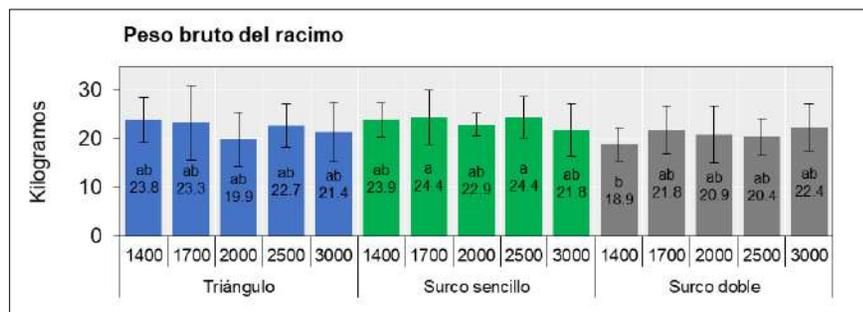
La tasa de emisión foliar presenta bajas variaciones al ser poco influenciada por la densidad, y al ser primera generación, la oferta lumínica es más estable en las plantillas y las variaciones climáticas son más constantes.



**Figura 3.** Comportamiento de la emisión foliar en las densidades evaluadas.

La producción, medida desde el peso bruto del racimo, no tiene diferencias significativas en ninguna de las densidades al interior de cada arreglo espacial. Los trabajos de Barrera *et al.* (2020) muestran que el ratio, que es una variable dependiente del peso de racimo, tampoco varía significativamente en las diferentes densidades, según López & Espinosa (1995) el peso del racimo está

más asociado al material genético, las condiciones climáticas y el manejo.



**Figura 4.** Variación del peso de racimo evaluado en diferentes densidades de siembra. Letras distintas muestran diferencia significativa por prueba de Duncan's ( $P < 0.05$ ).

#### 2.2.4. Conclusiones

Durante la primera generación las plantas pueden tener un mayor porte en densidades superiores a 2500 Pl/ha, sin embargo, esto no resulta afectar la emisión foliar o el peso del racimo.

#### 2.2.5. Referencias bibliográficas

- Barrera, J., Cartagena, J. & Nanclares, O. (2020). Influence of high planting densities and arrangements on yield and fruit development of *Musa* AAA Simmonds. *Acta Agronómica*, 69(1), 46–53. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79834>
- Barrera, J., Cartagena, J., & Nanclares, O. (2021). Influence of high density planting and spatial arrangement on growth and development in *Musa* AAA Simmonds. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1312>
- Cayón, G. (1992) Fotosíntesis y productividad de cultivos. *Revista Comalf* 19(2):23–21.
- Gogoi, b. Khangia, b., Baruah, k. & Khound, a. (2015). Effect of high density planting and nutrient management on growth and yield of banana cv. Jahaji (*Musa*, AAA). *Internal J. Agriculture Innovations and Research (India)*. 3(5):1364–1368.
- López, A. & Espinosa, J. (1995) Manual de nutrición y fertilización del banano. Quito, Ecuador: International Plant Nutrition Institute. Disponible en: <http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/>

ef8e501182700592e/  
c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\$FILE/N%20F%  
20Banao.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf.

Palkar, s., Patel, n., Mhetre, d. & Mandalik, g. (2012). Effect of high density planting on the growth and development characters of the banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Grand Naine. *Internal Journal of Agricultural Sciences*(USA). 8(1):201-204

Sánchez, J. & Mira, J. (2013) Principios para la nutrición del cultivo de banano. Medellín, Colombia: Asociación de Bananeros de Colombia: Centro de Investigaciones del Banano.

Smith, E., Velásquez, M., Zuluaga, L. & Valerin, J. (2010). Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (*Musa AA*). *Agronomía Costarricense (Costa Rica)*. 34(1):77-83.

### 2.3. **eN: UN MEDIDOR DE NITRÓGENO FOLIAR *in situ* EN FINCAS BANANERAS**

**Autores:** Daniel Mauricio Pineda Tobón, Daniel Gaviria Palacio, Diego Felipe Feria Gómez, Diego Alejandro Londoño Puerta, Juan Carlos Pérez Naranjo.

#### **Resumen**

En este trabajo se presenta a **eN**, un medidor digital de nitrógeno (N) y el software **BanNana** para registrar las mediciones obtenidas con **eN** y operarlo a través del computador. **eN** se calibró comparando sus mediciones con las del dispositivo SPAD 502™ de Minolta. En tres (3) pruebas de campo se midieron más de 600 plantas en fincas a lo largo de una climosecuencia en la región de Urabá. Otros experimentos incluyen un análisis de la simetría foliar del contenido de N en puntos separados por la nervadura central y evaluación del contenido de N en plantas cercanas a una carretera y rasgadas por viento comparadas con hojas menos dañadas al interior del lote. Los valores de N foliar de las pruebas se compararon con 345 mediciones químicas tradicionales de N foliar

(método kjeldahl). **eN** presentó mediciones comparables a las del medidor SPAD 502™ y estimó el contenido de N foliar en plantas consistentemente al manejo agronómico de las plantas evaluadas. En campo no son claras las diferencias en N en hojas dañadas por el viento o dentro de la misma hoja en segmentos opuestos. **eN** presenta en general valores mayores de N que los presentados en un laboratorio comercial para muestras foliares obtenidas en la zona. El desarrollo local de **eN** hasta su uso comercial permitirá proponer prácticas agronómicas para aumentar el uso eficientemente de fertilizantes nitrogenados, y es un punto de partida para la adopción de tecnologías digitales personalizadas y de precisión en el sector bananero.

**Palabras clave:** Fertilización de precisión, medidor SPAD, reducción de emisiones

### 2.3.1. Introducción

Tradicionalmente todos los suelos tropicales han sido asociados a fuerte acidez, alto potencial fitotóxico. Globalmente el nitrógeno (N) es el macronutriente más limitante para el desarrollo de las plantas, conocer cuál es

su concentración en el cultivo y en las plantas en cualquier instante ayudará a diseñar planes de fertilización por sitio específico, su aplicación en el momento adecuado para optimizar de forma el uso de fertilizantes nitrogenados, generando menos pérdidas por lixiviación, volatilización y escorrentía, que producen contaminación atmosférica y de agua. Lo anterior es especialmente importante hoy que los precios de los fertilizantes alcanzan niveles históricos. Existen múltiples esfuerzos reportados en la literatura para medir N por técnicas no convencionales que aprovechan las propiedades ópticas de las plantas (Ortuzar-Iragorri et al., 2005; Ghasemi et al., 2011; Markwell et al., 1995; Cuddling et al., 2007), permitiendo determinaciones de N foliar no destructivas y en segundos. Sin embargo, muchos de estos esfuerzos requieren del uso de dispositivos costosos y/o complejos de usar.

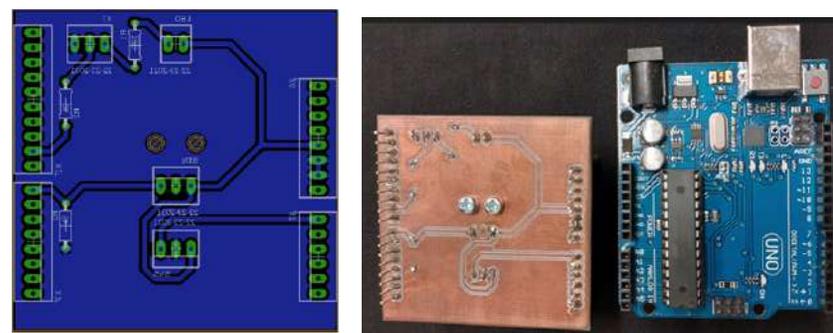
Este trabajo evalúa un nuevo dispositivo para estimar el contenido de N usando un conjunto mínimo de materiales, de manera que el costo de producción del dispositivo sea lo más bajo posible. El dispositivo es calibrado usando como referencia un equipo comercial usado a nivel mundial conocido como SPAD 502, debido a la amplia cantidad de trabajos existentes en la literatura que

validan el desempeño de este dispositivo; sumado también a que existen múltiples trabajos donde se estiman modelos de predicción de N para distintos cultivos, incluyendo banano cv. Cavendish (Abro, et al; 2021). Por simplicidad, el nuevo dispositivo es presentado como **eN** (electronic leaf nitrogen meter) y su desempeño en cuatro fincas de banano cv.Cavendish de la región de Urabá-Antioquia se compara con el medidor SPAD 502.

### 2.3.2. Materiales y métodos

**2.3.2.1. Construcción del dispositivo eN.** El dispositivo fue construido combinando algunos componentes electrónicos básicos y de alto consumo comercial, de manera que se asegure disponibilidad en el mercado en el largo plazo. Fue necesario diseñar un circuito impreso para reducir el tamaño del equipo y facilitar el ensamble, la **Figura 1A** muestra una captura del diseño del circuito. Como cerebro del dispositivo y sistema controlador de iluminación, se hizo uso de una placa Arduino UNO que se puede observar en la **Figura 1B**. El sistema de agarre de muestras consiste de una palanca hecha en impresión 3D (**Figura 2A**) donde también se instala una fuente de iluminación roja cuya intensidad es medida con un sensor ubicado en la tarjeta electrónica, la palanca y el circuito

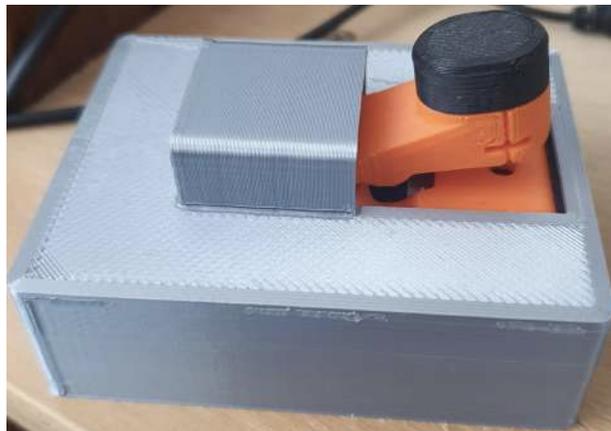
forman una sola unidad, debe ser atornillada al circuito de manera que quede como se puede ver en la **Figura 2B**. Para proteger la electrónica se diseñó una carcasa en impresión 3D, el equipo ensamblado, protegido por la carcasa y listo para funcionar se puede ver en la **Figura 3**.



**Figura 1.** A. Diseño de circuito impreso B. Circuito impreso ensamblado y placa de control Arduino UNO.

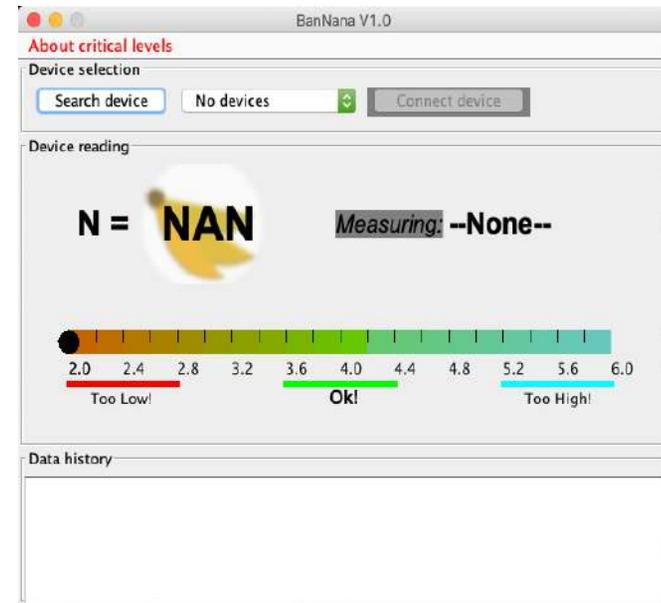


**Figura 2.** A. Diseño 3D de palanca, B. Dispositivo de medición de N ensamblado.



**Figura 3.** Equipo sellado en carcasa diseñada en impresión 3D

**2.3.2.2. Software de control.** Un software de control fue desarrollado para operar el equipo con computador. Este software se puede instalar en cualquier sistema operativo para facilitar la adopción del dispositivo. El software se nombró **BanNana**, que hace referencia a la planta y el elemento que estima el sistema, La **figura 4** muestra una captura de pantalla de computador del software de control.



**Figura 4.** Captura de pantalla del software de control BanNana.

El software también muestra de manera gráfica el porcentaje de N en el punto medido en hoja, a través de una barra de color que va desde rojo para bajo (Too Low!) verde para un valor adecuado (Ok!) y azul para alto (Too High!) figura 4., según los niveles críticos descritos por Jones et al., (1991).

**2.3.2.3. Pruebas en campo.** Con información previa sobre rendimientos y tipos de suelo presentes en la zona compartida por Cenibanano, se seleccionaron lotes en fincas bananeras a lo largo de una climosecuencia de sur a norte en la región de Urabá. Las plantas de banano se seleccionaron en el estadio fenológico 5 (emisión de la inflorescencia) y 6 (floración) según la escala BBCH presentada por González et al., (2002). Las muestras se cortaron con una deshojadora al lado de la vena central en la tercera hoja más recientemente formada, se empacaron en bolsas plásticas con una toalla de papel mojado para prevenir su deshidratación y se trasladaron en menos de una hora a un recinto cubierto para las mediciones.

Tres (3) pruebas de campo se desarrollaron en cuatro (4) fincas ubicadas a lo largo de las zonas sur, centro y norte de la zona bananera de Urabá que presentan diferencias

de precipitación y nubosidad mayor en la zona sur disminuyendo hacia el norte.

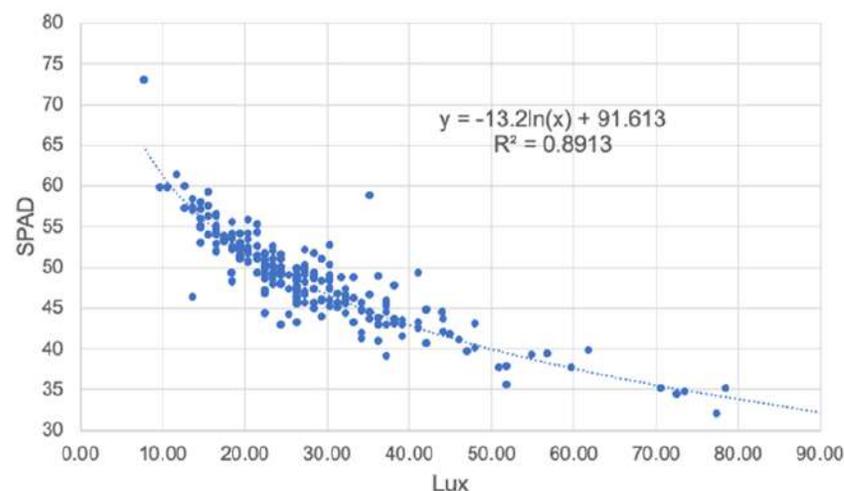
Para la **Prueba 1** (*Comparación entre Fincas*) se realizaron medidas estimadas de N foliar con **eN** calibrado con la ecuación de comparación con el SPAD 502 para determinar la concentración de N en las hojas promedio difiere entre fincas y a lo largo del gradiente climático. Para la **Prueba 2** (*Simetría bilateral del contenido de Nitrógeno en láminas foliares*) se tomaron pares de medidas a lado izquierdo y derecho de las muestras foliares, todas a la misma distancia de la Nervadura central, que luego se compararon a través de estadística descriptiva para visualizar la presencia o no de simetría en la concentración de N foliar en hojas de banano. Por último, en la **Prueba 3** (*Contenido de N foliar en las plantas al lado de la carretera y en el interior del cultivo*) se realizaron mediciones en plantas a bordo de carretera y en el interior de cultivo con el fin de establecer diferencias en el contenido de nitrógeno relacionado al desgarramiento de las hojas.

**2.3.2.4 Comparación con SPAD 502 y modelos de estimación de N.** Mientras que se realizaban medidas en

campo, se tomaron de forma preliminar un conjunto de datos de mediciones del nuevo dispositivo y el equipo SPAD 502, que fueron usados para construir una curva de calibración. Luego se tomó un modelo de estimación de N con índices SPAD para banano cv.Cavendish publicado en la literatura por Abro, et al; (2021) Este modelo fue programado en **eN** para generar estimaciones de contenido de N.

### 2.3.3. Resultados y discusión

**2.3.3.1. Comparación con SPAD 502 y modelos de estimación de N.** Las mediciones de transmisión de luz obtenidas con **eN** presentan una relación inversa y bien ajustada con los índices SPAD. La transmisión de luz decae logarítmicamente al aumentar los índices SPAD **Figura 5**. Universalmente se ha encontrado que los índices SPAD aumentan al incrementar el contenido de N foliar (Netto et al., 2005; Xiong et al., 2015).



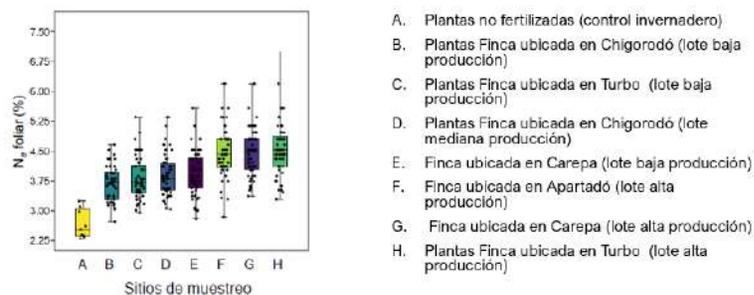
**Figura 5:** Curva de correlación entre nuevo dispositivo (Valores **Lux**) y medidor SPAD 502.

### 2.3.3.2. Pruebas en campo

**Experimento 1. Comparación entre Fincas.** Se presentan diferencias claras en el conjunto de valores de N estimado, obtenidos en fincas con los valores claramente inferiores del control no fertilizado. El análisis de distribución muestra mayores valores de N en las fincas F, G y H, para los lotes con mayor productividad históricamente; los cuartiles 2 y 3 que recogen la mitad de los datos (puntos en el interior de las cajas) presentan valores de N foliar claramente

superiores a los que presentan estos cuartiles para los sitios B, C, D, E, que provienen de lotes con productividad histórica inferior.

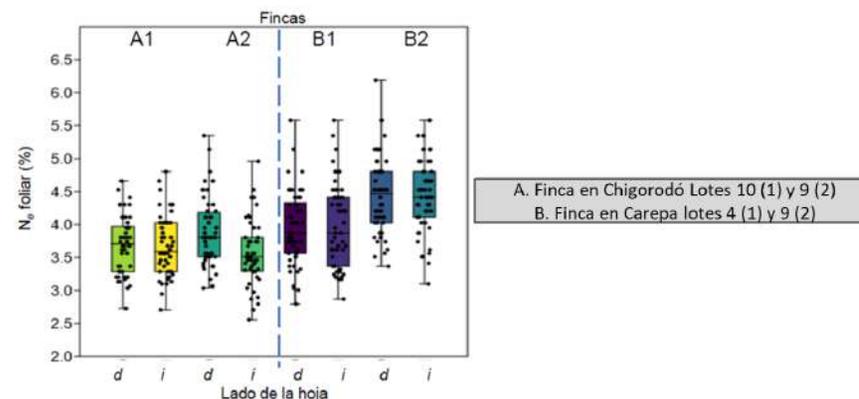
El efecto del gradiente climático en los contenidos de N foliar es menos claro (de sur a norte (Chigorodó (B y D), Carepa (E y G), Apartadó(F), Turbo(C y H)) a partir de esas mediciones las diferencia en contenido foliar de N entre fincas presentado por **eN** no es claro debido a la dispersión de las mediciones de N en ellas, excepto para el control no fertilizado que fue evidentemente menor, los rangos de dispersión tienden a ser mayores en los sitios con mayor productividad Histórica y no parecen ser atribuibles a variaciones en las plantas, suelo o clima (Figura 6).



**Figura 6.** Concentración de N foliar estimada con **eN** en 8 sitios de muestreo, ubicados en 4 plantaciones

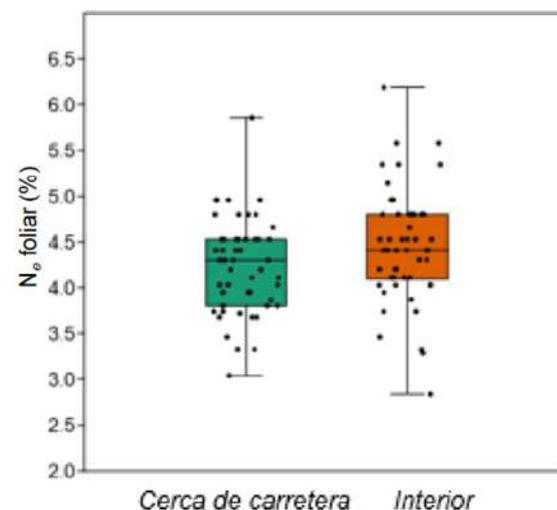
comerciales a lo largo de un gradiente climático en la zona de Urabá. Cada punto representa una medición en la tercera hoja más joven abierta de una sola planta. Las plantas testigo sin fertilizar A son adultas y se mantienen en un invernadero. Cajas y bigotes con letras diferentes indican sitios de muestreo (ver recuadro).

**Experimento 2. Simetría bilateral del contenido de Nitrógeno en Láminas Foliare.** En general las hojas no presentan diferencias claras en el contenido de N en el tercio medio de la lámina foliar que es usada como estándar en el muestreo para análisis químico. Una diferencia ligera se presenta solo para muestras del lado derecho e izquierdo en sitio A2, aunque sus rangos en contenido de N se traslapan, es decir son similares (Figura 7).



**Figura 7.** Mediciones estimadas de concentración de N foliar en hojas de Banano en dos lotes 1 y 2 dentro de las fincas A y B. **d** e **i** son muestras tomadas al lado derecho e izquierdo respectivamente, en hojas de banano vista desde el envés. Cada punto representa una medición en la tercera hoja más joven abierta de una sola planta

**Experimento 3. Contenido foliar de N en plantas respecto a su cercanía a la carretera.** Finalmente, en el experimento para determinar si el contenido de N es diferente en plantas cercanas a una carretera, que presentan hojas más rasgadas por efecto del viento al no existir barreras físicas que bajen su velocidad y por la circulación de camiones a alta velocidad, se presentan medianas y rangos de contenido de N aparentemente similares en ambas condiciones (**Figura 8**).



**Figura 8.** Contenido de N foliar estimado ( $N_e$ ) por **eN** en un cultivo comercial de banano. Las mediciones se presentan en dos grupos separados por su posición con respecto a una carretera por la que circulan vehículos ligeros y pesados a alta velocidad. Cada punto representa una medición en la tercera hoja más joven abierta de una sola planta.

#### 2.3.4. Conclusiones

- **eN** estimó razonablemente el contenido de N foliar en plantas de banano en forma consistente con sus

condiciones de crecimiento y manejo agronómico. Este sistema abierto podría calibrarse bajo ambientes específicos y personalizarse para uso directo en fincas bananeras, de acuerdo con condiciones particulares de cada usuario. Además de tener menor costo y ser más rápido que otros sistemas de medición de N foliar, su adopción presentaría menores emisiones de gases contaminantes asociadas al transporte y análisis de muestras en lugares lejanos de las fincas.

- **eN** puede evolucionar para incrementar sus funcionalidades, por ejemplo, para incluir conexión a teléfonos inteligentes u otros dispositivos, y aprovechar capacidades como la obtención de datos de GPS, lo que permitiría registros de N foliar georreferenciados, que aceleren el diseño de programas de fertilización y manejo de suelos de precisión.
- Comparado con el equipo SPAD 502, **eN** destaca por su potencial bajo costo. Si bien no es posible hacer un comparativo de precios directo entre ambos equipos, dado que el SPAD 502 es un equipo comercial y **eN** es un dispositivo experimental, se

podría proyectar un valor potencial del equipo basado en el costo de duplicar una unidad de **eN** en las condiciones actuales: Solo los materiales pueden tener un costo cercano a los 70USD, la mano de obra tiene un valor relativo, sin embargo, se podría aproximar a un valor similar al de los materiales. Es decir, reproducir una unidad de **eN** bien podría tener un costo inferior a los 200USD (nótese que no se tienen en cuenta posibles costos asociados a impuestos, publicidad, logística, etc.). Lo cual, comparado a los cerca de 7000USD que puede costar un dispositivo SPAD 502, representaría tan sólo una centésima parte del costo.

### 2.3.5. Referencias bibliográficas

Ortuzar-Iragorri, M. A., Alonso, A., Castellón, A., Besga, G., Estavillo, J. M., & Aizpurua, A. (2005). N-tester use in soft winter wheat: Evaluation of nitrogen status and grain yield prediction. *Agronomy Journal*, 97(5), 1380-1389.

Ghasemi, G. M., Arzani, K., Yadollahi, A., Ghasemi, S., & Khorrami, S. S. (2011). Estimate of leaf chlorophyll and nitrogen content in Asian pear (*Pyrus serotina*

- Rehd.) by CCM-200. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(1), 91-94.
- Markwell, J., Osterman, J. C., & Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis research*, 46(3), 467-472.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research*, 91(1), 37-46.
- Abro, B. A., Memon, M., Hassan, Z.-U., Arain, M. Y., Razaq, A., Abro, D. A., & Ali, S. (2021). Assessing nitrogen nutrition of banana (Banana Cavendish) through leaf analysis and chlorophyll determination. *Pakistan Journal of Botany*, 53(5), 1859-1864. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-5\(39\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-5(39))
- Jones Jr, J. B., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Gonzales R, Ruiz-Silvera C, Bleiholder H, Hack H, Meier U, Wicke H (2002) Proposal for codification of the phenological cycle of edible musaceae. In: Proceedings of XV Reunión Internacional ACORBAT Meeting 2002 Cartagena/Colombia, pp 412-417.
- Netto, A. T., Campostrini, E., de Oliveira, J. G., & Bressan-Smith, R. E. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 199-209.
- Xiong, D., Chen, J., Yu, T., Gao, W., Ling, X., Li, Y., ... & Huang, J. (2015). SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific reports*, 5(1), 1-12.



Línea de investigación:

# Suelos y agricultura de precisión

### 3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN

#### 3.1. SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS DE SALUD DEL SUELO – CENIBANANO

**Autores:** Miguel Ángel Bernal Monterrosa, Laura Delgado Bejarano, Jackson Danilo Osorio Cardona, Juan José Pérez Zapata y Sebastian Zapata Henao

##### Resumen

El suelo es un ente natural dinámico que presenta una amplia variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas que, debido a su influencia en la producción, es necesario generar una caracterización para el manejo agronómico óptimo por sitio con una tendencia a agricultura de precisión. Dentro de las múltiples variables a tener en cuenta, están: la medición de pH, resistencia a la penetración en la profundidad efectiva del desarrollo radicular y la textura, servicio integrado que ofrece Cenibanano. Para ello, se realiza una malla rígida de 3

puntos por hectárea, en la fase de campo a cada muestra se le mide resistencia a la penetración a una profundidad de 0-80 cm y en laboratorio pH por método potenciométrico en agua 1:1 (suelo: solución) y textura por Bouyoucos. Los mapas fueron generados mediante reclasificación e interpolación, se obtuvo la variabilidad espacial y recomendación de manejo por lote. En el año 2022 se evaluaron 21 fincas donde se identificó el 51,6% del área con pH de extremadamente a fuertemente ácido, resistencia moderada en el 58% para el primer estrato y texturas adecuadas para el cultivo de banano en la zona. Además, se realizó seguimiento del manejo agronómico realizado con base en las recomendaciones técnicas desde el servicio, obteniendo en el 76% de las evaluaciones un aumento de productividad.

**Palabras clave:** Acidez, textura, compactación y descripción de perfiles edáficos.

##### 3.1.1. Introducción

El uso excesivo de recursos naturales y su demanda por la creciente población han dado importancia a la sostenibilidad como principal estrategia para mitigar la

escasez y evitar el agotamiento de los recursos naturales contribuyendo a disminuir el daño causado al medio ambiente y por ende las problemáticas sociales y económicas adyacentes. Por tal razón, se necesita optimizar la forma como se produce y se consume (Sepúlveda et al., 2022). En este sentido, La Agricultura de Precisión (AP) agrupa un conjunto de tecnologías aplicables en la producción agraria, su factor común es la toma de decisiones y su posterior ejecución. Permitiendo ser más eficientes, reducir costos e introducir certeza en las decisiones. Contribuyendo al uso racional de los recursos, al aumento en la productividad y mejora de la rentabilidad (Rambauth, 2021).

En banano, el Centro de Investigaciones del Banano (Cenibanano) incorporando la agricultura de precisión, ofrece servicios integrados de salud y aptitud de suelos mediante la evaluación de variables como pH, textura y resistencia a la penetración. Obteniendo mapas de variabilidad espacial temporal y recomendaciones de manejo que le permiten a los agricultores la realización de actividades de manejo diferenciadas en aras de una mayor productividad y competitividad del sector bananero en Colombia (Pérez et al., 2022). Adicionalmente, para identificación del aumento y

sostenibilidad de la producción, el grupo técnico de suelos y agricultura de precisión realiza monitoreo de las decisiones de manejo tomadas por la finca con base en los resultados presentados en los servicios y en los casos que el productor lo requiera, brinda apoyo técnico en la toma de decisiones.

En los resultados consecutivos desde el inicio de prestación del servicio, se han caracterizado 12.933 hectáreas distribuidas en Urabá y 433 ha en Magdalena, generando la prestación del servicio para las zonas bananeras de Colombia.

### **3.1.2. Materiales y métodos**

#### **3.1.2.1. Servicio Integrado de Suelos (Urabá-Magdalena).**

Para efectuar el servicio de diagnóstico de salud y calidad del suelo, es necesario que el productor envíe un formato diligenciado con la solicitud anexando la cartografía mínima requerida actualizada: perímetro, lotes y cable vía. En caso de requerir recomendaciones específicas, deben enviar datos de productividad por lote. Con dicha

información se radica la solicitud y se procede a realizar el servicio. Se realiza un muestreo en campo a partir de una malla de tres (3) puntos por hectárea. Una vez se localiza el punto de muestreo en campo, se toman aproximadamente 500 g de suelo de una cajuela de 20 cm x 20 cm x 30 cm ubicada a 50 cm de distancia del hijo de sucesión de la unidad productiva, verificando que el lugar esté libre de enmiendas, fertilizantes u otras aplicaciones. Posteriormente mediante un penetrológico digital marca *Eijkelkamp* se lleva a cabo la medición de resistencia a la penetración obteniendo tres estratos que corresponden a profundidades de 0-30 cm, 30-60 cm y 60-80 cm. En laboratorio, las muestras se les efectúa un proceso de secado en el invernadero de CENIBANANO durante aproximadamente 10 días, cuando están secas se muelen, se ciernen por un tamiz de malla de 2 mm y se trasladan al laboratorio para su posterior análisis. En el laboratorio de CENIBANANO se determina el pH a través de un potenciómetro con una relación 1:1 (suelo: solución) (IGAC, 2006) y análisis de textura

mediante el método del hidrómetro (Bouyoucos) (Jaramillo, 2014).

Con los resultados obtenidos, se genera una base de datos para cada finca y mediante el software *QGIS* se realizan las interpolaciones correspondientes a cada una de las variables evaluadas, posteriormente se reclasifican y se analizan en función de su aptitud para el cultivo de banano, asignando colores verdes, amarillos y rojos, los cuales hacen referencias a condiciones adecuadas, regulares y malas, respectivamente (CENIBANANO, 2021). Para finalizar, la información obtenida se lleva al software *ArcGIS*, en donde se diseñan los mapas finales de variabilidad espacial y manejo de cada uno de los parámetros; con esta información se procede a elaborar el informe final. En la **Tabla 1** se ilustran las categorías de acidez del suelo, las cuales están en función del desarrollo de cultivo y disponibilidad de nutrientes en el suelo.

**Tabla 1.** Rangos y categorías de los valores de pH.

Rango	Clasificación
<5.0	Extremadamente Ácido
5.0 - 5.5	Fuertemente Ácido
5.5 - 6.0	Moderadamente Ácido
6.0 - 6.5	Ligeramente Ácido
6.5 - 7.5	Neutro
>7.5	Alcalino

De igual forma, en la **Tabla 2**, se presenta la clasificación de las 12 clases texturales establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

**Tabla 2.** Clases texturales, según la clasificación USDA

Clases texturales	
F	Franca
FA	Franco Arenosa
FAr	Franco Arcillosa
FArA	Franco Arcillo Arenosa
FArL	Franco arcillo limosa
FL	Franco limosa
ArA	Arcillo arenosa

ArL	Arcillo limosa
L	Limosa
AF	Arenosa Franca
A	Arenosa
Ar	Arcillosa

Finalmente, en función del desarrollo radicular del cultivo de banano y la porosidad del suelo se muestra la clasificación de la resistencia a la penetración (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Rangos y categorías de resistencia a la penetración.

Rango (MPa)	Clasificación
≤ 1.0	Muy Friable
1.0 - 1.2	Friable
1.2 - 1.5	Moderadamente Firme
1.5 - 2.0	Firme
2.0 - 2.5	Firme
2.5 - 3.0	Firme
> 3.0	Firme

La **Tabla 3** ilustra una modificación de la clasificación, planteada debido a que, en las fincas del Magdalena y algunas fincas evaluadas en la zona de Urabá, se presentan valores más altos de resistencia a la penetración, generando limitaciones más críticas en el cultivo.

### **3.1.2.3. Seguimiento a productividad Urabá.**

Desde el área de suelos y agricultura de precisión se realiza el seguimiento de las variables pH y resistencia a la penetración a las fincas productoras que requieran determinar el impacto de las decisiones de manejo tomadas a Partir de los resultados y recomendaciones técnicas del servicio integrado de suelos, para esto se realizan muestreo en campo, mediciones de pH y análisis edáficos. A su vez se le solicita al productor los planes de fertilización y manejo de suelos, con el fin de brindar apoyo y mitigar las condiciones críticas para el cultivo de banano.

### **3.1.2.4. Laboratorio pH y textura en análisis de suelos.**

Con el fin de disminuir costos asociados a los análisis de suelos para el productor, Cenibanano generó un

convenio con diversos laboratorios que consiste en identificación de pH y textura en el laboratorio de Cenibanano, disminuyendo el costo final/muestra procesada.

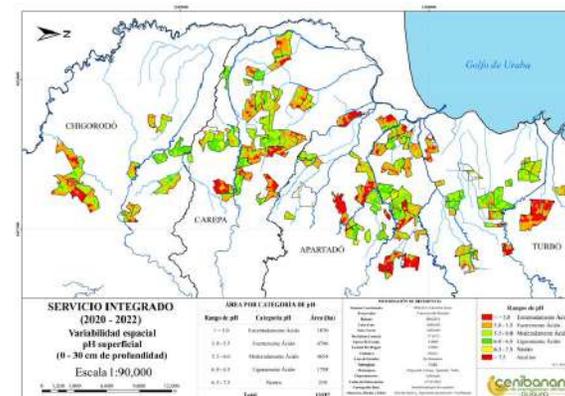
## **3.1.3. Resultados y discusión**

**3.1.3.1 Servicio Integrado de Suelos.** Durante el año 2022, en la región de Urabá, se ejecutó el servicio integrado de suelos en 19 predios, para un acumulado total de 13337 ha en servicios realizados a lo largo de los últimos dos años. En Colombia, aproximadamente el 85% de los suelos son ácidos (Osorio, 2018). Estos se localizan particularmente en las regiones de clima tropical y su tendencia a la acidificación se debe a factores como: precipitaciones reacciones del agua con  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $NO_3$ , que liberan  $H^+$  a la solución. En ese sentido, ocurre que una alta proporción de los sitios de intercambio está siendo saturada por  $Al^{3+}$ , lo que genera problemas de toxicidad y baja disponibilidad de nutrientes, lo cual afecta la absorción de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Rosas et al., 2017).

La medición de acidez del suelo se realiza mediante el pH, esta es una de las variables más importante en la química del suelo debido al efecto que tiene en la disponibilidad de la solubilidad de elementos y la respuesta de las plantas en términos de desarrollo radicular, absorción de nutrientes y productividad (Neina, 2019). En la **Tabla 4** se presenta la distribución porcentual del área evaluada y en la **Figura 1** el mapa de variabilidad espacial de las fincas muestreadas.

**Tabla 4.** Distribución porcentual de pH en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Urabá 2022.

Rango	Clasificación	%
<5	Extremadamente Ácido	14,0
5.0 - 5.5	Fuertemente Ácido	36,0
5.5 - 6.0	Moderadamente Ácido	34,9
6.0 - 6.5	Ligeramente Ácido	13,5
6.5 - 7.5	Neutro	1,6
<b>Total</b>		<b>100,0</b>



**Figura 1.** Mapa de distribución de acidez de las fincas muestreadas, año 2020 y 2022.

Como se puede visualizar en la **Figura 1**, el 51.6 % del área muestreada representa condiciones de pH limitantes para el desarrollo del cultivo de banano, representadas por las categorías extremadamente ácido ( $\leq 5.0$ ), fuertemente ácido (5.0 - 5.5) y neutro (6.5 - 7.5). Donde además de los procesos de acidificación de suelos generados de forma natural, se aporta acidificación por causas antrópicas debido a la aplicación de fertilización con productos nitrogenados (amoniacales) comúnmente aplicados en el cultivo de banano (Li et al., 2021; Zhang et al., 2019). Condiciones de pH inferiores a 5.5, presentan solubilidad

de aluminio intercambiable, causando toxicidad, inhibición del sistema radicular de las plantas y reducción en la absorción de nutrientes (Osorio, 2018). Para el caso de los suelos con pH neutro se resaltan los problemas de absorción de micronutrientes como el zinc (Zn), el manganeso (Mn) y el hierro (Fe) afectando el desarrollo y formación de fruta.

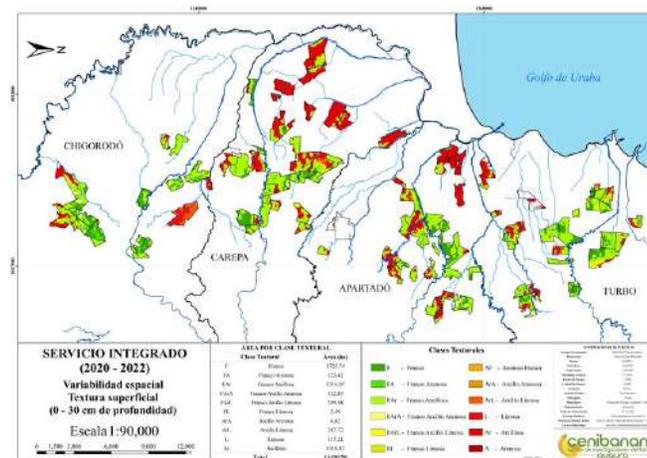
En el caso de la composición porcentual de arenas, limos y arcillas (textura), representa una gran importancia en el desarrollo de los cultivos debido a la influencia sobre otras propiedades como: porosidad, infiltración, retención de humedad, susceptibilidad a la erosión, etc. Por esta razón

Clasificación		%
F	Franca	15,1
FA	Franco Arenosa	1,1
FAr	Franco Arcillosa	46,5
FArA	Franco Arcillo Arenosa	2,8
FArL	Franco arcillo limosa	1,8
FL	Franco limosa	0,0
ArA	Arcillo arenosa	0,0
ArL	Arcillo limosa	2,5

L	Limosa	1,0
Ar	Arcillosa	29,0
<b>Total</b>		<b>100,0</b>

se presenta la distribución porcentual del área evaluada (**Tabla 5**) y el mapa de variabilidad espacial de textura en la **Figura 2**.

**Tabla 5.** Distribución porcentual de textura en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Urabá 2022.



**Figura 2.** Mapa de variabilidad espacial de la textura superficial de las fincas muestreadas, año 2020 y 2022.

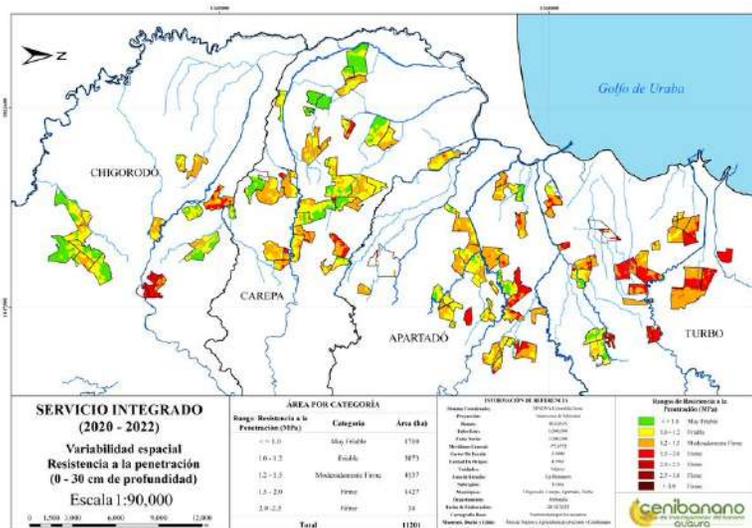
De las 13,337 ha muestreadas en textura, el 46.5% presenta una textura franco arcillosa (FAR), la cual debido a su composición física y granulométrica indica una buena aireación e infiltración del agua en el suelo, siendo una textura adecuada para la agricultura del cultivo de banano. Por otro lado, los suelos del 29.0 % del área muestreada presentan una textura arcillosa, en donde existen condiciones limitantes debido a la cohesividad entre sus partículas, causando bajas tasas de infiltración, mayor retención de humedad y un incremento de los niveles freáticos, situación que finalmente se traduce en alto deterioro de las raíces del cultivo.

Una de las propiedades más importantes a la hora de evaluar la calidad física de los suelos es la resistencia que estos suelos ejercen a la penetración por parte de las raíces. La resistencia a la penetración permite identificar zonas donde la compactación es un factor limitante debido a la impedancia mecánica que ejerce sobre el desarrollo radicular de las plantas, influye en variables como: estructura, porosidad, infiltración, permeabilidad, entre otros (Columbi & Keller, 2019), lo cual incide desfavorablemente sobre los rendimientos agrícolas (Villazón et al., 2022).

Además de generar las mediciones en los tres estratos (0 - 30 cm, 30 - 60 cm y 60 - 80 cm), es necesario tener en cuenta otros parámetros como la textura y la densidad aparente del suelo, las cuales se relacionan de igual modo con la compactación (Vaquero, 2005). En la **Tabla 6** se presenta la distribución porcentual de resistencia a la penetración de 0-30 cm de profundidad y en la **Figura 3** el mapa de variabilidad espacial de resistencia a la penetración en el estrato superficial.

**Tabla 6.** Distribución porcentual de resistencia a la penetración de 0-30 cm de profundidad en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Urabá 2022.

Rango	Clasificación	%
≤ 1.0	Muy Friable	15,4
1.0 - 1.2	Friable	34,6
1.2 - 1.5	Moderadamente Firme	36,9
1.5 - 2.0	Firme	12,7
2.0 - 2.5	Firme	0,3
<b>Total</b>		<b>100,0</b>



**Figura 3.** Mapa de variabilidad espacial de resistencia a la penetración 0-30 cm de profundidad. año 2020 y 2022.

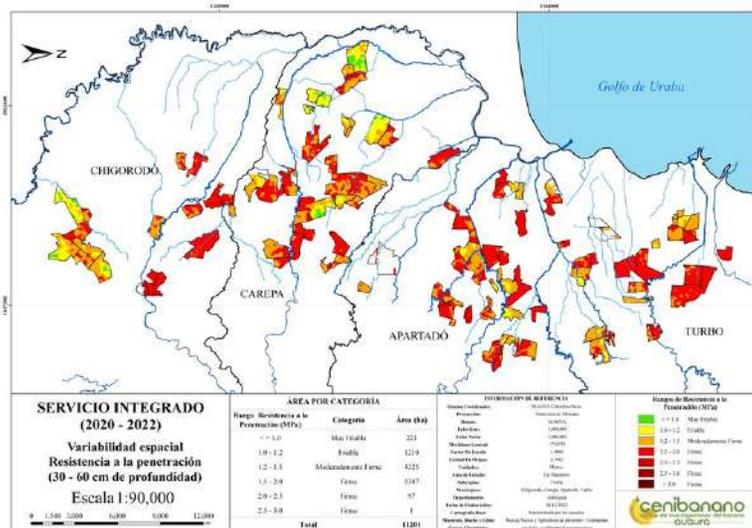
En el estrato superficial del suelo de las fincas evaluadas, se encontró que predominan los suelos Moderadamente firmes (36.9 %), condición en la que se presentan limitantes para el óptimo desarrollo del cultivo. En el 50 % del área muestreada se presentan suelos Muy friables y Friables, los cuales son aceptables para el crecimiento de las plantas.

Es por esta razón que se recomienda para este estrato la implementación de labores para la aireación del suelo, mediante el uso de herramientas manuales (Hércules),

máquinas mini retroexcavadoras, aplicación e incorporación de materia orgánica y compostaje, además de la siembra y manejo de coberturas. En la **Tabla 7** se presenta la distribución porcentual de resistencia a la penetración de 30-60 cm de profundidad y en la **Figura 4** el mapa de variabilidad espacial de resistencia a la penetración en el estrato de 30 a 60 cm de profundidad.

**Tabla 7.** Distribución porcentual de resistencia a la penetración de 30-60 cm de profundidad en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Urabá 2022.

Rango	Clasificación	%
≤ 1.0	Muy Friable	2,0
1.0 - 1.2	Friable	10,8
1.2 - 1.5	Moderadamente Firme	38,6
1.5 - 2.0	Firme	47,7
2.0 - 2.5	Firme	0,9
2.5 - 3.0	Firme	0,0
<b>Total</b>		<b>100,0</b>



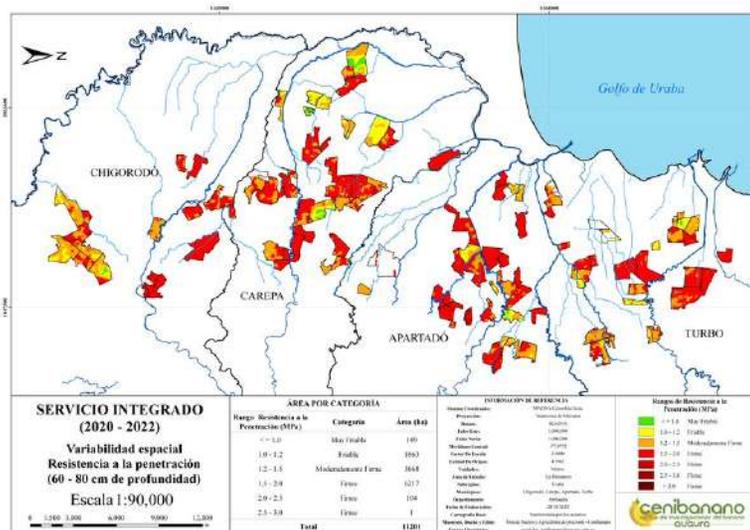
**Figura 4.** Mapa variabilidad espacial de resistencia a la penetración en el estrato de 30 a 60 cm de profundidad. año 2020 y 2022.

En contraste con el estrato superficial, la resistencia a la penetración de 30-60 cm en el 47.7 % del área evaluada fue Firme (1.5 - 2.0 MPa) y el 38.6 % son suelos moderadamente firmes (1.2 - 1.5 MPa). Estos valores presentan un nivel de porosidad reducido, limitaciones en el desarrollo radicular del cultivo, disminución de las tasas de crecimiento y la profundidad que pueden llegar a alcanzar afectando consecutivamente la productividad.

En la **Tabla 8** se presenta la distribución porcentual de resistencia a la penetración de 60-80 cm de profundidad y en la **Figura 5** el mapa de variabilidad espacial de resistencia a la penetración en el estrato de 60 a 80 cm de profundidad.

**Tabla 8.** Distribución porcentual de resistencia a la penetración de 30-60 cm de profundidad en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Urabá 2022.

Rango	Clasificación	%
≤ 1.0	Muy Friable	1,3
1.0 - 1.2	Friable	9,5
1.2 - 1.5	Moderadamente Firme	32,7
1.5 - 2.0	Firme	55,5
2.0 - 2.5	Firme	0,9
2.5 - 3.0	Firme	0,0
<b>Total</b>		<b>100</b>



**Figura 5.** Mapa de variabilidad espacial de resistencia a la penetración de 60-80 cm de profundidad. año 2020 y 2022.

De forma similar al estrato de 30 - 60 cm, la resistencia a la penetración en el estrato más profundo fue en la mayoría del área muestreada clasificada como Firme (1.5 - 2.0 MPa) abarcando un 55.5 %. Con base en lo anterior, es importante resaltar que la resistencia a la penetración tiende a aumentar con la profundidad del suelo, por lo que en estos estratos las raíces del cultivo de banano pueden presentar mayores dificultades para movilizarse y

desarrollarse, en consecuencia, disminuyen los valores de densidad de raíces (Vaquero, 2005).

Analizar el comportamiento de las variables evaluadas en el servicio integrado en conjunto con los manejos realizados y los datos de productividad y rendimiento de la finca, permiten tener un conocimiento integral del agroecosistema, de sus componentes e interacciones, lo que conlleva a tener bases sólidas para tomar adecuadas y oportunas decisiones agronómicas.

### 3.1.3.2. Servicio integrado de suelos Magdalena.

En 2022 para Magdalena se realizó el servicio a cuatro fincas con un total de 199 ha, en la caracterización se identificó dominancia de pH Ligeramente ácido con un 32.7% (**Tabla 9**), textura Franco Arenosa con 35% (**Tabla 10**), resistencia a la penetración en el estrato de 0 - 30 cm clasificada como Moderadamente firme (1.2 - 1.5 MPa) con 37.7%; el estrato intermedio de 30-60 cm con clasificación Firme (1.5 - 2.0 MPa) con un 54,8% y en el último estrato de 60-80 cm una clasificación Firme (2.0 - 2.5 MPa) con 39.5% del área (**Tabla II**).

**Tabla 9.** Distribución porcentual de pH en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Magdalena 2022.

Rango	Clasificación	% Área
<5	Extremadamente Ácido	0,2
5.0 - 5.5	Fuertemente Ácido	7,3
5.5 - 6.0	Moderadamente Ácido	23,5
6.0 - 6.5	Ligeramente Ácido	32,7
6.5 - 7.5	Neutro	27,1
>7.5	Alcalino	9,2
<b>Total</b>		<b>100,0</b>

**Tabla 10.** Distribución porcentual de textura en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Magdalena 2022.

Clasificación	% Área
F	31,6
FA	35,0
FAr	11,7
FArA	17,9

FL	Franco Limosa	0,3
AF	Arenosa Franca	2,1
A	Arenosa	0,4
Ar	Arcillosa	1,1
<b>Total</b>		<b>100,0</b>

**Tabla 11.** Distribución porcentual de resistencia a la penetración de tres estratos en área de Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano en Magdalena 2022.

Rango	Clasificación	% Área		
		0-30 cm	30 - 60	60 - 80
≤ 1.0	Muy Friable	10,6	4,0	2,8
1.0 - 1.2	Friable	25,8	7,1	4,6
1.2 - 1.5	Moderadamente	37,7	13,8	9,6
1.5 - 2.0	Firme	25,0	54,8	31,2
2.0 - 2.5	Firme	0,8	17,7	39,5
2.5 - 3.0	Firme		2,3	8,8
> 3.0	Firme		0,2	3,5
<b>Total</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Se identifica que, en Magdalena, existen predios con resistencia a la penetración que superan los 3.0 MPa, siendo condiciones totalmente limitantes para el desarrollo radicular del cultivo (Jaramillo, 2014), estos valores tan críticos se deben a la posible acumulación de sales en el suelo, producto de la calidad del agua de riego de las fincas de la zona. Adicionalmente, se hallaron barreras impermeables en donde el equipo (penetrologger) no pudo penetrar, dando indicios de altos niveles de compactación.

**3.1.3.3 Seguimiento a productividad Urabá.** Con miras a incrementar la productividad del sector bananero en Colombia, desde el área de suelos y agricultura de precisión se está realizando seguimiento y acompañamiento al productor, evaluando la implementación de prácticas después de las recomendaciones técnicas del servicio integrado de suelo, esto con el fin de determinar el impacto de las recomendaciones en las variables del suelo, el efecto en la productividad del cultivo y apoyar desde un concepto técnico en la toma de decisiones.

En la **Tabla 12** se muestra la evolución de la productividad en 70 fincas, identificando a su vez que el 76% presentaron una respuesta positiva en la producción. Solo el 24% de las

fincas disminuyó productividad debido a la falta de inversión en la intervención para mejorar propiedades fisicoquímicas del suelo.

**Tabla 12.** Seguimiento a productividad en Fincas que implementaron el servicio integrado de Cenibanano 2019-2021.

Productividad	Fincas	Área (ha)	%	Cajas/ha año			Cajas
				2019	2021	Diferencia	
Subió	52	5.899	76%	1.909	2.195	286	1.687.114
Se mantiene	1	28	0,40 %	1.985	1.984	-1	
Bajó	17	1.862	24%	2.079	1.806	-273	508.326
TOTAL	70	7.790	100%				

De la **Tabla 12** se puede observar que las intervenciones en propiedades fisicoquímicas del suelo teniendo en cuenta la variabilidad espacial y las recomendaciones del equipo técnico de Cenibanano, generan un impacto positivo en la producción.

**3.1.3.4 Plan piloto Servicio integrado de suelos Magdalena.** Se registró ingreso de 67 muestras

edáficas y 65 foliares, ampliando el portafolio de servicios al productor, disminuyendo el costo final del análisis de suelos. En este caso, productores que anteriormente enviaban 1kg/muestra, actualmente envían con el convenio un total de 200 a 500 g dependiendo el laboratorio (**Figura 6**), lo que disminuye el costo en el envío de muestras por peso.



**Figura 6.** Comparativo de muestras enviadas de forma tradicional vs envío con el proyecto piloto del Laboratorio Cenibanano 2022.

#### 4. Conclusiones

- En las variables medidas por el equipo técnico de Cenibanano se evidencia amplia variabilidad en texturas y pH, siendo dominante para ambas zonas la textura Franco. En pH, además de estar influenciado por condiciones climáticas, también lo está por el manejo agronómico, especialmente en el uso de enmiendas y fertilizantes nitrogenados. En la resistencia a la penetración se identificó una relación directamente proporcional con la profundidad del suelo debido a la movilidad iluvial de materiales finos. El aumento en resistencia del estrato superficial se da debido al tránsito de personal, maquinaria al momento de realizar labores típicas del cultivo y las condiciones de humedad del suelo en la zona, situaciones que, en conjunto, generan la disminución de porosidad del suelo hasta estratos más profundos.
- En el seguimiento a fincas que solicitaron el servicio, el aumento de productividades se deben a implementación de actividades enfocadas en mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo con base en los mapas de variabilidad espacial, dichas prácticas tales como: uso de enmiendas, incorporación de materia orgánica, hércules,

subsulado a diferentes profundidades, son de suma importancia para la obtención de resultados positivos.

- En el estrato superficial además de descompactar el suelo, se recomienda el uso de coberturas nobles para evitar sellamiento y pérdida de material fino superficial por escorrentía.
- El proyecto piloto de convenio entre laboratorio Cenibanano y otros laboratorios, son una ampliación del portafolio de servicios al productor que generan beneficios al disminuir el costo final de análisis por muestra procesada.

## 5. Referencias bibliográficas

Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO); Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). Informe Anual (2021). Urabá – Colombia.

Colombi, T., & Keller, T. (2019). Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction—A plant eco-physiological perspective. *Soil and Tillage Research*, 191, 156–161

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Subdirección de agrología.

Rambauth, G. (2021) “Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola”, *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–38.

Li, Z., Jiao, Y., Yin, J., Li, D., Wang, B., Zhang, K., ... & Liu, Y. (2021). Productivity and quality of banana in response to chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer: Insight into soil properties and microbial ecology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107659.

Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.

Jaramillo, D. F. J. (2014). *El suelo: origen, propiedades, espacialidad*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias.

Osorio, W. (2018). Manejo de nutrientes en suelos del trópico (3rd ed.). L. Vieco.

Pérez, D. J., Bolaños-Alomia, F. A., & da Silva, A. M. (2022). Variables que influyen en la aplicación de la

agricultura de precisión en Colombia: revisión de estudios. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1).

Rosas, G., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541

Sepúlveda, J. Polo, B. & Blanco, D. (2022), "Perfil de las investigaciones en producción sostenible con enfoque en los procesos de la industria y agricultura", INGE CUC, vol. 18, no. 1, pp. 195-222, 2022.

Vaquero, R. (2005). Soil physical properties and banana root growth. In *Banana root system: towards a better understanding for its productive management. Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica on 3-5 November 2003* (pp. 125-131). International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Villazón, J. A., Martín, G., Cobo, Y., Núñez, R. C., & García, R. A. (2022). Variabilidad espacial de la resistencia a la penetración en un haplustert crómico bajo pasto natural. *Idesia (Arica)*, 40(1), 7-14.

Zhang, J., Bei, S., Li, B., Zhang, J., Christie, P., & Li, X. (2019). Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances

banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 136, 67-79.

### 3.2. MODELO PARA CONVERSIÓN DE VALORES DE pH EVALUADOS CON DOS MATRICES DE EXTRACCIÓN EN UN SUELO DE LA ZONA DE URABÁ

**Autores:** Laura Delgado Bejarano, Miguel Ángel Bernal Monterrosa, Darío Antonio Castañeda y Sebastian Zapata Henao

#### Resumen

Aproximadamente el 85% de los suelos en Colombia son ácidos, un indicador relacionado con la acidez del suelo es la medición del potencial de hidrogeniones (pH), la metodología más común para determinar pH es en proporción 1:1 suelo: solución de agua destilada, alcanzando a medir solo la acidez intercambiable despreciando los protones fijados al complejo de cambio que no están disociados pero que pueden hacerlo con la tendencia a la acidificación de un suelo debido a

múltiples procesos naturales y antrópicos, lo que se denomina acidez potencial. El objetivo del estudio fue proponer un modelo para conversión de pH asociado a acidez intercambiable a un pH asociado a acidez potencial en un suelo bananero de la zona de Urabá. Para ello se hicieron 110 mediciones de forma potenciométrica usando dos matrices de extracción (agua destilada y KCl [1M]) en dos proporciones de disolución (suelo: solución), 1:1 y 1:2. Para el procesamiento de información se usó el software Rstudio 4.1.2., con el que se obtuvo un ANOVA y un análisis post - hoc de Tukey para identificar las diferencias significativas en comparación múltiple de medias. Se propusieron los modelos de regresión, dispersión de datos y mejor ajuste. El mejor ajuste se observa mediante una regresión polinómica de tercer grado para las mediciones con el radio de 1:2 con un valor de  $R^2 = 83.81\%$  identificando que es posible la conversión de pH en agua destilada a pH en KCl permitiendo estimar acidez potencial de los suelos.

**Palabras clave:** Acidez del suelo, Fertilización, Salud del suelo, Agricultura de precisión, Enmiendas.

### 3.2.1. Introducción

Los suelos de las zonas tropicales están principalmente asociados a niveles de acidez fuertes, esto es ocasionado por procesos antrópicos como la agricultura, urbanización, industrialización, entre otros. De igual forma, los procesos naturales como la pedogénesis en donde la meteorización física, química y biológica ocasionan un aumento de cationes como el  $H^+$  y el  $Al^{3+}$  causan la acidificación del suelo, sin embargo, estos últimos son procesos extremadamente lentos (Osorio, 2018; Zapata, 2022; Zhang et al., 2021). En la zona de Urabá, las altas precipitaciones generan tendencia a tener suelos ácidos debido a que se generan lavado de bases, además de los procesos propios del manejo agronómico del cultivo, la absorción de cationes por parte de la planta e hidrólisis por la presencia de  $Fe^{3+}$  y  $Al^{3+}$  (Agegnehu et al., 2019; Cenibanano, 2022; Kassa et al., 2020; Li et al., 2019; Wei et al., 2020). En Colombia, aproximadamente entre el 80-85% de los tienen una tendencia acida (Osorio, 2018) y en un análisis de aproximadamente 11.200 ha en la zona de Urabá realizado por Cenibanano se determinó que aproximadamente el 51.6% del área evaluada presenta condiciones entre extremadamente ácidas y fuertemente ácidas. En estas categorías se presentan severas toxicidades por  $Al^{3+}$ , deficiencias de nutrientes como Mo, S, P y algunas bases (Osorio, 2018), por lo que la acidez del suelo cobra una alta importancia en el análisis de suelos. Esta evaluación tradicionalmente se mide a través del pH

en una suspensión de suelo y agua destilada en diferentes grados de disolución (suelo: solución), los cuales según la NTC 5264 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas [ICONTEC], 2018) puede oscilar entre 1:1 y 1:5. Sin embargo, debido a las variaciones estacionales que se presentan en el suelo, que llevan a variaciones de los valores de pH se han establecido diferentes matrices de extracción para la evaluación de esta propiedad, algunas de estas son KCl (1M) y  $\text{CaCl}_2$  (0.01M) buscando obtener medidas más estables (Delgado et al., 2019; ISO, 2021; Osman, 2018; USDA, 2018) . A causa del uso de diferentes metodología en los diferentes países y laboratorios, se pueden generar comparaciones de valores de pH de forma errónea, ya que ambas metodologías representan conceptos diferentes de la acidez del suelo, esto se observa debido a que las matrices de extracción con soluciones electrolíticas pueden generar un sustitución de protones de  $\text{H}^+$  que estén fuertemente ligados a los coloides del suelo, por lo que se observan valores de pH más bajos que las mediciones realizadas con agua destilada (Cunha et al., 2019; De Almeida et al., 2019). Es por esto, que a nivel mundial se han venido estableciendo modelos para convertir los valores de pH evaluados con diferentes matrices de extracción (Khadka et al., 2021; Kome et al., 2018; Nel et al., 2022). El objetivo del estudio fue proponer un modelo para relacionar los pH de suelo evaluados con

diferentes matrices de extracción en un suelo bananero de la zona de Urabá.

### **3.2.2. Materiales y métodos**

**3.2.2.1. Muestreo.** Durante la semana 13 del 2022 se realizó un muestreo de suelos de 110 puntos distribuidos a lo largo de una finca bananera de la zona de Urabá. Las muestras fueron obtenidas a 50 cm del hijo de sucesión de la planta de banano, a una profundidad de 0-30 cm. Estas se procesaron en el invernadero de Cenibanano siguiendo la normatividad NTC -ISO 11464 (ICONTEC, 1995).

**3.2.2.2. Evaluaciones en laboratorio.** Las mediciones de pH se realizaron de forma potenciométrica con un potenciómetro para suelos profesional Groline HI98168, usando dos matrices de extracción (agua destilada y KCl [1M]) en dos

**3.2.2.3. Análisis estadístico.** Para el análisis estadístico se usó el software R 4.1.2 (R Core Team, 2021), con este se realizó un análisis descriptivo y se calculó el coeficiente de variación (CV) de cada una de las metodologías, esto buscando evaluar la reproducibilidad de las mismas. Se realizó un ANOVA y un análisis post - hoc de Tukey para identificar las diferencias significativas y se determinó la correlación de Pearson. De esta forma, se propusieron los modelos de regresión con base en los valores del

coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático medio (RMSE) para determinar la dispersión de los datos y el mejor ajuste.

### 3.2.3. Resultados y discusión

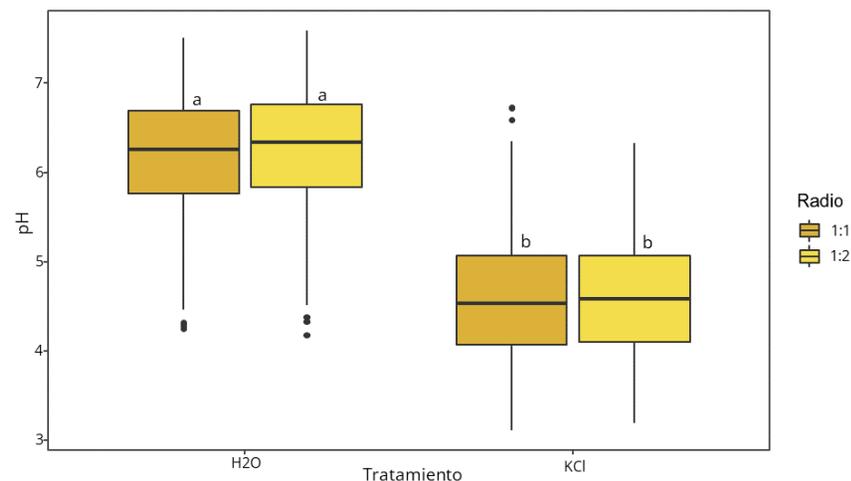
**3.2.3.1. Análisis descriptivo.** En la **Tabla 1** se ilustra que mediante el análisis descriptivo de los datos recopilados los valores de pH medidos con KCl presentan valores aproximadamente de 1.74 una unidad menor que los medidos en H<sub>2</sub>O, esto se da debido a que las soluciones electrolíticas sustituyen protones H<sup>+</sup> fuertemente ligados a los coloides del suelo (Cunha et al., 2019; Khadka et al., 2021). Los valores de pH KCl en 1:1 presentan coeficientes de variación bajos (15 % - 30%), mientras que el resto de tratamientos se clasifican como muy bajos (0% - 15%) según la clasificación de Larreal et al., (2009), por lo que se puede mencionar que existe una buena reproducibilidad y los métodos son de alta confianza, tal como lo encontró Nel et al., (2022) en su estudio.

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de las mediciones de pH con diferentes metodologías

Parámetro	pH H <sub>2</sub> O	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl 1:1	pH KCl 1:2
Min	4.25	4.18	3.11	3.19
Max	7.51	7.59	6.73	6.33
Mediana	6.26	6.34	4.54	4.58
Desv.	0.68	0.69	0.71	0.68
CV%	11.09	10.92	15.68	14.80

**3.2.3.2. Análisis estadístico.** Se encontró que existen diferencias significativas entre las metodologías usadas ( $p < 0.05$ ), resultados que coinciden con lo encontrado por Khadka et al., (2021); Nel et al., (2022) y Neves et al., (2021), por lo que se entiende que ambas metodologías relacionan dos conceptos de la acidez del suelo, el pH en H<sub>2</sub>O hace referencia a la acidez activa del suelo, mientras que el pH evaluado en KCl tiene en cuenta la reserva de acidez existente del suelo, por lo que se denomina acidez potencial (Kassa et al., 2020; Khadka et al., 2021). Con respecto a los radios de disolución, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las matrices de extracción, resultados similares a los encontrados en sus investigaciones por Nel et al., (2022). En la **Figura 1** se

observan los resultados de la distribución de las mediciones.



**Figura 1.** Boxplots de la distribución de las mediciones en las matrices.

**3.2.3.3. Análisis de correlación.** Existe evidencia altamente significativa ( $p < 0.001$ ) para determinar que existe una relación entre las metodologías de evaluación (**Figura 2**), estas pueden clasificarse como fuertes y muy fuertes (Schober et al., 2018). En su investigación en Nepal, Khadka et al., (2021) encontró resultados similares.



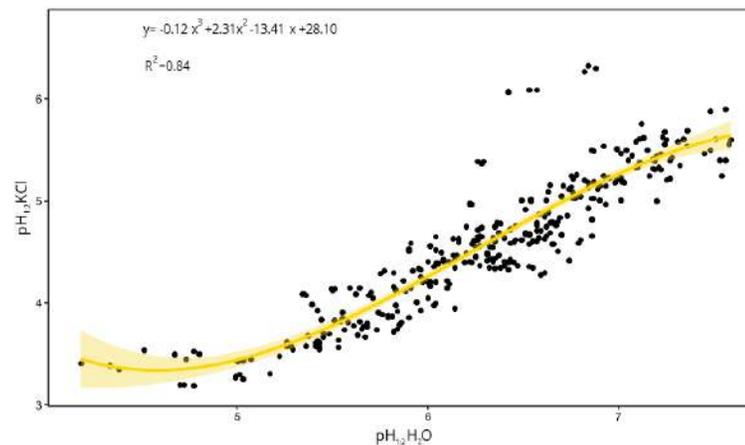
**Figura 2.** Matriz de correlación de Pearson para mediciones de pH.

**3.2.3.4. Modelos de regresión.** Se crearon diferentes modelos de regresión (**Tabla 2**) para estimar los valores de pH en KCl con base en los valores de pH en H<sub>2</sub>O para ambos ratios de disolución ( $p < 2.2e^{-16}$ ).

Modelo	Radio	Ecuación	R <sup>2</sup> (%)	RMSE
Lineal	1:1	$pHKCl=0.92 \cdot pHH_2O-1.12$ $KCl=0.92 \cdot pHH_2O-1.12$	77.73	0.34
	1:2	$pHKCl=0.89 \cdot pHH_2O-1.05$ $KCl=0.89 \cdot pHH_2O-1.05$	82.35	0.28
Cuadrático	1:1	$pHKCl=0.07 \cdot pHH_2O^2+0.09$ $\cdot pHH_2O+1.34$ $pHKCl=0.07 \cdot p$ $HH_2O^2+0.09 \cdot pHH_2O+1.34$	78.07	0.33
	1:2	$pHKCl=0.08 \cdot pHH_2O^2-0.10 \cdot$ $pHH_2O+1.96$ $pHKCl=0.08 \cdot p$ $HH_2O^2-0.10 \cdot pHH_2O+1.96$	82.88	0.28
Cubico	1:1	$pHKCl=-0.14 \cdot pHH_2O^3+2.52$ $\cdot pHH_2O^2-14.26 \cdot pHH_2O+28.$ $96$ $pHKCl=-0.14 \cdot pHH_2O^3+2.$ $52 \cdot pHH_2O^2-14.26 \cdot pHH_2O+$ $28.96$	79.09	0.33
	1:2	$pHKCl=-0.12 \cdot pHH_2O^3+2.31 \cdot$ $pHH_2O^2-13.41 \cdot pHH_2O+28.1$ $0$ $pHKCl=-0.12 \cdot pHH_2O^3+2.31$ $\cdot pHH_2O^2-13.41 \cdot pHH_2O+28.1$ $0$	83.91	0.27

**Tabla 2.** Modelos para la predicción de valores de pH en KCl

El mejor ajuste se observa mediante una regresión polinómica de tercer grado para las mediciones con el radio de 1:2 con un valor de R<sup>2</sup> =83.81% y RMSE=0.27, lo que indica una menor dispersión de los datos como se ilustra en la **Figura 3**, esto coincide con lo encontrado por Khadka et al., (2021) que determina que los modelos cuadráticos o cúbicos para la estimación de pH de KCl presentan un buen ajuste. Además, se observa que la precisión del modelo aumenta ligeramente con el incremento del radio de solución, como lo presenta Kome et al., (2018).



**Figura 3.** Regresión polinómica de tercer grado para la conversión de valores de pH en KCl.

### 3.2.4. Conclusión

- Se propone un modelo de conversión de pH en agua destilada a pH en KCl permitiendo estimar acidez potencial de los suelos para su respectiva corrección.
- El KCl como solución para medición de pH presenta mayor capacidad de extracción de protones fijados al complejo de cambio debido a su carácter monovalente.
- Es necesario continuar con investigaciones relacionadas al manejo de acidez potencial en la zona de Urabá, su corrección y la respuesta del cultivo.

### 3.2.5. Referencias bibliográficas

Agegnehu, G., Yirga, C., & Erkossa, T. (2019). Soil Acidity Management. In *Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR)* (Issue February). Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR).

Centro de investigación del banano. (2022). Servicio integrado de suelos. In *Informe Anual 2021* (pp. 164–179). Augura.

Cunha, G. O. de M., Almeida, J. A. de, Morais, F. A. de, & Machado, M. R. (2019). Métodos de extração, formas e

toxicidade de alumínio na soja cultivada em solos com elevados teores de Al-KCl. *Científica*, 47(2), 239.

De Almeida, J. A., Da Silva, T. P., De Mello Cunha, G. O., Spido, D. R., & Dos Santos Silva, F. T. (2019). Chemical, physical and mineralogical attributes of soils derived from sedimentary rocks of the Planalto of Lages-SC, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(3).

Delgado, J., Valdez, J., & Inicio, F. (2019). Influencia de la dilución y concentración de los electrolitos en la medición del pH en suelos ácidos. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2), 13–21.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1995). *Gestión ambiental. Calidad del suelo. Pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos*. (NTC ISO 11464) (No. 11464; NTC).

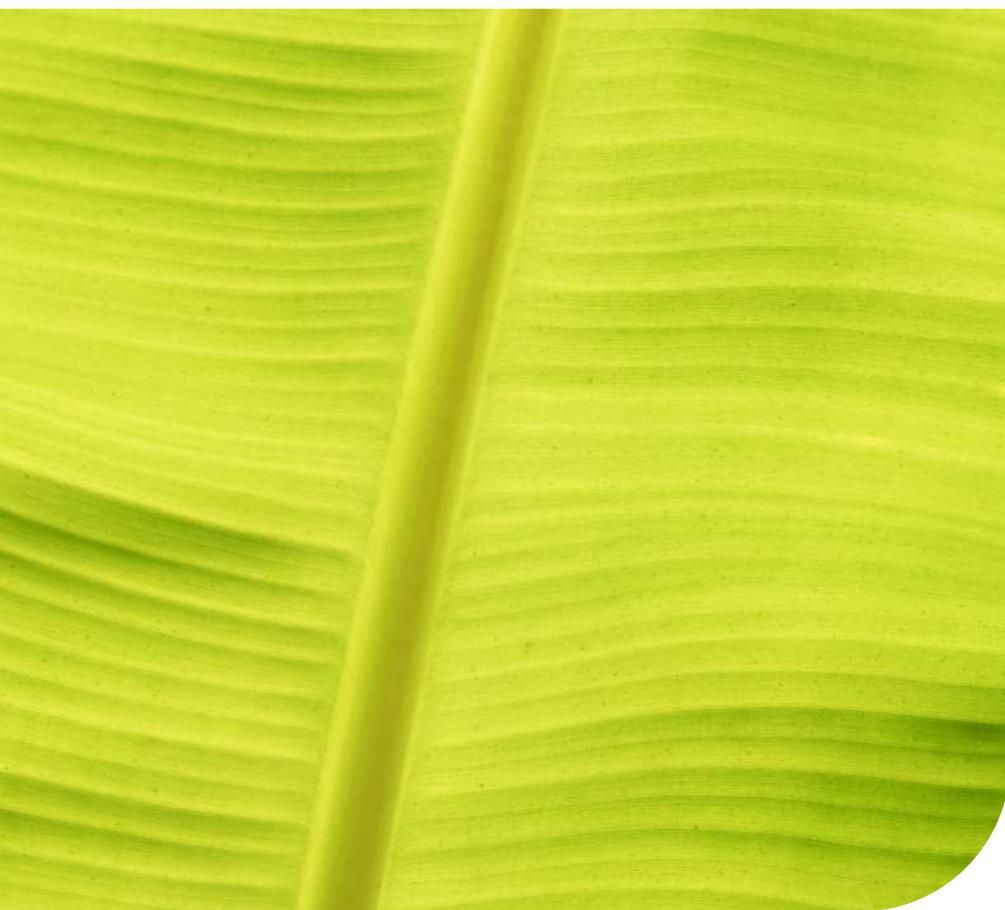
Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2018). *Calidad de suelo. Determinación del pH - NTC 5264* (No. 5264).

ISO. (2021). *Soil, treated biowaste and sludge- Determination of pH - ISO10390:2021* (No. 10390).

Kassa, M., Kebede, F., & Haile, W. (2020). Fertility Status of Acid Soils under Different Land Use Types in Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020.

- Khadka, D., Amgain, R., Joshi, S., & Shrestha, S. (2021). Evaluation of distilled water pH measurement with electrolyte methods in cultivated soils of Nepal. *Agrochemistry and Soil Science*, 92, 52–61.
- Kome, G. K., Enang, R. K., Yerima, B. P. K., & Lontsi, M. G. R. (2018). Models relating soil pH measurements in H<sub>2</sub>O, KCl and CaCl<sub>2</sub> for volcanic ash soils of Cameroon. *Geoderma Regional*, 14, e00185.
- Larreal, M., Chirinos, I., Jiménez, L., Polo, V., Peters, W., & Noguera, N. (2009). Variabilidad de algunas de las propiedades físicas de un suelo para la definición de la serie “Los Cortijos”, sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 925–936.
- Li, Q., Li, S., Xiao, Y., Zhao, B., Wang, C., Li, B., Gao, X., Li, Y., Bai, G., Wang, Y., & Yuan, D. (2019). Soil acidification and its influencing factors in the purple hilly area of southwest China from 1981 to 2012. *Catena*, 175(March 2018), 278–285.
- Nel, T., Hardie, A. G., & Clarke, C. E. (2022). Simple and Multivariate Linear Regression Models for pH Conversion Between Measurement Techniques. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 00(00), 1–12.
- Neves, A. C., Da Costa, P., De Oliveira E Silva, C. A., Pereira, F. R., & Mol, M. P. G. (2021). Analytical methods comparison for pH determination of composting process from green wastes. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(1), 133–139.
- Osman, K. T. (2018). Acid Soils and Acid Sulfate Soils. In *Management of Soil Problems* (pp. 299–332). Springer International Publishing.
- Osorio, W. (2018). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico* (3rd ed.). L. Vieco.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). *Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation*. XXX(Xxx), 1–6.
- USDA. (2018). *Soil Survey Manual, USDA Handbook 18* (Issue 18).
- Wei, H., Liu, Y., Xiang, H., Zhang, J., Li, S., & Yang, J. (2020). Soil pH responses to simulated acid rain leaching in three agricultural soils. *Sustainability*, 12(280), 1–12.
- Zapata, R. (2022). *Los procesos químicos del suelo* (Centro editorial de la Facultad de Ciencias (ed.); 1st ed.). Universidad Nacional de Colombia.

Zhang, Q., Wang, Q., Zhu, J., Xu, L., Li, M., Rengel, Z., Xiao, J., Hobbie, E. A., Piao, S., Luo, W., & He, N. (2021). Higher soil acidification risk in southeastern Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 755.



### 3.3. EFECTO DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN LOS PROCESOS EROSIVOS DE LA RED DE DRENAJE DEL CULTIVO DE BANANO

**Autores:** *Liyey Mayerli Vahos Arias, Laura Delgado Bejarano, Miguel Ángel Bernal Monterrosa, Darío Antonio Castañeda, Raúl Adolfo Velásquez Vélez y Sebastian Zapata Henao*

#### Resumen

La erosión es uno de los procesos más relevantes de degradación en Colombia, esta variable es favorecida por el sellamiento de suelos, desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su recuperación, restauración y rehabilitación conllevando a la pérdida de cantidades considerables de suelo, fertilidad y capacidad productiva. El objetivo de esta investigación fue determinar el impacto que generan las coberturas vegetales en las tasas erosivas en los sistemas de drenajes de una finca bananera. Para ello, se evaluó durante los meses de septiembre a diciembre del 2022 tratamientos con cobertura vegetal (TCV); coberturas con manejo convencional (TMC) y suelo desnudo (TSD), a

cada tratamiento se le midió el efecto potencial que tiene la cobertura en la reducción de la energía con la que impactan las gotas en el suelo (Factor C). El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante el software R 4.1.2., se realizó un ANOVA y un análisis post-hoc de Tukey y Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%. Se identificaron diferencias entre tratamientos donde TSD presentó pérdidas de suelo superior con respecto a TCV y TMC, resaltando la importancia del uso de coberturas en la variable analizada.

**Palabras clave:** Salud del suelo, Erosión, Degradación de suelos, Protección de canales.

### 3.3.1. Introducción

El banano es un cultivo que tiene una alta sensibilidad al exceso hídrico (Mohd Amnan et al., 2021; Teoh et al., 2022). La zona de Urabá presenta precipitaciones entre 1600 mm y 3600 mm, además de pendientes que oscilan entre 0 y 3% (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2007), lo que lo hace una zona propensa a las inundaciones, por lo que los sistemas de drenaje cobran especial sentido. Se entiende por sistema de drenaje a una red organizada de

canales de captación de aguas superficiales y subterráneas, evitando que estas se acerquen a las raíces del cultivo (Salazar, 2010), ya que las fluctuaciones de los niveles freáticos en la zona de raíces pueden ocasionar procesos de hipoxia en raíces, ocasionando pudrición de las mismas (Pineda et al., 2020). Los canales de una finca bananera pueden ocupar entre el 8% y el 10% del área, por lo que es sumamente importante tener un plan de mantenimiento de los mismos, para que estos estén operativos, una finca con un porcentaje de área mayor en drenajes se categoriza como una finca sobre drenada (Salazar, 2010). Algunos de los problemas que se suelen presentar en los canales son los daños en la estructura de los mismos o la sedimentación. La inestabilidad de los taludes es tal vez el principal problema, debido a que no se respeta el área de retiro de la plantación, además de la erosión hídrica, la cual consiste en el desprendimiento y transporte de partículas de suelo debido a procesos de escorrentía (Batista Dos Santos et al., 2019). Estas situaciones suelen prevenirse mediante la implementación de coberturas vegetales nobles en los taludes, generando un efecto de barrera entre el impacto de la gota de lluvia y las paredes del canal, además de mejorar algunas propiedades físicas del suelo como la estructura, cohesión, porosidad e infiltración (Bai & Cui, 2021; Durango et al., 2020; Máquina et al., 2022; Salazar, 2010; Xu et al., 2019). El objetivo de la investigación fue

determinar el impacto que generan las coberturas vegetales en las tasas erosivas en los sistemas de drenajes de una finca bananera.

### 3.3.2. Materiales y métodos

**3.3.2.1. Zona de estudio.** El estudio se realizó en el Campo Experimental Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado en el municipio de Carepa, Antioquia. El promedio de la precipitación anual (2019-2021) es de 3.084 mm y está ubicado en la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) (Jaramillo, 2014). La investigación se realizó durante un periodo de tres meses comprendido entre septiembre y diciembre del 2022.

**3.3.2.2. Diseño experimental.** Se evaluó la erosión experimental de los taludes de canales terciarios bajo un modelo completamente al azar con tres tratamientos de manejo de coberturas: a. Tratamiento con cobertura vegetal (TCV); b. Tratamiento con coberturas y manejo convencional (TMC), este consta de un mantenimiento de poda de las coberturas; c. Tratamiento con suelo desnudo (TSD), tres repeticiones y tres pseudo-replicas. A lo largo de los taludes de los canales se instalaron las trampas de sedimentación con colectores de 20 L (**Figura 1**).



**Figura 1.** Trampas de sedimentación establecidas en un cultivo de banano en Urabá, 2022.

Semanalmente se cuantificó el volumen total captado por los colectores y se obtuvo una submuestra de 50 ml, la cual se llevó al horno a 60°C hasta peso constate, luego se registraron los pesos, mediante la **Ecuación 1** se obtuvo el valor del suelo total erosionado.

$$m_T = \frac{V_T * m_s}{V_s} \quad (1)$$

Donde:

$V_T$ : Volumen total acumulado en los colectores

$V_s$ : Volumen de submuestra (50ml)

$m_s$ : Masa suelo seco de la submuestra

$m_T$ : Masa total de suelo erosionado

**3.3.2.3. Factor C.** El factor de cobertura vegetal (Factor C) es un parámetro que se considera dentro de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en donde se evalúa el efecto potencial que tiene la cobertura en la reducción de la energía con la que impactan las gotas en el suelo, este se calcula mediante la **Ecuación 2**.

$$C = e^{\left(-2 * \frac{MPRI}{(1-MPRI)}\right)} \quad (2)$$

El MPRI es el índice de reflectancia fotoquímica modificado, el cual se calcula mediante las bandas verdes (G) y rojo (R) de fotografías RGB tomadas a las coberturas presentes en las trampas de sedimentación (**Ecuación 3**). Barbosa et al., (2019) y Pacheco & Montilla, (2021) mencionan que este es un índice adecuado para la

diferenciación de la vegetación del suelo mediante de imágenes RGB.

$$MPRI = \frac{G - R}{G + R} \quad (3)$$

**3.3.2.4. Análisis estadístico.** El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante el software R 4.1.2 (R Core Team, 2021), mediante este se realizó un análisis de varianza de los datos (ANOVA), se realizaron transformaciones para cumplir con el principio de normalidad, se verificó la homocedasticidad mediante un test de Bartlett y Levene, posteriormente se realizó un análisis de Welch para las variables normales y un análisis de Yuen en el caso no paramétrico. Finalmente, para evaluar las diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% se realizó un análisis post-hoc de Tukey y Kruskal-Wallis (de Mendiburu, 2021).

### 3.3.3. Resultados y discusión

Mediante un análisis descriptivo de los datos evaluados (**Tabla 1**) se observa que los tratamientos con suelo desnudo (TSD) presentan un valor promedio de erosión más alto en comparación con el TCV y el TMC respectivamente, esta situación se da debido a que el

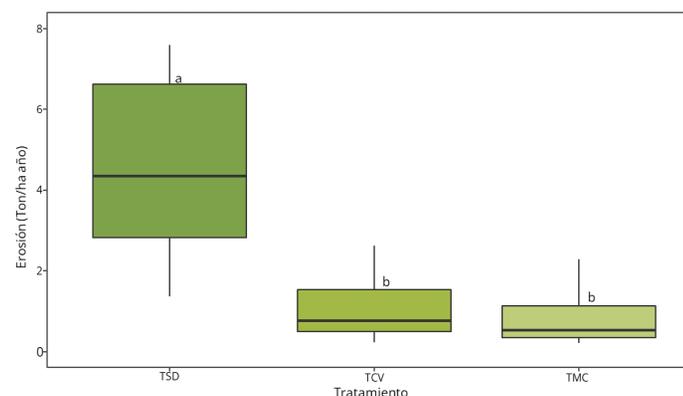
suelo no tiene protección al impacto de la gota de lluvia y al agua de escorrentía que arrastra partículas, por lo que las tasas erosivas suelen ser mayores, tal como lo presentan Chen et al., (2019); Huerta-Olague et al., (2018) en sus investigaciones, donde el uso de coberturas disminuye exponencialmente las tasas erosivas con la implementación de coberturas como protección del suelo.

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de la erosión experimental en una finca bananera de Urabá, 2022.

Tratamiento	Min	Media	Máx	Desviación estándar
TSD	1.37	8.20	55.66	10.20
TCV	0.23	2.37	14.08	3.60
TMC	0.21	1.09	6.39	1.36

Con base en lo anterior, se observa que existen diferencias significativas entre el uso de coberturas y el suelo desnudo en la reducción de la erosión ( $F_{Welch} (2,55.532)$ ,  $F=52.067$ ,  $p=1.839e^{-13}$ , **Figura 2**). Las coberturas muestran una disminución considerable en las tasas erosivas, esto debido a que presentan un efecto de protección contra las gotas de lluvia que erosionan el suelo y además funcionan como una barrera de protección para el lavado

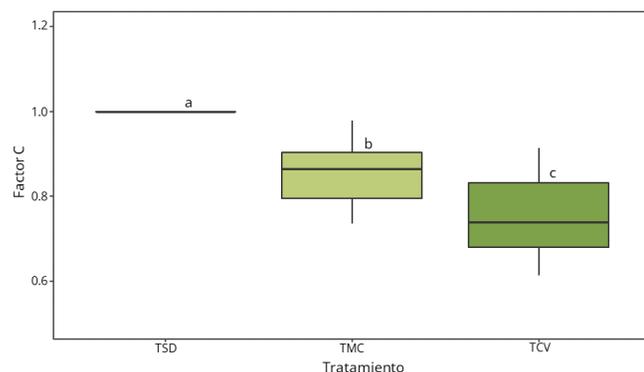
de partículas por escorrentía (Bai & Cui, 2021; Batista Dos Santos et al., 2019; Dos Santos et al., 2017). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tipos de manejo de cobertura, esto se puede dar debido al tipo de coberturas presente en los canales del estudio, en los cuales predominan la vegetación de porte bajo como menciona Salazar, (2010), por lo que la diferencia con el manejo no se considera significativa.



**Figura 2.** Distribución de los datos de erosión experimental distribuido por tratamiento. Letras diferentes denotan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El factor C funciona como el potencial de protección que tiene cierto tipo de cobertura para disminuir las tasas erosivas, en este caso en los canales de drenaje. Durante

el experimento se encontró que los tratamientos presentan diferencias significativas (FWelch (2,52.067),  $p=1.839e^{-13}$ , **Figura 3**).



**Figura 3.** Boxplot Factor C por tratamiento. Letras diferentes denotan diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

Durante la evaluación se observa que el tratamiento TCV presenta menores valores del factor C, lo que implica que este tratamiento tiene un potencial de protección a la erosión mayor, esto se puede dar debido al tipo de coberturas presentes en estos tratamientos y su densidad de siembra. Ya que el tipo de cobertura influye en la capacidad de disminuir la erosión debido a las diferencias en su morfología y distribución en el suelo, tales como tipo de hojas, raíces y densidad de siembra o presencia, Huerta-Olague et al., (2018) menciona en su investigación que la cobertura del suelo con maíz presenta una mejor

protección que la soya o el algodón y que esto se relaciona con la estructura de la planta, además resalta que los cultivos con mayor densidad de siembra presentan una mejor protección contra los agentes erosivos del suelo. Por otro lado, el TSD presenta un valor de uno para todas las evaluaciones, lo que indica que no existe ningún tipo de protección al impacto de las gotas y el arrastre de partículas por escorrentía, tal como lo menciona Chen et al., (2019).

### 3.3.4. Conclusión

- En la zona analizada, el uso de coberturas mitiga las tasas erosivas debido a que favorecen la agregación del suelo, disminuye el impacto de gotas de lluvia y la pérdida de partículas por escorrentía.
- La especie dominante en la cobertura influye en la susceptibilidad a erosión debido al porte y profundización radical. Es necesario continuar con las evaluaciones de otras especies.

### 3.3.5. Referencias bibliográficas

Bai, Y., & Cui, H. (2021). An improved vegetation cover and management factor for RUSLE model in prediction of

- soil erosion. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21132–21144.
- Barbosa, B. D. S., Ferraz, G. A. S., Gonçalves, L. M., Marin, D. B., Maciel, D. T., Ferraz, P. F. P., & Rossi, G. (2019). RGB vegetation indices applied to grass monitoring: A qualitative analysis. *Agronomy Research*, 17(2), 349–357.
- Batista Dos Santos, R., Quintão De Almeida, A., & Almeida, W. S. (2019). Soil loss estimates for different vegetation cover scenarios in the piauitinga-se river basin | Estimativas de Perdas de Solo para Diferentes Cenários de Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga-SE. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 42(1), 672–681.
- Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Wang, D., Wang, L., & Tang, C. (2019). Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. *Ecological Engineering*, 132(November 2018), 109–114.
- de Mendiburu, F. (2021). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*.
- dos Santos, J., de Andrade, E., de Queiroz Palácio, H., de Araújo Neto, J., & Teotonio Silva, W. (2017). Atenuação da erosão hídrica pela vegetação no semiárido brasileiro. *III Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais Do Semiárido*, June.
- Durango, J. C., Mercado, T., & Feria, J. (2020). Efecto del manto freático somero en el cultivo de Banano (Musa AAA) en la zona de Urabá, Colombia. *Revista Espacios*, 90–98.
- Huerta-Olague, J. de J., Mota, J. L. O., Gutiérrez, R. D. G., Berber, J. D. R., Menes, M. R. M., García, O. A. B., López, J. L. O., & Villa, O. R. M. (2018). Effect of plant cover of four crops on soil erosion. *Idesia*, 36(2), 153–162.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). *Estudio Semidetallado de Seulos de las Áreas potencialmente agrícolas. Urabá, Departamento de Antioquia*.
- Jaramillo, D. F. (2014). *El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad* (2nd ed.). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Máquina, D. A., Ramalho, A. R., da Silva, A. J. V., Malei, B. A., Dede Faustino João, C., Serrote, C. M. L., & Mussalama,

- A. Z. (2022). Spatial analysis of susceptibility to erosion in the Administrative Post of Bilibiza, Mozambique. *Nativa*, 10(2), 225–229.
- Mohd Amnan, M. A., Pua, T. L., Lau, S. E., Tan, B. C., Yamaguchi, H., Hitachi, K., Tsuchida, K., & Komatsu, S. (2021). Osmotic stress in banana is relieved by exogenous nitric oxide. *PeerJ*, 9, 1–26.
- Pacheco, H., & Montilla, A. (2021). RGB Spectral Indices for the Analysis of Soil Protection by Vegetation Cover against Erosive Processes. In *Soil Erosion - Current Challenges and Future Perspectives in a Changing World*. IntechOpen.
- Pineda, J., Moreno Roblero, M. de J., Colinas León, M. T., & Sahagún Castellanos, J. (2020). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 931–943.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Salazar, C. A. (2010). *El Drenaje Agrícola en el Cultivo del Banano: Aplicado a las zonas bananeras de Colombia* (1st ed.). Editorial Académica Española.
- Teoh, E. Y., Teo, C. H., Baharum, N. A., Pua, T.-L., & Tan, B. C. (2022). Waterlogging Stress Induces Antioxidant Defense Responses, Aerenchyma Formation and Alters Metabolisms of Banana Plants. *Plants*, 11(15), 2052.
- Xu, C., Yang, Z., Qian, W., Chen, S., Liu, X., Lin, W., Xiong, D., Jiang, M., Chang, C. Te, Huang, J. C., & Yang, Y. (2019). Runoff and soil erosion responses to rainfall and vegetation cover under various afforestation management regimes in subtropical montane forest. *Land Degradation and Development*, 30(14), 1711–1724.



Línea de investigación:

# Agroclimatología

## 4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN AGROCLIMATOLOGÍA

### 4.1. SERVICIOS CLIMÁTICOS

**Autores:** *Julián Andrés Valencia, Franklin Palacios Zapata y Sebastian Zapata Henao*

#### Resumen

La información climática prepara a los usuarios en la toma de decisiones frente a las condiciones ambientales que experimentan actualmente y en el diseño de modelos predictivos para afrontar los escenarios que se puedan presentar en escalas de tiempo superiores, teniendo para ello la red agroclimática bananera, operada por Augura - Cenibanano, la cual posee 17 estaciones agrometeorológicas que miden precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación, humedad y temperatura del suelo, velocidad, dirección y ráfaga de viento. Esta red, de continuo monitoreo y transmisión de información, con información de calidad, es sometida a mantenimientos preventivos para cada uno de los

equipos en la totalidad de estaciones. Corroborada la certeza de la información, los datos se vuelven insumo para la elaboración de boletines agroclimáticos que ayuden en la toma de decisiones para el gremio bananero en Urabá y Magdalena. Estos boletines tienen una emisión diaria, semanal y mensual, los cuales contienen un resumen de las condiciones meteorológicas presentadas en las últimas 24 horas, semana y mes, pronóstico con horizonte de 48 horas, semana y dos meses respectivamente. Además, recomendaciones de manejo agronómico teniendo en cuenta las condiciones presentes y pronosticadas. En conclusión, la prestación continua de servicios, tanto a corto como a largo plazo, resulta fundamental para asegurar un uso eficaz y coherente de la información en los diversos ámbitos de toma de decisiones que existen en el gremio bananero.

**Palabras clave:** Estaciones agrometeorológicas, red agroclimática, boletines, clima

#### 4.1.1. Introducción

El clima, el suelo y la planta representan la base misma de la agricultura. Es así como la agroclimatología contribuye

al logro de una producción racional y eficiente, mediante el aporte de información que optimice beneficios y reduzca riesgos de las fincas productoras y el gremio bananero en general.

Teniendo en cuenta los comportamientos relacionados con las tendencias de precipitaciones y cambios de temperatura durante el periodo 2020 - 2022 por causa de ENOS, en su condición “La Niña”, se hace más que necesario contar con servicios climáticos confiables, exigiendo el compromiso adecuado y continuo de producir a tiempo avisos que los diferentes sectores pertenecientes al gremio bananero sean capaces de comprender, de modo que puedan servir de ayuda a la hora de tomar decisiones para prepararse y actuar con anticipación. Los servicios climáticos tienen que suministrarse a los usuarios de forma continua y, sobre todo, deben responder a sus necesidades.

Entender que el clima es lo que esperas, en función de análisis y tendencias históricas; y el tiempo lo que obtienes, como la medición de las condiciones ambientales en el momento mismo, la información climática prepara a los usuarios para el tiempo que experimentan actualmente. Para la mayoría de los

usuarios, el clima y el tiempo son mutuamente intercambiables. Por lo tanto, es imprescindible que los servicios climáticos y meteorológicos trabajen codo con codo y no tengan vacíos para el usuario final. La prestación continua de servicios, tanto a corto como a largo plazo, resulta fundamental para asegurar un uso eficaz y coherente de la información en los diversos ámbitos de toma de decisiones que existen en el gremio bananero.

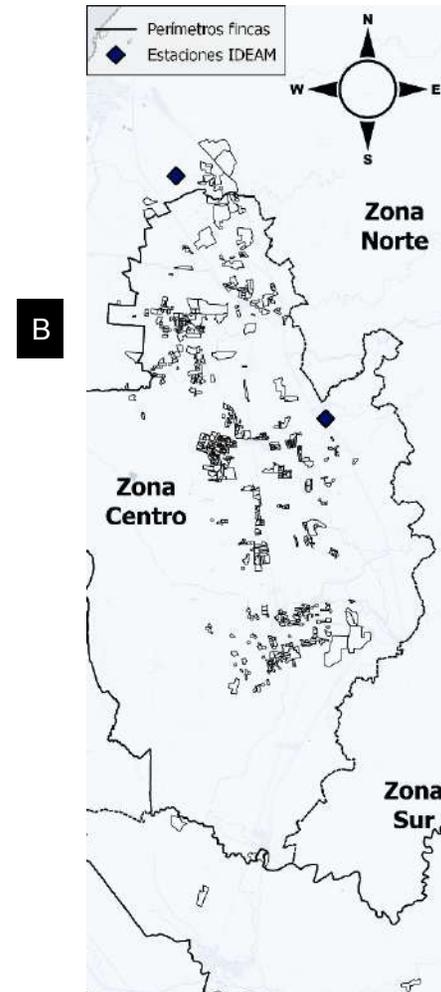
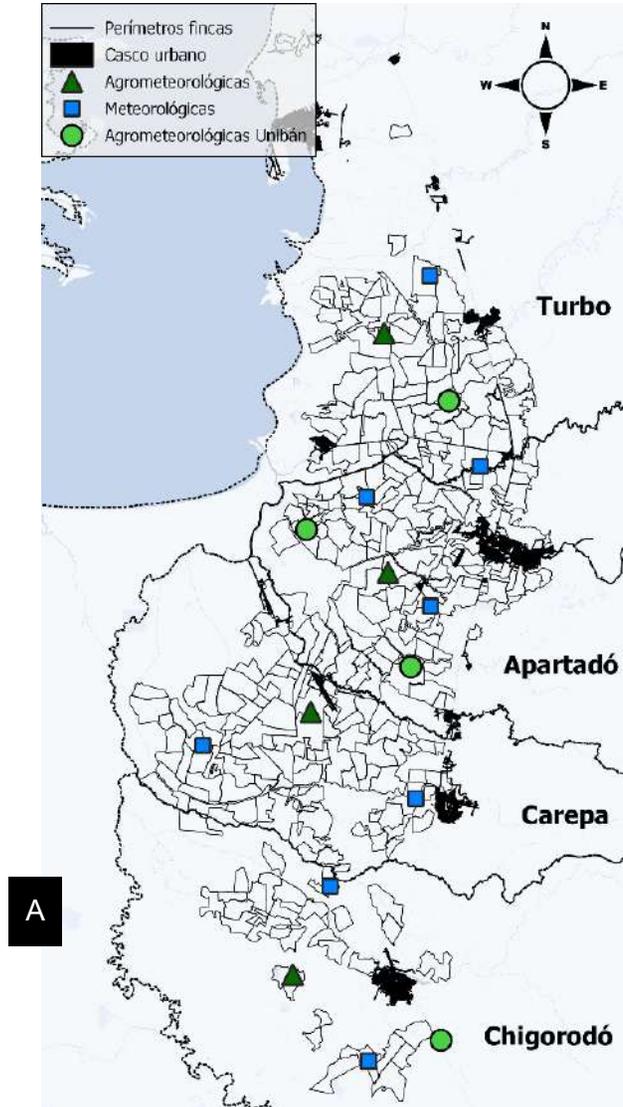
#### **4.1.2. Materiales y métodos**

La red agrometeorológica de Augura en Urabá está compuesta por 4 estaciones agrometeorológicas (**Figura 1A**) que miden las siguientes variables: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación, humedad y temperatura del suelo, velocidad, dirección y ráfaga de viento. Esta se complementa con 8 estaciones meteorológicas (**Figura 1B**) que registran las siguientes variables: precipitación, temperatura y humedad relativa. Augura, por medio de convenio con C.I. Unibán, añade 4 estaciones a la red existente, fortaleciendo la información meteorológica al servicio del gremio bananero con un total de 16 estaciones distribuidas en los 4 municipios

productores de Urabá (**Figura 2A**). Estas estaciones miden en tiempo real y registran los datos en una escala de hasta 10 minutos. Toda la información obtenida se almacena en la plataforma FieldClimate® y puede ser visualizada de manera gratuita (**Figura 3**). En la región productora del Magdalena, la información meteorológica al alcance de los productores es escasa, debido a la falta de estaciones del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en la zona (**Figura 2B**). Los equipos que se encuentran actualmente instalados en Magdalena no tienen la facilidad de acceso y visualización de la información con la que se cuenta en Urabá bajo la plataforma FieldClimate®.



**Figura 1.** Estación agrometeorológica marca Pessl Instruments (A). Estación meteorológica marca Pessl Instruments (B).



**Figura 2.** Red agrometeorológica en la zona bananera de Urabá 2021 (A). Red agrometeorológica en la zona bananera del Magdalena 2021 (B) (IDEAM, 2022).



**Figura 3.** Plataforma FieldClimate® (FieldClimate, 2022).

**4.1.2.1. Red agrometeorológica.** Para continuar fortaleciendo la cobertura de información meteorológica en la producción bananera, se seleccionaron 3 sitios potenciales para mejorar la calidad de la información. La distribución se hizo de la siguiente manera:

- En la región del Magdalena, específicamente en el municipio Zona Bananera, en las veredas La Vuelta del Cura, Portón de Moran y Río Frío, en las instalaciones de las fincas La Joya, San Rafael 2 y Florida. Estas estaciones son de tipo meteorológica. Se deben instalar a una altura de 3.8 metros para continuar con los criterios que se establecieron inicialmente en Urabá.

- En la región de Urabá, en el municipio de Carepa, Antioquia, en las instalaciones de la finca Campo Experimental. Esta estación es de tipo agrometeorológica. El sensor de velocidad y dirección del viento se debe instalar a una altura de 5 metros, el resto de sensores que componen el equipo a una altura de 3.8 metros (**Figura 4**). Esto con el fin de seguir con los criterios de instalación del resto de estaciones agrometeorológicas de la red en Urabá

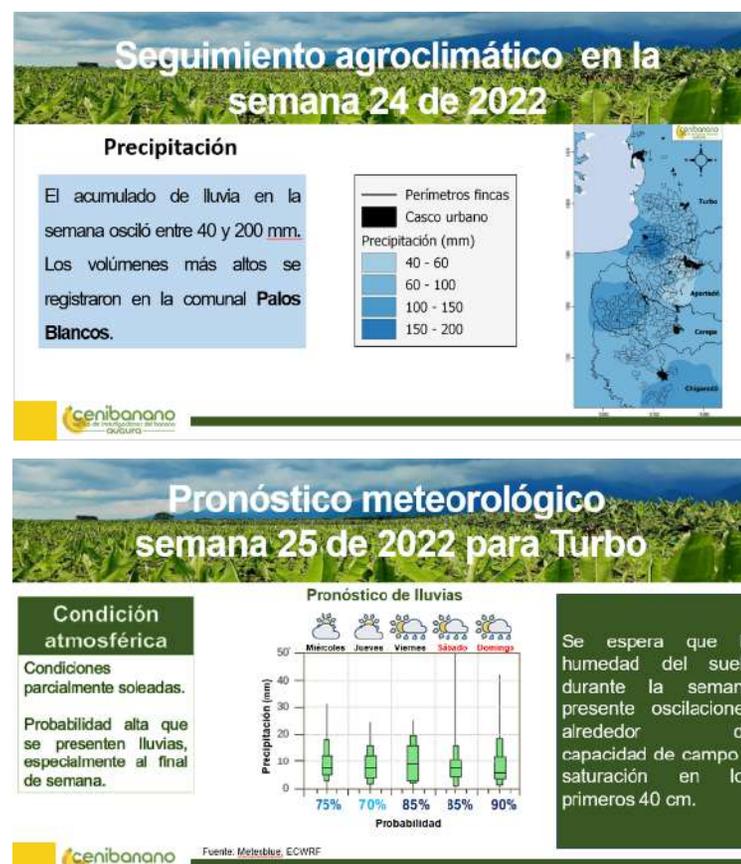


**Figura 4.** Estructura estaciones agrometeorológicas.

**4.1.2.2. Calidad de la información.** Con el fin de garantizar confianza en los datos medidos y la continuidad de estos en el tiempo, se programan actividades de mantenimiento preventivo en todas las estaciones que componen la red agrometeorológica. Además, se deberá monitorear la transmisión de la información en la plataforma FieldClimate®. Periodicidad de envío de la información por parte de las estaciones y comportamiento de las variables. Esto con el objetivo de programar actividades de mantenimiento correctivo en caso de cese en la transmisión de la información o datos erróneos por fallo en los sensores.

**4.1.2.3. Insumos agrometeorológicos.** Una vez que se tiene certeza de que los datos son confiables, se utilizan como insumo para la elaboración de boletines agrocimáticos que ayuden como insumo a la toma de decisiones en la producción bananera de Urabá. Estos boletines tienen una emisión diaria, semanal y mensual. Contienen un resumen de las condiciones meteorológicas presentadas en las últimas 24 horas, semana y mes, pronóstico con horizonte de 48 horas, semana y dos meses respectivamente. Además, recomendaciones de manejo agronómico teniendo en cuenta las condiciones presentes y pronosticadas (**Figura 5**). Estos se envían en

Urabá vía correo electrónico y en Magdalena por aplicaciones de mensajería instantánea. Se renovará el diseño de los boletines, para mejorar la visualización y aumentar el interés en la información por parte de los lectores.



## RECOMENDACIONES PARA EL CULTIVO



Las condiciones ambientales pronosticadas para esta semana favorecen a la **sigatoka negra** (*Pseudocercospora fijiensis*):

- Se recomienda programar las labores de manejo cultural de la enfermedad en ciclos semanales para toda la zona de producción.
- El sistema de drenaje de la finca se debe mantener en buenas condiciones y se debe hacer un control oportuno de arvenses y adecuada fertilización.

Se recomienda realizar labores como el **desguasque** o **descalcete**, para mejor el control de cochinillas, larvas y pupas de *Ceramida* spp. e incluso picudos.



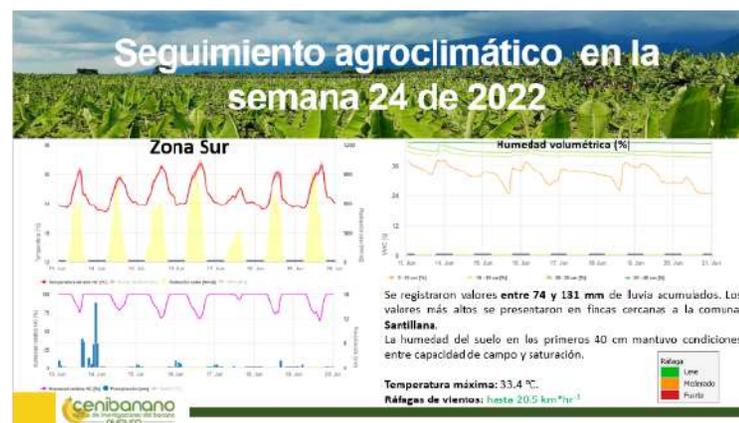
Figura 5. Boletín agroclimático semanal.

### 4.1.3. Resultados y discusión

**4.1.3.1. Red agrometeorológica.** Se realizó la instalación de la estación agrometeorológica el día 03/03/2022 en las

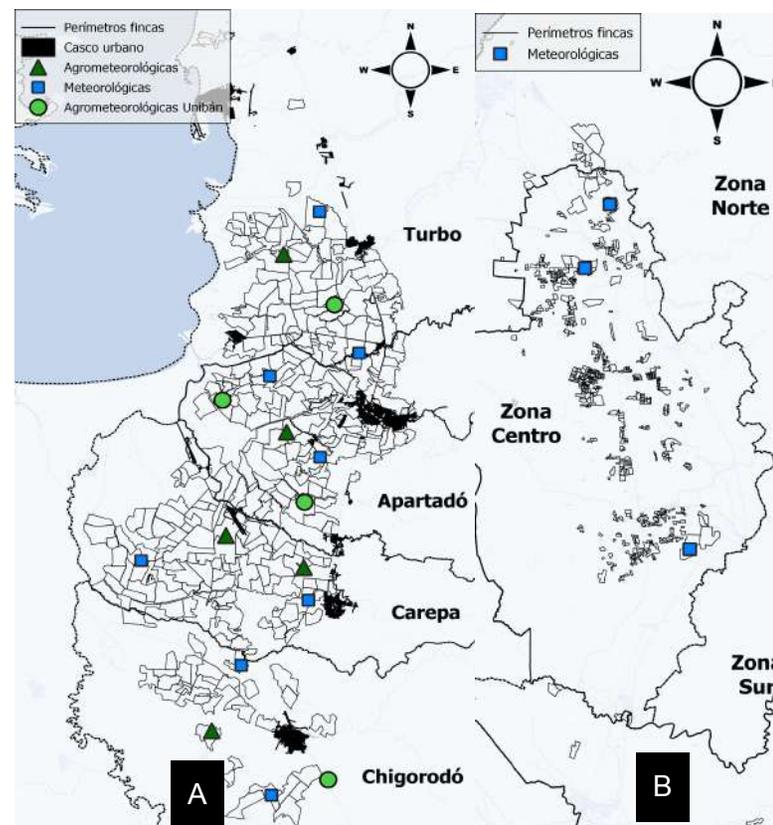
instalaciones del campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa (**Figura 6**). Con este equipo, aumenta el número de estaciones en Urabá en 17 (**Figura 7A**).

Se realizó la instalación de la estación meteorológica el día 13/12/2021 en las instalaciones de la finca La Joya, en el municipio Zona Bananera (**Figura 8A**). El 02/11/2022 se instalaron en las fincas San Rafael 2 (**Figura 8B**) y Florida (**Figura 8C**), ubicadas en el municipio Zona Bananera, dos estaciones meteorológicas. Con estos 3 equipos, se inicia la cobertura meteorológica en la zona bananera del Magdalena (**Figura 7B**). Cabe resaltar que cada estación lleva el nombre del sitio de instalación.





**Figura 6.** Instalación estación agrometeorológica en el campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa.



**Figura 7.** Red agrometeorológica en la zona bananera de Urabá 2022 (A). Red agrometeorológica en la zona bananera del Magdalena 2022 (B).

A



B



C



**Figura 8.** Instalación estación meteorológica finca La Joya (A), San Rafael 2 (B) y Florida (C).

**4.1.3.2. Calidad de la información.** En el año 2022 se realizó el monitoreo diario de las estaciones instaladas en campo, lo cual permitió generar acciones correctivas. Se llevaron a cabo 73 visitas a estaciones pertenecientes a la red agrometeorológica, la mayor parte de estas de mantenimiento preventivo (**Figura 9A**). Estas actividades permitieron garantizar la operatividad de la red en todo el

año y la confiabilidad de los datos medidos en campo por las estaciones **(Figura 10A)**.

En la región del Magdalena se llevaron a cabo 2 visitas de mantenimiento preventivo en la estación La Joya **(Figura 9B)**. Esto permitió contar con una serie de datos continua para el año 2022 de una estación ubicada en esta zona productora **(Figura 10B)**.

B

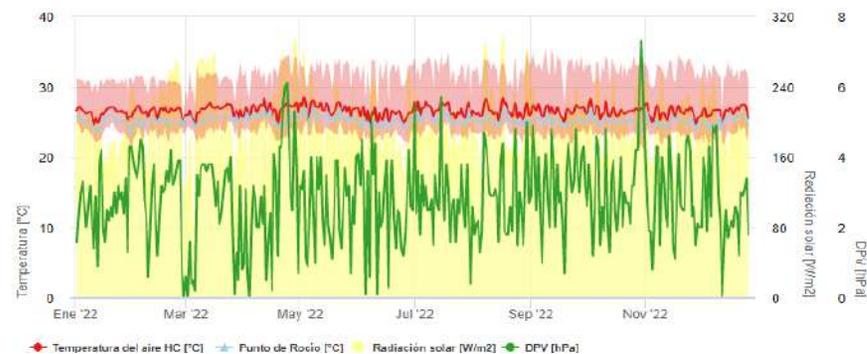


A



**Figura 9.** Mantenimiento red agrometeorológica en Urabá (A) y Magdalena (B).

A





**Figura 10.** Transmisión de datos: red agrometeorológica en Urabá (A) y Magdalena (B) en el año 2022.

**4.1.3.3. Insumos agrometeorológicos.** En Urabá se actualizó el diseño de los boletines diarios (**Figura 11**), semanal (**Figura 12**) y mensual (**Figura 13**). Reduciendo el número de páginas en un 40%. Esto permitió aumentar el número de visualizaciones de los boletines en un 16%. Este aumento refleja un mayor interés y entendimiento de la información por parte de los lectores. En total se publicaron en el año 307 boletines (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Métricas de boletines agroclimáticos para el período 2022

Boletín	N° páginas		Publicaciones		Visualizaciones promedio	
	Antiguo	Nuevo	Urabá	Magdalena	Antiguo	Nuevo
Diario	6	1	243	0	61	64
Semanal	12	5	52	6	94	104
Mensual	12	6	12	11	108	144



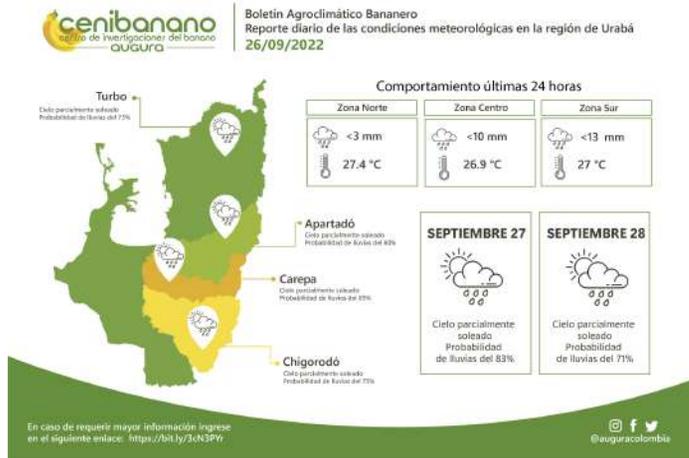


Figura 11. Diseño antiguo y nuevo del boletín diario.

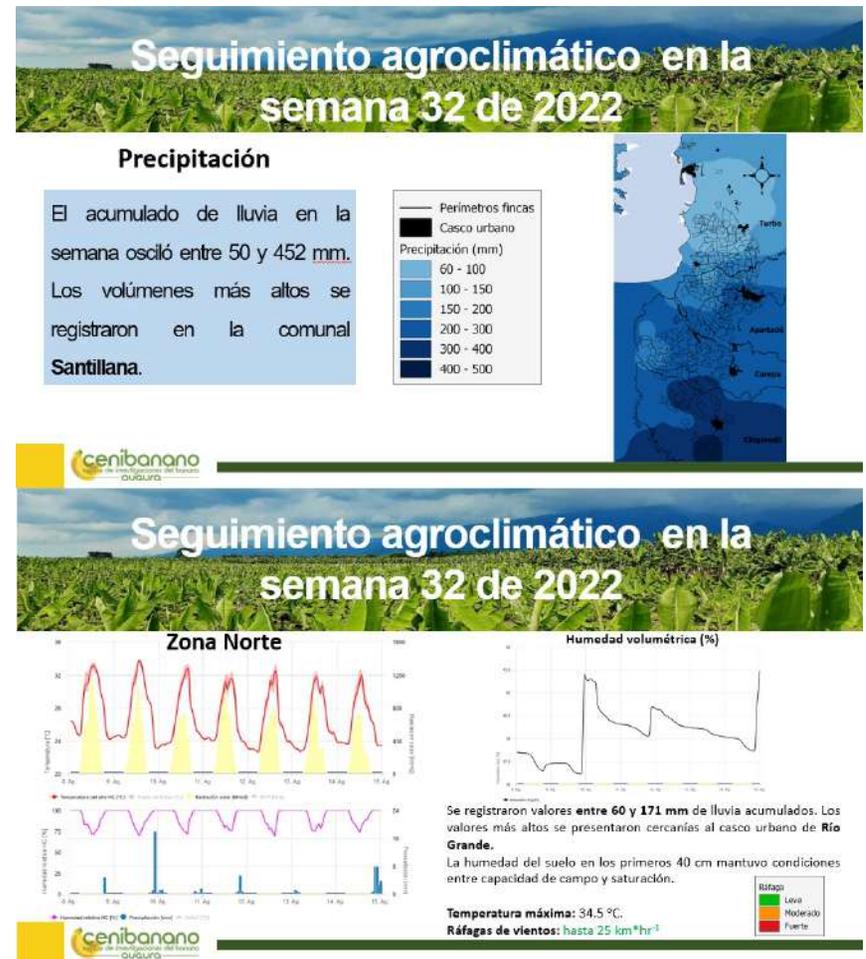
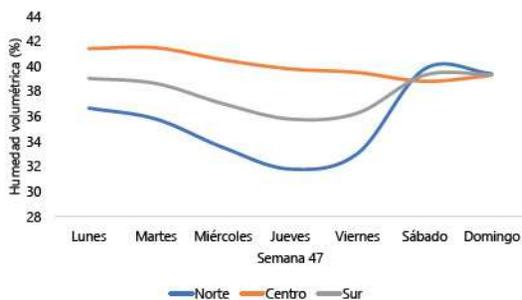
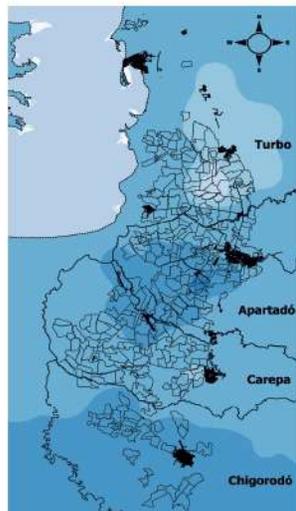


Figura 12. Diseño antiguo y nuevo del boletín semanal (continúa en la siguiente página)

## Precipitación

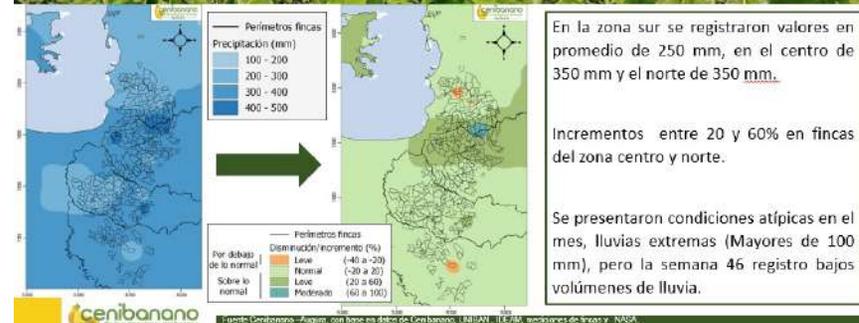
El acumulado de lluvia en la semana osciló entre 20 y 164 mm. El volumen más alto se registró en la comunal Churidó.



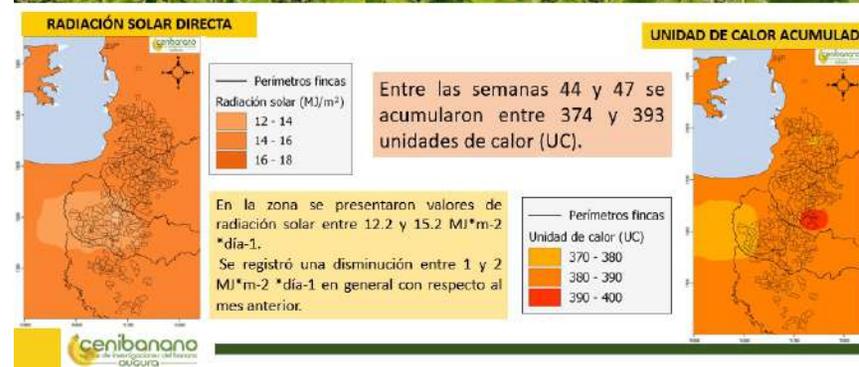
La humedad del suelo en los primeros 40 cm osciló entre capacidad de campo y saturación.

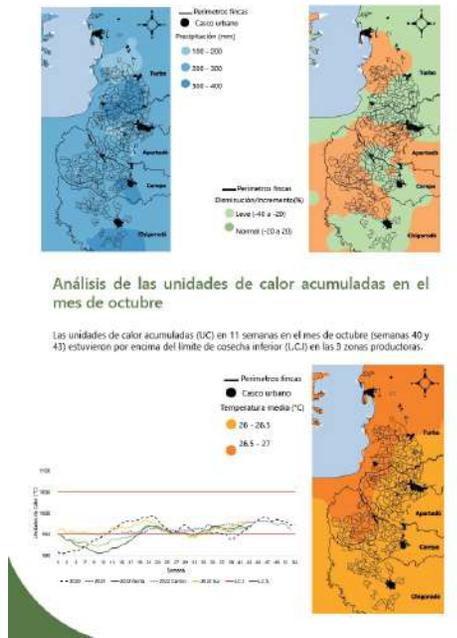
1

## Seguimiento de precipitación en el mes de noviembre de 2021



## Seguimiento agroclimático para el mes de noviembre de 2021



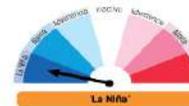


**Figura 13.** Diseño antiguo y nuevo del boletín mensual

Para Magdalena, se actualizó el diseño del boletín mensual (**Figura 14**). Además, el aumento en el número de estaciones en la zona nos permitió contar con los datos suficientes para generar un boletín semanal (**Figura 15**). En total se publicaron en el año 17 boletines.



**Condición actual**



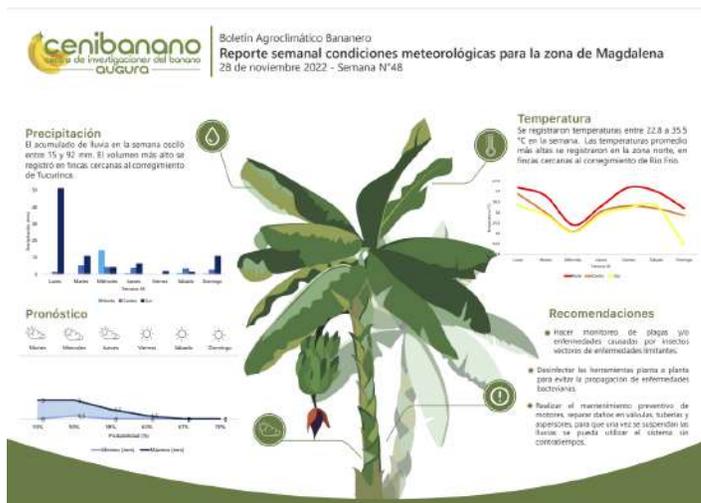
Estamos en una fase ENOS LA NIÑA, condición que se espera persista en el mes de octubre con una probabilidad alta que persista hasta el mes de marzo 2023.

**Precipitación acumulada en octubre 2022**



Fuente: IDEAM, IRI & NASA (2022).  
En octubre se registraron lluvias, con acumulados entre 200 y 400 milímetros (mm) en toda la zona.

**Figura 14.** Diseño antiguo y nuevo del boletín mensual Magdalena.



**Figura 15.** Diseño boletín semanal Magdalena.

Finalmente, con el ánimo de mejorar los niveles de consulta, se implementó en la página web de la asociación el enlace “clima” (<https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/11/Clima-Aplicativov7.html>), permitiendo tener un visor web de las condiciones generales (temperatura, precipitación, velocidad del viento, humedad relativa y punto de rocío) de los municipios que conforman el Urabá Antioqueño, al igual que un pronóstico del comportamiento de lluvia durante

las próximas 24 horas. El visor web es de acceso público y solo como herramienta de consulta general (**Figura 16**).



**Figura 16.** Visor climático web Augura: pronóstico a 24 horas (A) y 7 días (B).

#### 4.1.4. Conclusiones

- El suministro de unos servicios climáticos destinados a informar con eficacia para facilitar la toma de decisiones supone un reto con muchos frentes, pues requiere una colaboración multidisciplinaria y transectorial, donde la participación de los sectores y líneas de investigación es fundamental.
- La identificación de las necesidades de servicios climáticos de los usuarios finales en un contexto específico y su constante implicación en la producción, en el suministro y en la evaluación de los servicios climáticos son fundamentales para asegurar las necesidades identificadas en los sectores asociados al gremio bananero.
- Las herramientas de la investigación de la acción participativa como son las capacitaciones y constantes acompañamientos y actualizaciones a los productores, técnicos, entre otros la personalización continuada de la información climática disponible para satisfacer sus necesidades como pueden ser información diaria, pronósticos y modelos productivos.

#### 4.1.5. Referencias bibliográficas

FieldClimate. 2022. Meteoblue Pro. Obtenido de <https://fieldclimate.com/auth/login?returnUrl=%2Fdashboard>

IDEAM. 2022. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Obtenido de dhime. ideam: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>



## 4.2 EVALUACIÓN DE MODELOS CLIMÁTICOS PARA DETERMINAR LA PRECISIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE LLUVIAS PARA LA ZONA BANANERA DE URABÁ, ANTIOQUIA

**Autores:** Julián Andrés Valencia, Franklin Palacios Zapata, Mariana Castañeda y Sebastian Zapata Henao

### Resumen

En las últimas décadas, se ha visto la necesidad de entender los comportamientos climáticos futuros en diferentes escalas de tiempo, desde días hasta años según el criterio de investigación y variable ambiental. Por lo anterior, se busca desde el análisis agroclimático, establecer medidas y prácticas agronómicas en función de las tendencias ambientales en el cultivo de banano, recurriendo a los análisis de tendencia en función de modelos matemáticos que permita aportar recomendaciones a los sistemas de apoyo en toma de decisiones. Con el fin de validar los niveles de precisión de los servidores climáticos (4) para la ocurrencia e intensidad de lluvia, se recurrió al uso de la curva ROC evaluando datos en un horizonte de 24 y 48 horas en las 3 zonas productoras bananeras de Urabá. Como resultado, se validó el uso de la metodología ROC como una

herramienta útil en determinar el nivel de precisión en los pronósticos climáticos, los cuales son efectivos en un 50% determinando la cantidad de lluvia presente en las zonas evaluadas y un 70% en pronosticar presencia o ausencia de la misma variable. Queda la opción de continuar la evaluación de la metodología teniendo en cuenta los escenarios de variabilidad climática predominantes en la región ecuatorial (El Niño, La Niña, neutro), incluido el caribe colombiano.

**Palabras clave:** Pronóstico, Lluvia, Análisis de tendencia

### 4.2.1. Introducción

El sistema climático es un sistema muy complejo que incluye la atmósfera, los océanos, el hielo, la tierra, todos los seres vivos de la Tierra y todas las formas en las que ellos interactúan entre sí. A medida que estos elementos interactúan, son capaces de influir en el sistema climático. Los cambios en el clima también pueden producirse por eventos que no son parte del sistema climático natural, como las erupciones volcánicas o el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de actividades humanas. Se los denomina forzamientos. En las últimas décadas, se ha visto la necesidad de entender los comportamientos climáticos futuros en diferentes escalas, con el ánimo de

establecer medidas y prácticas de manejo en función de las tendencias, recurriendo a los modelos climáticos, siendo representaciones numéricas del sistema climático. Muchos de los desafíos mencionados anteriormente hacen que algunas personas se pregunten si los modelos climáticos son incluso exactos.

Su evaluación, basada en los periodos de referencia, resulta prioritaria para comprender y corregir sus deficiencias. Los resultados de la evaluación de los distintos modelos son también fundamentales en una aproximación probabilística de la predicción de clima futuro, en la que se utiliza un conjunto de diferentes predicciones climáticas para abordar las incertidumbres de diferente naturaleza asociadas a las mismas. Se trabaja en la evaluación de los modelos climáticos utilizados para la generación de escenarios de cambio climático regionalizados con diferentes metodologías que buscan caracterizar la habilidad de los modelos para simular determinados aspectos climáticos. Con objeto de obtener una estimación cuantitativa se utilizan diferentes métricas, dependiendo del aspecto que se pretende validar. Para este caso el análisis de la curva ROC, proporciona herramientas para seleccionar los modelos posiblemente óptimos y descarta modelos subóptimos.

Una de las formas de hacerlo consiste en comparar distintas predicciones numéricas. Esto se puede hacer, por ejemplo, comparando los pronósticos de los modelos globales con los regionales o comparando los pronósticos de los modelos usados en diferentes centros de predicción numérica del tiempo (por ejemplo, GFS, NOGAPS, GEM y ECMWF). También se pueden comparar los resultados de distintos ciclos de ejecución del mismo modelo para ver cómo los resultados cambian con el tiempo a medida que se introducen observaciones nuevas. El uso de conjuntos de pronósticos para hacer predicciones es una técnica relativamente nueva en el ámbito de pronóstico operativo que permite comparar múltiples pronósticos de un modelo rápidamente y sobre una base científica.

#### **4.2.2. Materiales y métodos**

Con base en 6.505 observaciones horarios de Radiación solar ( $W \cdot m^{-2}$ ) ( $R_s$ ) de onda corta en el espectro Con el objetivo de buscar el mejor modelo de pronósticos meteorológicos para la zona de Urabá, se compararon 2 servicios de pronósticos meteorológicos gratuitos y 2 de pago.

El centro europeo de previsiones meteorológicas de medio plazo (ECMWF) es una organización intergubernamental independiente e instituto de investigación, elabora y

difunde predicciones meteorológicas (ECMWF, 2022). Utilizan el modelo atmosférico y sistema de asimilación de datos llamado sistema integrado de previsión (IFS) para la generación de sus pronósticos. Estas previsiones son de acceso gratuito y se actualizan diariamente.

Meteoblue® es una empresa de accionistas constituida en Basilea, Suiza, en manos de inversores privados, la cual ofrece información meteorológica local de alta calidad en todo el mundo para cualquier punto terrestre o marítimo del planeta y previsión meteorológica de alta resolución (Meteoblue, 2022). Utilizan el modelo hidrostático a mesoescala (NMM) adaptado, para detectar patrones climáticos y reconstruir con gran precisión los patrones meteorológicos que se producen en cualquier lugar del mundo. Se puede acceder a estos pronósticos de manera gratuita.

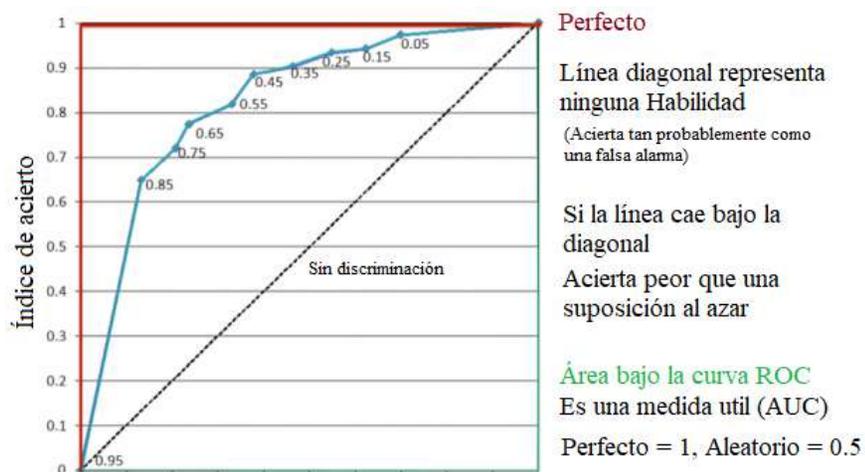
FieldClimate® ofrece un pronóstico meteorológico a través de su plataforma web. Este es un producto en conjunto entre Meteoblue® y Pessl Instruments®. Los pronósticos se ajustan automáticamente a las condiciones específicas de la estación meteorológica donde se encuentra activa la licencia (FieldClimate, s.f.). Este servicio es de suscripción y pago anual, se requiere contar con una estación de Pessl Instruments para adquirirlo.

Red de transmisión de datos (DTN) es una empresa privada con sede en Burnsville (Minnesota) especializada

en servicios de suscripción para el análisis y suministro de información en tiempo real sobre meteorología, agricultura, energía y mercados de materias primas (DTN, s.f.). Utilizan observaciones de su amplia red meteorológica mundial para alimentar su modelo informático, el cual asimila estos datos, además de más de 30 años de históricos, para generar un pronóstico probabilístico (DTN, s.f.). Este servicio por suscripción es de pago anual y no requiere contar con una estación meteorológica para acceder a los pronósticos.

Se descargaron datos de los pronósticos de precipitación a un horizonte de 48 horas de los 4 servicios en las 3 zonas productoras de Urabá. Se evaluó el acierto en los pronósticos de precipitación, comparando los datos pronosticados con los medidos en campo por la estación más cercana a través de la metodología de característica operativa del receptor (Curva ROC). La curva ROC es un gráfico de la tasa de falsas alarmas (también conocida como probabilidad de falsa detección o POFD) en el eje x, frente a la tasa de aciertos (también conocida como probabilidad de detección-sí o PODy) en el eje y (SWPC, 2022). Proporciona información sobre las tasas de aciertos y de falsas alarmas que pueden esperarse del uso de diferentes modelos de probabilidad para desencadenar una acción de aviso (**Figura 1**). Las curvas ROC pueden utilizarse para seleccionar el modelo que ofrezca la mejor relación entre la tasa de aciertos y la tasa de falsas

alarmas (Metoffice, s.f.). El punto de corte de una escala continua que determina la sensibilidad y especificidad más alta es aquel que presenta el mayor índice de Youden, calculado según la fórmula (sensibilidad + especificidad - 1). Gráficamente, éste corresponde al punto de la curva ROC más cercano al ángulo superior-izquierdo del gráfico (punto 0,1), es decir, más cercano al punto del gráfico cuya sensibilidad = 100% y especificidad = 100% (Figura 1), identificando el punto de corte que determina la sensibilidad y especificidad más alta conjuntamente.

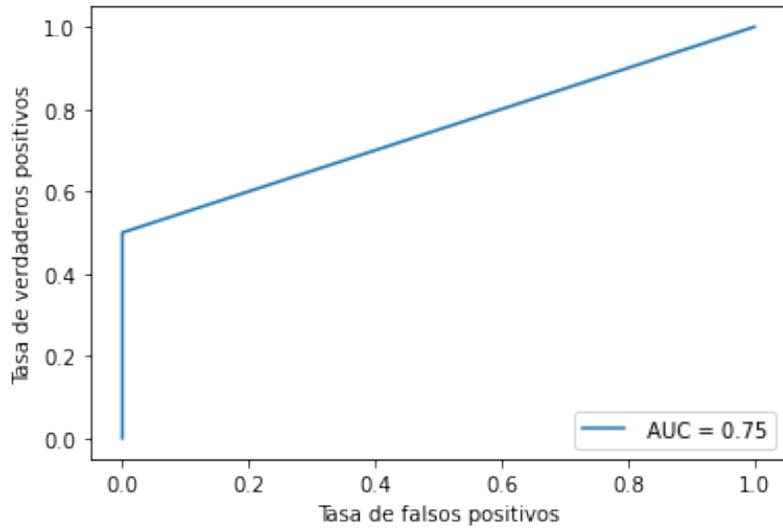


**Figura 1.** Curva ROC.

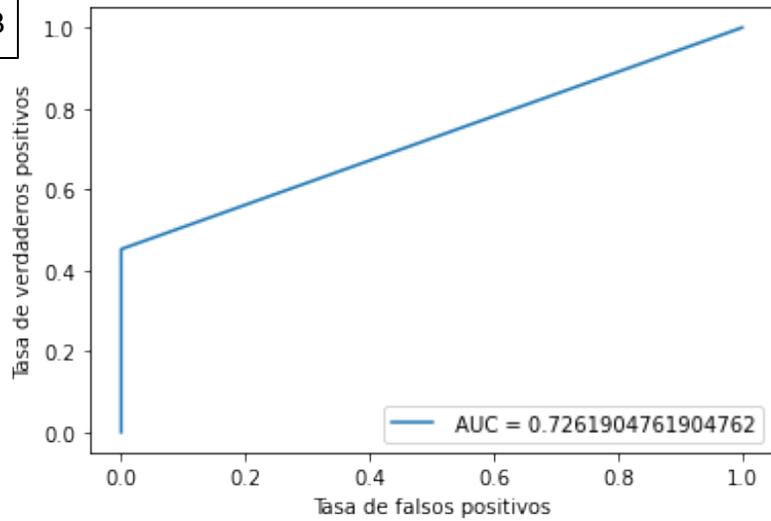
### 4.2.3. Resultados y discusión.

En estadística, la precisión del pronóstico es el grado de cercanía entre la expresión de lluvia y el valor real de la cantidad precipitada. El valor real generalmente no puede medirse en el momento en el que se realiza el pronóstico, porque la expresión se refiere al futuro. En este caso, las evaluaciones realizadas para comparar la precisión de los modelos descritos anteriormente, permiten indicar que no hay diferencias marcadas entre los servicios pagos y gratuitos (**Figura 2**), llevando a pensar en la relación costo - beneficio en el empleo y aplicación del escenario a o b; eso no quiere decir que su uso deba descartarse, al contrario, los pronósticos siguen siendo una herramienta que ayude a la generación de información con relación a los eventos (por ejemplo ausencia o presencia de lluvia), pero al momento de tener indicios de las cantidades, sus niveles disminuyen en función del tiempo (**Figura 2 y Figura 3**). El uso de la curva roc para estimar la precisión de los modelos permite inferir que, aunque DTN tiene un buen nivel de precisión, no es significativamente diferente a los servicios gratuitos, en función del número de datos empleados para la ejecución del modelo (**Figura 2**).

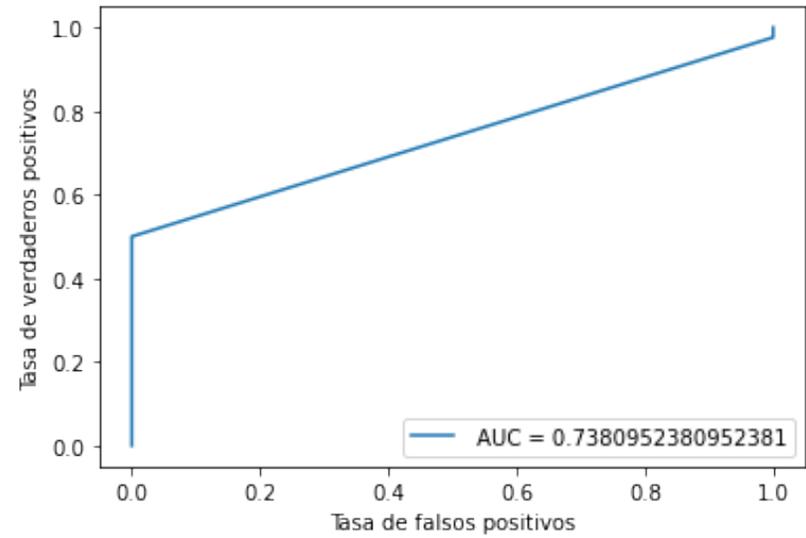
A



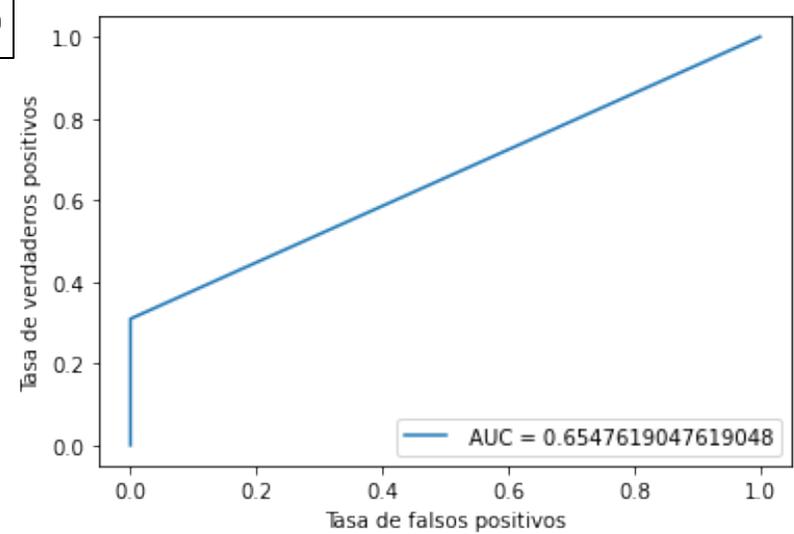
B



C



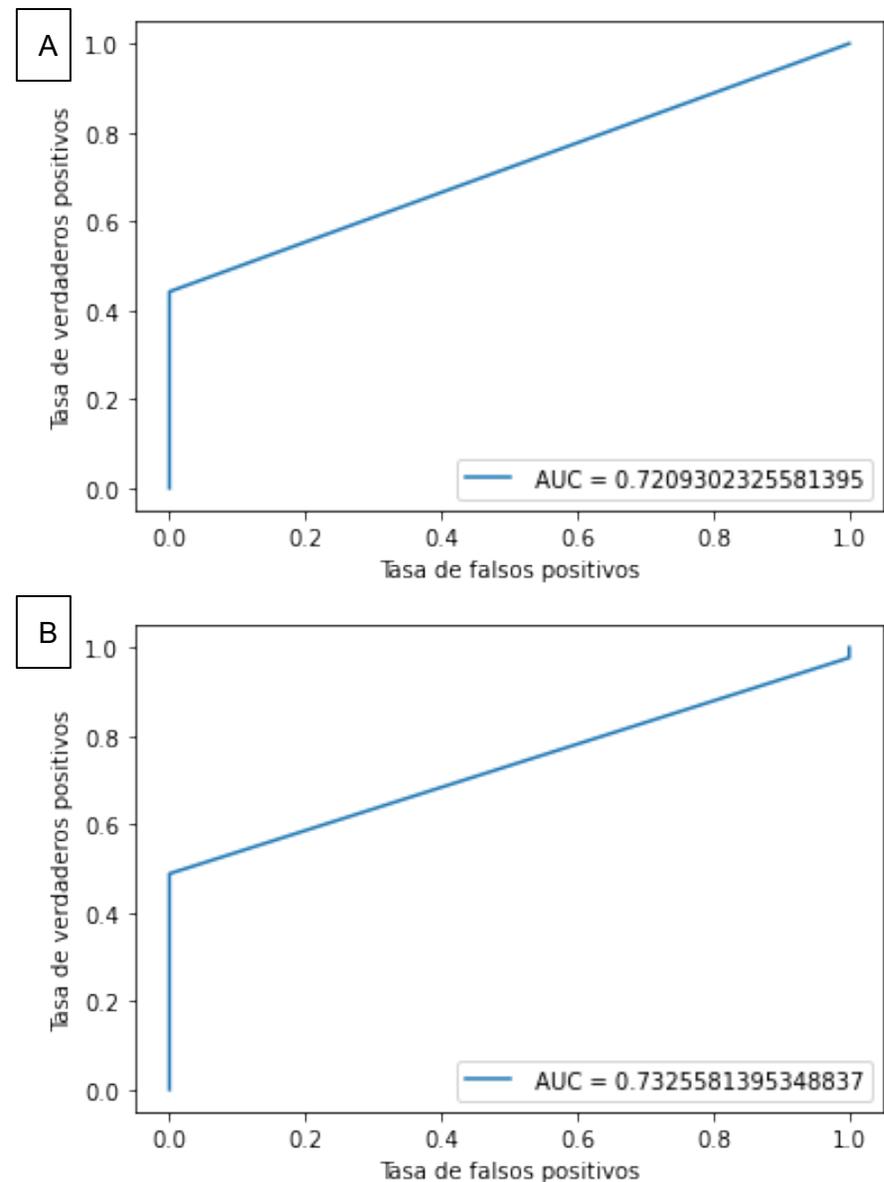
D

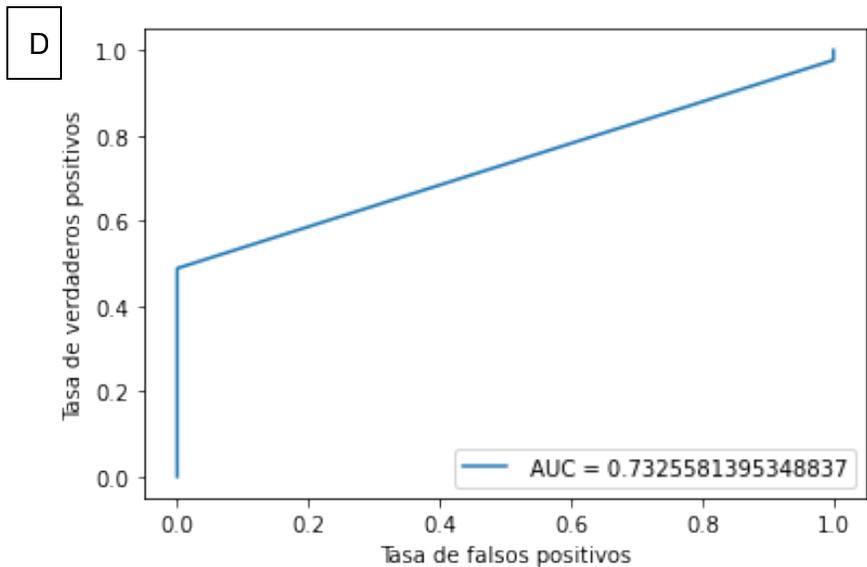
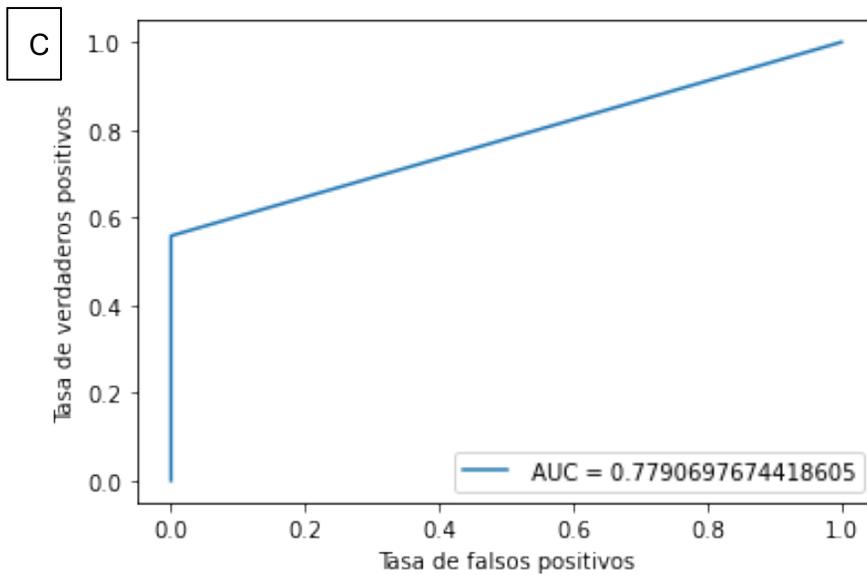


**Figura 2.** Curva ROC para definir el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) para pronósticos de pago DTN (A)

METEOBLUE PRO (B), y servicios gratuitos ECMWF (C), METEOBLUE (D) durante 24 horas.

En general los pronósticos en su mayoría se derivan de modelos globales de pronóstico, y por ser “globales”, la escala no es precisamente local para la topografía de Colombia en general, incluyendo el Caribe; pero si al menos indica lo que se puede esperar de acuerdo a las condiciones que se están presentado, muchas veces no se logra interpretar lo que te dice el pronóstico principalmente en cuanto probabilidades y certeza en la lluvia. El pronóstico meteorológico ha mejorado considerablemente, y son confiables en cuanto a las tendencias, temperaturas, vientos y cambios, al menos para los primeros 3, donde quizá, los más difícil de predecir es la lluvia en un punto específico **(Figura 2)**.





**Figura 3.** Curva ROC para definir el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) para pronósticos de pago DTN (A) METEOBLUE PRO (B), y servicios gratuitos ECMWF (C), METEOBLUE (D) durante 48 horas.

Las escalas de tiempo, sumado a las condiciones climáticas locales, pueden generar niveles de imprecisión a la hora de estimar predicciones climáticas, más aun, partiendo de modelos globales. Para el caso del análisis, se evaluó la escala de tiempo no superior a 48 horas, donde el criterio de presencia - ausencia de lluvias tiene un buen nivel de acierto, por encima del 50%. La disminución progresiva de los valores se ve después de 72 horas de forma lineal.

#### 4.2.4. Conclusión

- La curva ROC es una herramienta útil para determinar la calidad diagnóstica de precisión en la evaluación de pronósticos climáticos. En ocasiones, se plantea el problema de comparar con un número reducido de datos y modelos, razón por la cual se recomienda continuar con la evaluación a mayores

escalas de tiempo y en escenarios climáticos diferentes (El Niño, La Niña, neutro).

- Para evitar posibles niveles de error se recomienda no solo emplear un predictor climático, al contrario, aplicar métodos de predicción por conjuntos, en la que el resultado no es un único pronóstico sino un porcentaje de probabilidades, puede mejorar como herramienta para programar labores agrícolas en las fincas bananeras.
- Los modelos regionales y meso-escalares son los que describen óptimamente fenómenos comprendidos entre la macro-escala y la micro-escala. No hay una clara división entre estos dos tipos, pero se puede considerar que un modelo regional trabaja con resoluciones de 50-150 km y los meso-escalares de 1-50 km, permitiendo cubrir en gran parte la zona bananera de Urabá.
- Un pronóstico climático pierde niveles de precisión a lo largo del tiempo, siendo un valor máximo de 48 horas medianamente acertado para las condiciones del Urabá Antioqueño.

#### 4.2.5. Referencias bibliográficas

DTN. s.f. Prosper in a dynamic world. Obtenido de <https://www.dtn.com/about-us/company-profile/>

ECMWF. 2022. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Obtenido de [https://charts.ecmwf.int/products/opencharts\\_meteogram?base\\_time=202212260000&epsgram=classical\\_10d&lat=51.4333&lon=-1.0&station\\_name=Reading](https://charts.ecmwf.int/products/opencharts_meteogram?base_time=202212260000&epsgram=classical_10d&lat=51.4333&lon=-1.0&station_name=Reading)

Fieldclimate. s.f. FieldClimate manual & recent releases' notes. Obtenido de METOS: <https://metos.at/es/fieldclimate-manual/>

Meteoblue. 2022. Meteoblue. Obtenido de <https://content.meteoblue.com/en/about-us>

Metoffice. s.f. Sistema de Verificación Estandarizado para pronósticos a largo plazo. Obtenido

SWPC. 2022. Centro de predicción del clima espacial, administración nacional oceánica y atmosférica. Obtenido de <https://www.swpc.noaa.gov/content/roc-receiver-operating-characteristic-curves#:~:text=A%20ROC%20curve%20is%20a,%20on%20the%20y%2Daxis> de <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/user-guide/interpret-roc>

### 4.3 EFECTOS ECOFISIOLÓGICOS SOBRE LA APARICIÓN DE AGOBIO EN BANANO TIPO EXPORTACIÓN EN LA ZONA DE URABÁ, ANTIOQUIA

**Autores:** Mariana Castañeda, Julián Andrés Valencia, Franklin Palacios Zapata y Sebastian Zapata Henao

#### Resumen

El estrés es el resultado de una condición adversa en la cual se encuentra sometida la planta, principalmente por causas ambientales, tales como el déficit hídrico o sequía, produciendo un amarillamiento, debilitamiento y proceso de senescencia, resultado cuando la tasa de transpiración excede a la toma de agua. De igual manera, el estrés por calor causa una serie de daños irreversibles en el metabolismo y el desarrollo de las plantas por efecto de las altas temperaturas, siendo un fenómeno complejo que involucra la duración del estrés, la tasa de incremento y la temperatura máxima alcanzada. En banano (*Musa* AAA) se ha presentado de manera recurrente una condición denominada "agobio"; siendo un doblamiento de hojas bajas funcionales, producto de una condición de estrés fisiológico, afectando considerablemente el llenado de frutos y, por ende, la producción y sus estándares de comercialización. Es así como se busca evaluar la

aparición de agobio en condiciones de campo, bajo labores culturales propias de fincas productoras y en condiciones de invernadero, tomando como variables el crecimiento, desarrollo, emisión de hojas, al igual que la disponibilidad hídrica producto de la precipitación (campo), aplicaciones artificiales (riego en invernadero) y la temperatura interna y externa del lote. Los resultados preliminares indican una primera aproximación a un efecto fisiológico causado por un estrés térmico en función de la amplitud, pero se debe profundizar más en los efectos hídrico, térmico, al igual que una combinación de ambos.

**Palabras clave:** Doblamiento de hojas, hormonas, fisiología, estrés.

#### 4.3.1. Introducción

A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado diferentes respuestas y adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones de constante déficit hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Muchas de estas adaptaciones están relacionadas con una mayor capacidad de tomar agua o con un uso más eficiente de este recurso. Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. Muchas plantas han

desarrollado respuestas que les permiten tolerar diferentes niveles de déficit de agua, que van desde un estrés hídrico leve, causado por la disminución del potencial hídrico al mediodía, hasta aquellas que les permiten sobrevivir en hábitat desérticos. Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008). Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, estructuras responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). Esta respuesta está mediada por la hormona ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1988; Zhang y Outlaw, 2001).

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

De igual manera, el estrés por calor se define como la serie de daños irreversibles en el metabolismo y el

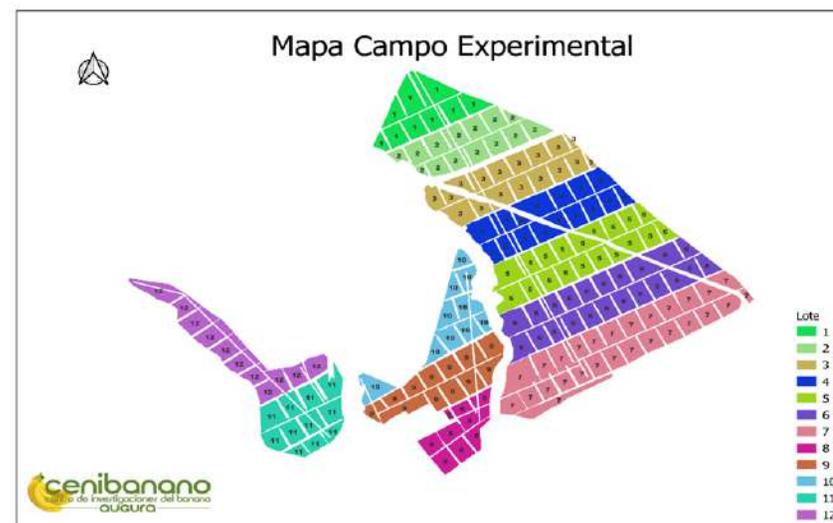
desarrollo de las plantas que pueden causar las altas temperaturas, y es un fenómeno complejo que involucra la duración del estrés, la tasa de incremento y la temperatura máxima alcanzada (Porch y Hall, 2013). Cada especie tiene una temperatura mínima, máxima y óptima para su normal desarrollo y sobrevivencia; sin embargo, los cultivos despliegan una amplia plasticidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a diferentes temperaturas. A pesar de ello, la exposición de las plantas a temperaturas muy altas (>50 °C) resulta en un severo daño y colapso a nivel celular en cuestión de minutos. La exposición a altas temperaturas desencadena una cascada de señalización y activación genética que puede culminar con la estabilización de proteínas y membranas, acompañada por la producción de enzimas antioxidantes y desintoxicantes como antídotos a las toxinas producidas durante el estrés térmico (Iba, 2002; Almeselmani *et al.*, 2006). Agronómicamente, la tolerancia al estrés por calor se define entonces como la capacidad de un cultivo para crecer y rendir económicamente bajo condiciones de alta temperatura (Wahid *et al.*, 2007).

En banano (*Musa AAA*) se ha presentado de manera recurrente una condición denominada "agobio"; siendo un doblamiento de hojas bajas funcionales, producto de una condición de estrés fisiológico, afectando considerablemente el llenado de frutos y, por ende, la producción y sus estándares de comercialización. Esta

condición ha sido poco estudiada, razón por la cual se desconoce a ciencia cierta si es producto de un efecto hídrico o térmico al igual que los mecanismos para contrarrestar dicha condición. El objetivo principal del presente proyecto busca evaluar el efecto de las condiciones ambientales asociadas en la aparición de “agobio” sobre las plantas de banano (*Musa AAA*) en la zona del Urabá Antioqueño, como insumo principal en la toma de acciones frente a la pérdida de peso de racimo en algunas zonas.

#### 4.3.2. Materiales y métodos

**4.3.2.1. Plantas establecidas en campo.** Se evaluó la respuesta de los factores ecofisiológicos en plantas de banano (*Musa AAA*), variedad Giant Cavendish durante un periodo de cuatro meses. La metodología consistió en identificar 115 plantas en el lote nueve de la finca Campo Experimental (**Figura 1**), ubicada en el municipio de Carepa Antioquia, con un área neta de 28.01 ha. La etapa fenológica más propensa a agobio es la reproductiva o de diferenciación (Londoño *et al.*, 2022).



**Figura 1.** Mapa Campo Experimental. Augura – Cenibanano

**4.3.2.2. Monitoreo en campo.** El criterio principal para la selección del lote 9 (**Figura 2**) con 1,86 Ha y 2771 plantas, fue la cercanía a la estación meteorológica para evitar afectaciones o cambios en los datos por efectos microclimáticos. Las variables precipitación (72 horas), temperatura mínima y máxima (24 horas), fueron seleccionadas como variables independientes.



**Figura 2.** Ubicación lote 9.

Se seleccionaron 7 botalones y se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con criterios de bloqueo (Manejo de deshoje días posteriores al monitoreo, plantas en etapa reproductiva, área con características similares de suelo y clima). Las variables medidas fueron: a) Presencia o ausencia de agobio, b) cantidad de hojas agobiadas por planta, c) Amplitud térmica.

El total de datos semanales fue de 115 plantas observadas, verificando si se encontraban hojas agobiadas o no (**Figura 3**). El registro de datos se realizó a través de la aplicación “Memento” que es diseñada para trabajar con cualquier dato, haciendo posible almacenar, organizar, calcular y visualizar información.



**Figura 3.** Evidencia plantas con agobio en campo. A) Varias plantas en una correa, B) Varias hojas en una planta, C) Evaluación.

**4.3.2.2. Establecimiento en condiciones controladas.** La evaluación de plantas establecidas bajo invernadero se propuso con el objetivo de evaluar el efecto de la disponibilidad hídrica y temperatura en la aparición de “agobio” en plantas de banano. El establecimiento de plantas bajo condiciones de invernadero se realizó en las instalaciones de Cenibanano – Augura, el 4 de agosto del 2022, y se utilizó banano clon Williams de 4 semanas de desarrollo con una altura promedio de 21 cm y un diámetro del pseudotallo de 4,8 cm. Se tomaron 40

plantas, 10 por tratamiento (**Tabla 1**), con 2 variables explicativas (temperatura interna y externa del invernadero) 1 factor (humedad relativa) y 3 variables respuesta (Altura de la planta, perímetro del pseudotallo y plantas con agobio). Las mediciones de crecimiento y diámetro se realizaron cada semana con ánimo de evaluar la tasa de desarrollo en función de los tratamientos establecidos (**Figura 4**).

**Tabla 1.** Clasificación de tratamientos y la fecha de inicio de ellos. Fuente: elaboración propia.

<b>Tratamientos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha inicio</b>
TT0 (CC – control)	Capacidad de Campo (CC) – control. Condición hídrica ideal.	10/10/2022
TT1 (Saturación hídrica)	La Saturación hídrica (SH). Exceso de humedad en el suelo.	
TT2 (Déficit hídrico)	El déficit hídrico (DH). Condicionar las plantas con una necesidad hídrica por debajo de la capacidad de campo.	
TT3 (CC – choque térmico)	CC – Choque térmico (CT). Movimiento de plantas entre el interior y exterior del invernadero.	07/11/2022



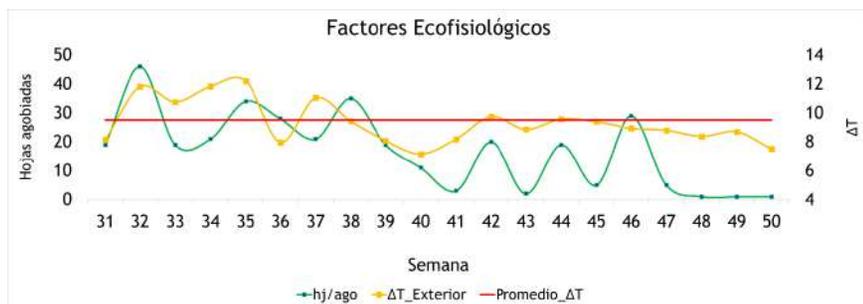
**Figura 4.** Establecimiento de ensayo bajo condiciones controladas.

#### 4.3.3. Resultados y discusión

El agobio es la manifestación de estrés en el cultivo de banano, afectando la capacidad fotosintética por disminución en el índice de área foliar. Por lo tanto, se presume que la aparición de agobio es un efecto de la temperatura y la precipitación como precursores de una situación de estrés. De acuerdo con Barrera *et al.*, 2011 “el crecimiento y producción del cultivo de banano dependen del desarrollo progresivo de las hojas, las cuales deben mantenerse funcionales desde la emisión de la inflorescencia y durante el desarrollo de los frutos”.

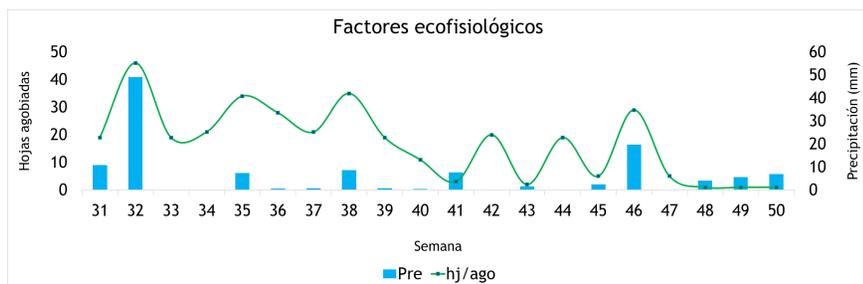
**4.3.3.1. Evaluación en campo.** El agobio de plantas de banano se midió en términos de la estructura de la planta, características del doblamiento de hoja, conteo de hojas decaídas en cada planta. Se evaluó el efecto de la diferencia de las temperaturas máximas y mínimas y valores de precipitación horaria. Se evaluó un total de 2.300 plantas en campo, y, se encontraron 339 plantas agobiadas hasta diciembre de 2022.

La relación entre la información climática con periodos de 72, 48, 24 horas, permitió identificar de manera preliminar que la mayor aparición de agobio se da con cambios de temperatura ( $\Delta T$  entre 8 y 13 °C) durante las últimas 24 horas (**Figura 5**). Como respuesta a los factores se pueden presentar dos situaciones: a) El aumento del número de hojas agobiadas por diferencias significativas de la amplitud térmica ( $> 8$  °C) y b) Número de hojas agobiadas por debajo de la línea media de temperatura como consecuencia de la interacción de otros factores.



**Figura 5.** Relación entre  $\Delta T$  y aparición de agobio.

El efecto de la precipitación acumulada de las últimas 72 horas sobre la aparición de agobio tiene un efecto positivo cuando se presentan lluvias acumuladas entre 10 y 50 mm aproximadamente. Estos rangos de precipitación indican la necesidad de continuar evaluando su efecto bajo diferentes condiciones ver **Figura 6**.



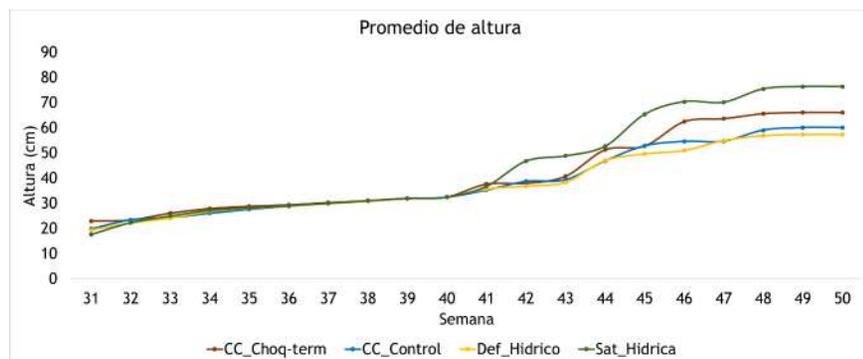
**Figura 6.** Relación entre la precipitación acumulada durante 72 horas y la aparición de agobio.

Existen diferentes escenarios los cuales determinan la presencia del número de hojas agobiadas, pero no se puede concluir durante este tiempo de medición si la incidencia de agobio en campo es debido a los cambios de temperatura, la cantidad de lluvia o una correlación de ambas. Se hace necesario continuar con las mediciones para dar respuesta contundente a la investigación.

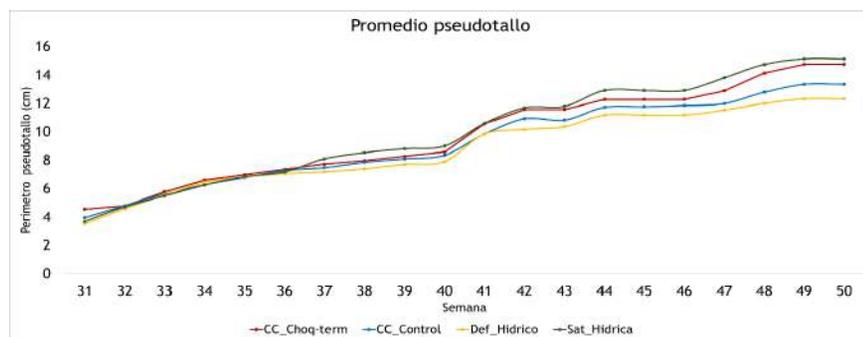
**4.3.3.2. Evaluación bajo invernadero.** Las altas temperaturas afectan el crecimiento y desarrollo (**Figura 7**) del banano específicamente sobre procesos fisiológicos como el ciclo vegetativo y su actividad fotosintética (Cayón, 2004). De igual manera, el anegamiento es un factor importante, ya que los aportes hídricos altos y continuos llegan a inundar los cultivos y se ven afectados por la ausencia de oxígeno, reduciendo las tasas de transpiración y aumentando la resistencia estomática del flujo de vapor de agua. Al presentarse alguno de estos eventos, la planta expresa el doblamiento o decaimiento de la hoja.

Por estas razones, el desarrollo general de la planta se retrasa, la emisión foliar es lenta, se reduce el tamaño de las hojas e inflorescencias y las hojas más antiguas se

secan rápidamente, las cuales parecen no tolerar condiciones temporales de estrés. Las plantas sometidas bajo los diferentes tratamientos presentaron variaciones con relación a la altura y diámetro del pseudotallo (**Figura 7 y Figura 8**).



**Figura 7.** Promedio de altura en plantas bajo invernadero.



**Figura 8.** Promedio perímetro del pseudotallo.

Entre las semanas 47 y 50, donde se realizó el ejercicio de choque térmico se presentó el primer síntoma de agobio. Esta sintomatología tuvo efecto cuando los valores  $\Delta T$  eran superiores a 8 °C (**Figura 9**).



**Figura 9.** Amplitud térmica, interior y exterior del invernadero.

Pocos ambientes permanecen siempre dentro de los ámbitos de temperatura óptimos para las funciones vitales, y en respuesta a estas limitaciones ambientales las plantas despliegan una amplia plasticidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a diferentes temperaturas (Chaves *et al.*, 2017). En el caso de banano los resultados preliminares indican no solo cambios en tamaño y diámetro, sino también en la posibilidad de responder frente a condiciones adversas, expresando visualmente el estrés como agobio. Las respuestas varían

si se trata de un estrés transitorio o permanente, por altas temperaturas diurnas, el promedio diario, o si existe una interacción entre las temperaturas diurnas y nocturnas (García, 2020).

#### 4.3.4. Conclusión

- El análisis del desempeño fisiológico de las plantas en diferentes condiciones ambientales es de gran importancia para desarrollar y aplicar técnicas que permitan superar las pérdidas que se ocasionan en los rendimientos de los cultivos durante las fases de pre y postcosecha.
- Los resultados son una primera aproximación a un efecto fisiológico causado por un estrés, pero se debe profundizar más si es hídrico, térmico o una combinación de ambos, al igual que la fase fenológica más susceptible para corroborar los datos resultado de otras investigaciones.

- Se debe continuar con la evaluación de agobio en campo y bajo invernadero, comparando la incidencia de hojas o plantas agobiadas con otros factores ecofisiológicos.
- Existe una relación directa entre la presión de agobio y factores ambientales como la precipitación y temperatura.
- El agobio en banano ha sido poco documentado, por ende, estos resultados preliminares permiten tener respuestas aproximadas a las causas de esta alteración fisiológica.

#### 4.3.5. Referencias bibliográficas

- Almeselmani, M; Deshmukh, PS; Sairam, RK; Kushwaha, SR; Singh, TP. 2006. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant Sci.* 171:382-388.
- Barrera Violeth, JL; Cardona Ayala, CE; Cayón Salinas, DG. 2011. El cultivo de plátano (Musa AAB Simmonds): ecofisiología y manejo cultural sostenible. Recuperado de <https://editorialzenu.com/images/1467833541.pdf>

- Cayón Salinas, DG. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa AAB Simmonds*). Recuperado de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19331/44895\\_60230.pdf?s](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19331/44895_60230.pdf?s)
- Cayón Gutiérrez, MG; El-Sharkawy, MA; Mejía de Tafur, S. 1998. Efectos fisiológicos del estrés hídrico en el clon de plátano Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*). *InfoMusa* (2): 12-14.
- Chaves Barrantes, NF; Gutiérrez Soto, M V. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 1-18. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637020.pdf>
- García, J; Jiménez, E. 2020. Metroflor. Obtenido de <https://www.metroflorcolombia.com/estres-termico/>
- Iba, K. 2002. Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53:225-245.
- Leung, J; Giraudat, J. 1998. Abscisic acid signal transduction. *Ann.Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 199-222.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, NY.
- Londoño, D. A; Palacios, F; Feria, D. 2022. Reuniones técnicas Cenibanano. Dialogo auditorio Augura.
- Navarro, GM. 2014. Manejo del Estrés por Temperatura en Cultivos Hortícolas. Curso de capacitación Intagri. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Diciembre 2014.
- Nilsen, ET; Orcutt, DM. 1996. Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Porch, T.G; Hall, AE. 2013. Heat tolerance. In: C. Kole, editor, *Genomics and breeding for climate-resilient crops*. Vol. 2. Springer-Verlag, Berlin, GER. p. 167-202.
- Potters, G; Pasternak, TP; Guisez, Y; Palme, KJ; Jansen, MAK. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* 12(3), 99-105.
- Shao, HB; Chu, LY; Jaleel CA; Zhao, CX. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biol.* 331, 215-225.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Wahid, A; Gelani, S; Ahsraf, M; Fooland, MR. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environ. Exp. Bot. 61:199-223.

Zhang SQ; Outlaw, WH. 2001. Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard cell apoplast and causes stomatal closure. Plant Cell Environ. 24, 1045-1054.

#### 4.4 USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LAS PLANTACIONES DE BANANO (MUSA AAA); EN EL MARCO DEL CONVENIO C-046-21 MADR-CIAT-AUGURA.

**Autores:** Franklin Palacios Zapata, Eliecer Díaz, Julián Andrés Valencia, Diego Alejandro Londoño, Diego Feria, Juan José Pérez, Helena Bornacelly y Sebastian Zapata Henao

##### Resumen

El cultivo de banano es altamente demandante de agua y requiere que el suelo permanezca con niveles óptimos de humedad, ya que la planta es bastante sensible al estrés hídrico tanto por déficit como por exceso. Por esto, es necesario tener herramientas que nos permitan conocer el estado del contenido hídrico del suelo, siendo una de estas el potencial mátrico. Con el objetivo de mejorar el uso eficiente de agua de riego, se evaluaron plantas en invernadero sometidas a diferentes condiciones hídricas y en campo con riego convencional y una disminución en la cantidad de agua aplicada normalmente. No se encontraron diferencias en el crecimiento y desarrollo de



las plantas, ni en la productividad del cultivo, con una disminución de la lámina de agua de riego aplicada. El potencial matérico es una herramienta que sirve para monitorear las condiciones hídricas del suelo, sin importar el tipo de textura del suelo y mejorar la eficiencia del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Riego de precisión, huella hídrica, potencial mátrico.

#### 4.4.1. Introducción

La red agroclimática bananera, con estaciones distribuidas en el Urabá Antioqueño y Magdalena, suministra información de tiempo y clima que permite hacer previsiones con cierto grado de certeza. Con los datos de precipitación, humedad del suelo y potencial mátrico, es posible diseñar un plan de manejo (general) ajustado a las necesidades de riego. Establecer un diseño hidráulico que conjugue criterios económicos y de uniformidad en las aplicaciones en funciones de las condiciones topográficas, edáficas y de diseño de los lotes, junto con las labores que el cultivo demanda en su fenología (capilaridad, captura de nutrientes por aporte de fertilización, profundidad radicular, entre otros) son

aspectos que requieren estudios básicos para asegurar el éxito en todo sistema de riego.

El suelo está compuesto por diversos materiales orgánicos e inorgánicos que componen la fase sólida y el ordenamiento entre estos compuestos determina la presencia de espacios porosos donde se encuentra el aire y donde se puede almacenar el agua. De igual manera, la textura del suelo influye en casi todos los procesos en forma directa o indirecta y está definida por el tamaño de las partículas minerales. Es así como el almacenamiento o retención de agua en el suelo se produce por diferentes fuerzas que actúan sobre la molécula de agua. Aquí hay involucrados diferentes estados energéticos que determinan que existan diferencias de energía potencial entre dos puntos, lo que permite que el agua se mueva entre esos dos puntos. Esta capacidad del suelo para retener agua, se expresa en unidades de presión, sin embargo, hay varias fuerzas actuando, por lo cual se establece que el “potencial total” relaciona el potencial matricial, potencial gravitacional, potencial de presión y potencial osmótico

Para tomar una decisión más acertada en la aplicación de riego, se plantea recurrir al criterio de potencial

mátrico, definido como las fuerzas de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo y a las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. El conjunto de estos dos tipos de fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción (por la matriz del suelo) y por capilaridad (por las mismas moléculas de agua) en suelos con un contenido hídrico por debajo del nivel de saturación (Angella *et al.*, 2016). Siendo el objetivo principal la optimización en el uso del agua, como innovación en la tecnología hídrica ya empleada en el sector bananero.

#### 4.4.2. Materiales y métodos

**4.4.2.1. Fase experimental bajo invernadero.** Se realizó en el municipio de Carepa, Antioquia. En las instalaciones del invernadero operado por Augura-Cenibanano. En esta fase se determinaron los umbrales de PM óptimos para el cultivo de banano, en este rango la planta de banano independientemente del tipo de suelo (**Tabla 1**), dispuso de un contenido adecuado de humedad.

**Tabla 1.** Tipo y textura de suelo empleado para la medición bajo condiciones de invernadero.

Textura	Símbolo	Tipo
Gruesa	Gr (FArA)	Franco Arcillo Arenoso
Media	Me (Far)	Franco Arcilloso
Fina	Fi (Ar)	Arcilloso

El ensayo se manejó bajo un diseño en bloques completos al azar en un arreglo factorial 5x3, bajo condiciones hídricas controladas (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Valores de humedad en el suelo basado en KPa como criterio de riego bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Indicador	Valor (kPa)
T1	Saturación	0-5
T2 (control)	Capacidad de campo	15-20
T3	Déficit leve	30-40
T4	Déficit moderado	45-55
T5	Sin riego	

Se manejó un total de 15 tratamientos (3 textura x 5 escenarios hídricos del suelo), cada uno con 3 repeticiones, donde se establecieron una planta por caneca de 90 cm de alto y 30 cm de radio (**Figura 1**). El material empleado fue clon de musácea Cavendish - Gran enano por ser el más susceptible ante condiciones de estrés hídrico (déficit y excesos). En cada repetición se instalaron dos sensores de PM, a 20 y 40 centímetros (cm) respectivamente (**Figura 2**), dado que es a la profundidad donde se encuentran el mayor porcentaje de raíz de las

plantas (Soto, 1992). Finalmente se seleccionó al azar una de las tres repeticiones para tomar la decisión de aplicar riego, cuando llegue al límite inferior establecido en cada tratamiento. Es importante mencionar que el experimento contó con sistema de riego por goteo automático (**Figura 3**). Se realizaron mediciones alométricas, emisión de hojas, seguimiento fenológico, estrés y transpiración.



**Figura 1.** Caneca para el almacenamiento de las unidades experimentales.



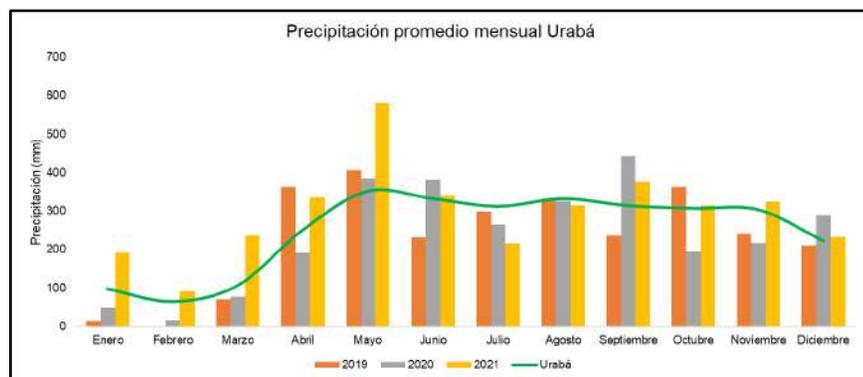
**Figura 2.** Sensores Irrometer Watermark 200S.



**Figura 3.** Sistema de riego automático: controlador de riego Mastia 132 3k (A), válvula (B), gotero tipo botón (C) y gotero tipo gota (D).

**4.4.2.2.Fase de campo.** El proyecto se llevó a cabo en 3 fincas de la región de Urabá y en una finca del municipio Zona Bananera de la región del Magdalena. En el Urabá antioqueño existe un régimen de lluvias monomodal (una época seca y

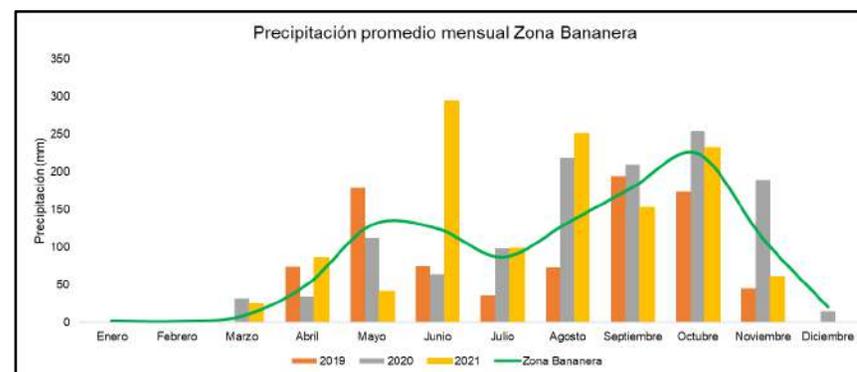
una lluviosa en el año), las cuales normalmente están entre enero marzo (época seca) y mayo noviembre (época lluviosa) respectivamente. Los meses de diciembre y abril son meses de transición (**Figura 4**).



**Figura 4.** Precipitación promedio mensual multianual (1981 – 2010) Urabá. Fuente: IDEAM, 2022 y elaboración propia.

La Zona Bananera del Magdalena presenta un régimen de precipitaciones bimodal, entre diciembre y abril se presenta la época seca, cuando el cultivo de banano está bajo una condición de déficit hídrico y necesidades de riego. En los meses comprendidos entre mayo a agosto, es considerado un periodo lluvioso; sin embargo, si la distribución temporal de la lluvia no es homogénea, en días seguidos sin lluvias se hace necesario aplicaciones de riegos suplementarios para un adecuado desarrollo y producción del cultivo. En el trimestre septiembre a

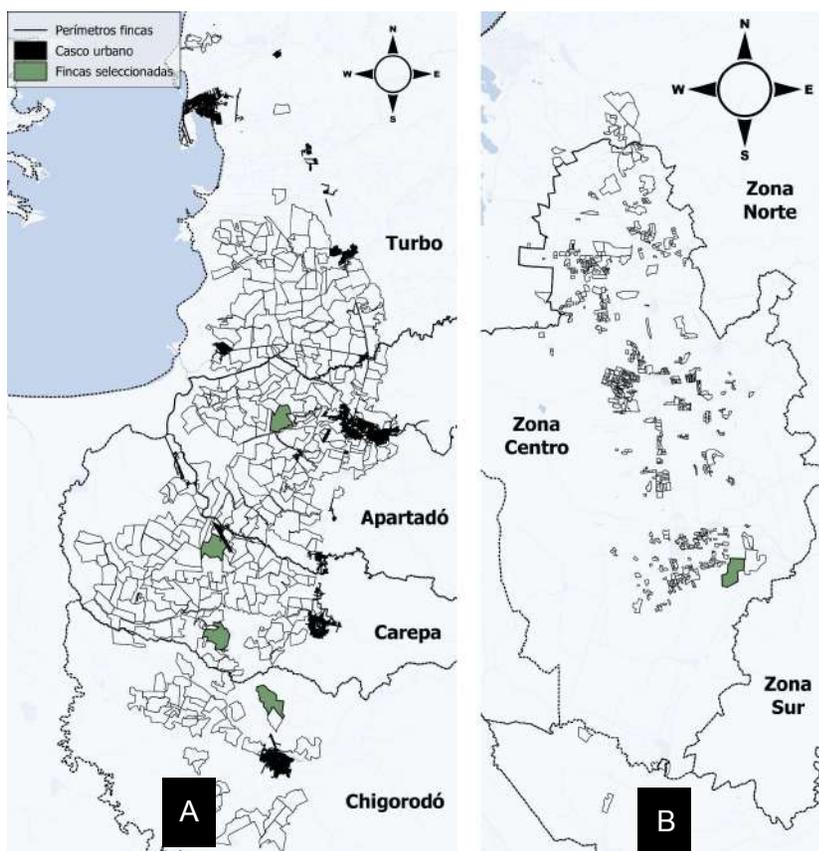
noviembre, es cuando se registran los mayores volúmenes de lluvia en la zona, siendo octubre el mes con los mayores registros (**Figura 5**).



**Figura 5.** Precipitación promedio mensual multianual (1981 – 2010) Zona bananera. Fuente: IDEAM, 2022 y elaboración propia.

**4.4.2.3. Selección de áreas.** La fase en campo se realizó en las fincas Santa María, Los Cedros, Trapiche y Bananal en la región de Urabá y La Joya en el municipio Zona Bananera en Magdalena (**Figura 6**). Se caracterizó la forma de estimación de la lámina de riego. Se realizó un análisis integrado de variabilidad de suelos, en el que se evaluó textura, pH y resistencia a la penetración. Con este muestreo, se generaron mapas de variabilidad, donde se seleccionaron los lotes con las mayores similitudes en estas variables, y la misma variedad

sembrada. Además, se eligieron dos áreas con válvulas de riego distintas, en las cuales se aplicó riego con el criterio que utiliza cada finca (Convencional) y con una disminución de hasta el 50%, dependiendo de las condiciones hídricas del suelo, en la lámina aplicada normalmente (Ajustado).



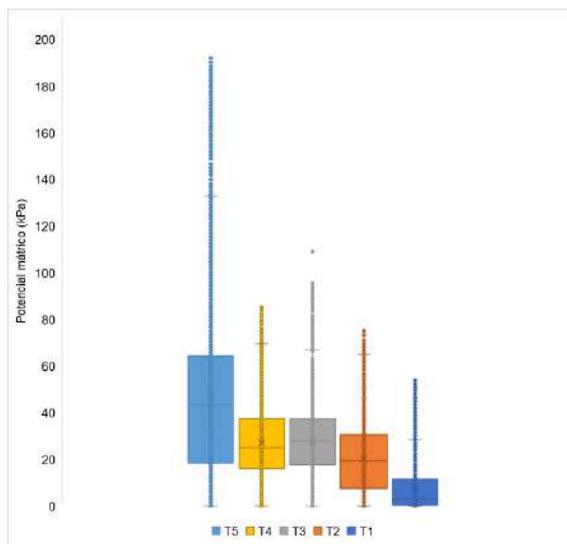
**Figura 6.** Ubicación de fincas proyecto uso eficiente de agua de riego. Fuente: elaboración propia.

Se evaluaron las siguientes variables fisiológicas: alometría (perímetro y altura del pseudotallo, emisión foliar semanal), número de hojas, expresiones de estrés (raíces adventicias), medición de parámetros productivos (peso de racimo, número de manos, longitud y calibre de la segunda mano, ratio y merma), en plantas en etapas fenológicas F10 y diferenciación. Se realizó seguimiento al comportamiento del potencial mátrico del suelo, con el sensor Irrrometer Watermark.

#### 4.4.3. Resultados y discusión

**4.4.3.1. Fase de invernadero.** Los tratamientos de saturación (T1) y capacidad de campo (T2) presentaron los valores más bajos de potencial mátrico, con una media de 3 y 19 kPa respectivamente (**Figura 7**). Los tratamientos de déficit leve (T3), moderado (T4) y sin riego (T5) registraron los valores más altos de potencial mátrico, siendo el tratamiento sin riego el que reportó el valor más alto, de 193.1 kPa. Estos

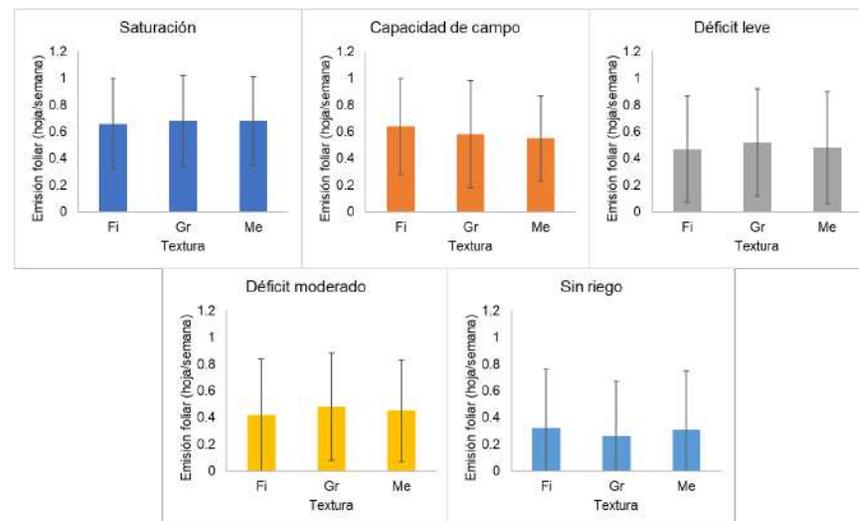
resultados concuerdan con la oferta hídrica planteada inicialmente para cada tratamiento.



**Figura 7.** Comportamiento del potencial mátrico del suelo en los 5 tratamientos evaluados.

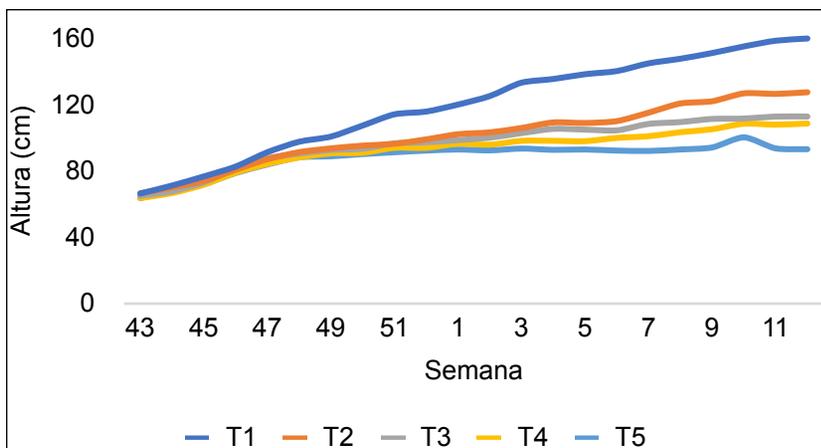
No se encontraron diferencias en la emisión foliar en los 3 tipos de texturas evaluadas en el mismo tratamiento en la fase de invernadero (**Figura 8**). Los tratamientos de Saturación (T1) y Capacidad de campo (T2) presentaron los valores más altos de emisión foliar promedio, mientras que los tratamientos de déficit leve (T3) y moderado (T4) presentaron valores similares de emisión foliar promedio. Estos resultados indican que al mantenerse niveles similares en los valores de potencial mátrico, sin importar

la textura del suelo, las plantas tendrán una respuesta semejante en el número de hojas emitidas por semana.

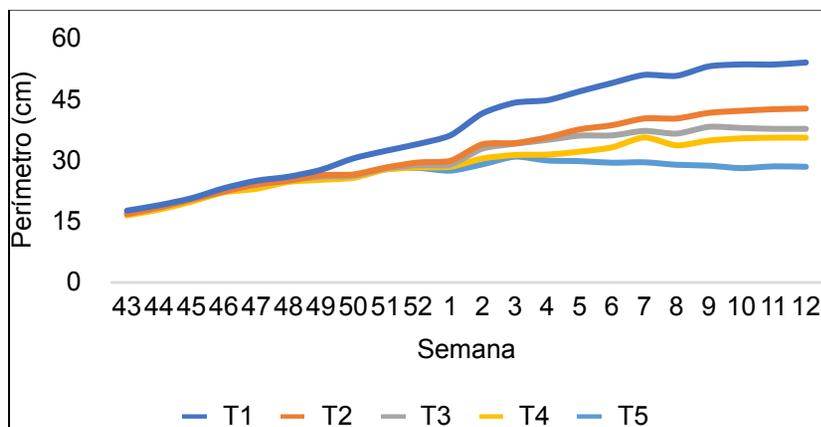


**Figura 8.** Emisión foliar promedio en los 5 tratamientos.

Los tratamientos de saturación hídrica (T1) y capacidad de campo (T2), presentaron los valores más altos de crecimiento y desarrollo (altura y perímetro) en las plantas evaluadas (**Figura 9** y **Figura 10**). En este mismo aspecto, no se presentaron diferencias entre los tratamientos de déficit leve (T3) y déficit moderado (T4). Esto parece indicar que son niveles en el contenido hídrico del suelo que pueden afectar el crecimiento y desarrollo del cultivo.



**Figura 9.** Promedio de altura en plantas de banano bajo diferentes condiciones hídricas.

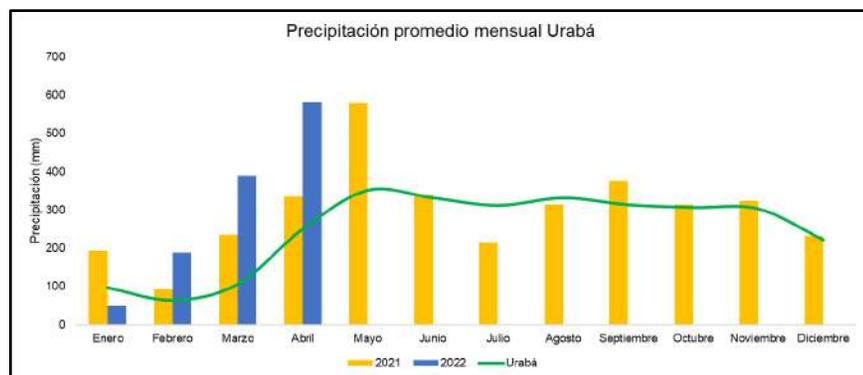


**Figura 10.** Promedio de perímetro del pseudotallo en plantas de banano bajo diferentes condiciones hídricas.

**4.4.3.2. Fase de campo.** El riego en Urabá es complementario, se utiliza principalmente en el primer trimestre del año para suplir el déficit hídrico que se presenta en esta época por el descenso en las lluvias. En el trimestre enero - febrero - marzo del 2022 se registraron acumulados de precipitación un 133% más altos que lo que se presenta normalmente en Urabá (**Figura 11**). Estas lluvias (mayores a 1 mm) se presentaron en promedio en 39 de los 90 días del trimestre. Este aumento fue producto del fenómeno El Niño oscilación del sur (ENSO por sus siglas en inglés) en su fase "La Niña", el cual estuvo presente en el momento de evaluación de la fase en campo (**Tabla 3**) y afectó los regímenes de precipitación en la zona. Esta condición generó la suspensión de aplicaciones de las láminas de riego, lo que impidió la evaluación de las variables respuesta.

**Tabla 3.** Comportamiento de la temperatura superficial del mar en el cuadrante Niño 3.4 del océano Pacífico. Periodos cálidos (rojo) y fríos (azul) basados en un umbral de +/- 0,5°C a partir de periodos base centrados de 30 años actualizados cada 5 años. Fuente: NOAA, 2022.

Año	DEF	E F M	F M A	M A M	A M J	M J J	J J A	J A S	A S O	S O N	O N D	N D E
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1	-1
2022	-1	-0.9	-1	-1.1	-1	-0.9	-0.8	-0.9	-1	-1		

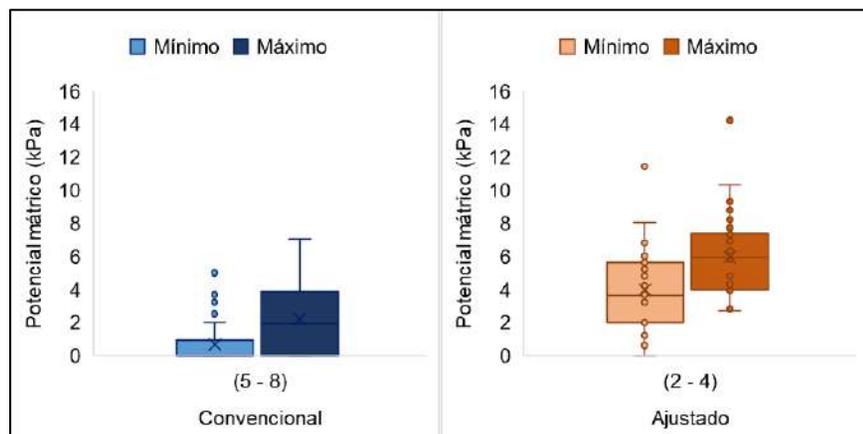


**Figura 11.** Relación entre la precipitación de enero - abril 2022 y el promedio mensual multianual (1981 - 2010) en Urabá.

Para Magdalena, la finca seleccionada tradicionalmente estima el valor de la lámina de riego a aplicar usando balances hídricos generales, es decir, la diferencia entre la entrada y la salida: valor de lluvia (entrada) - evapotranspiración (salida) = necesidad de riego. El valor de evapotranspiración es estimado, cuando se cuenta con información climática, usando el coeficiente de cultivo para banano proporcionado por FAO: 1.2. Esta lamina calculada se distribuye en 2 turnos de riego (diurno y nocturno).

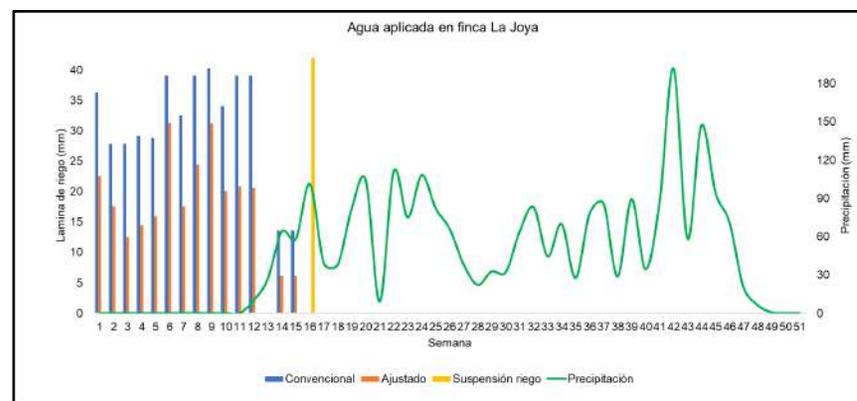
A través del monitoreo del potencial mátrico del suelo, se logró disminuir gradualmente la lámina aplicada tradicionalmente en la finca (Convencional) al final del proyecto a 1 turno de riego (Ajustado). El potencial mátrico en el tratamiento convencional con la lámina de riego más usada (5 - 8 mm/día) osciló diariamente entre 0 y 8 kPa y entre 0 y 14 kPa en el Ajustado (**Figura 12**). Se puede apreciar como en el tratamiento convencional las plantas estuvieron sometidas en mayor tiempo a potenciales de saturación (0-5 kPa) en comparación al tratamiento ajustado (**Figura 12**). En el tratamiento ajustado el suelo

estuvo en condiciones hídricas entre saturación y capacidad de campo, con una menor lámina de riego aplicada que el tratamiento convencional (**Figura 12**).



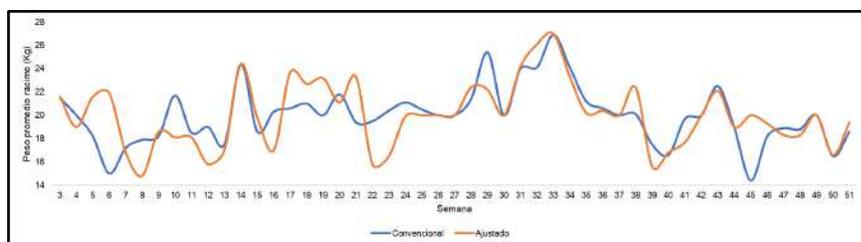
**Figura 12.** Comportamiento del potencial mátrico del suelo con la lámina de riego (mm/día) más usada: Convencional y Ajustado.

En el tratamiento convencional se aplicaron 440.51 mm de agua por riego y 261.37 mm en el tratamiento ajustado (**Figura 13**). Esto representó una disminución en la lámina de agua aplicada de 40.7% y de 34.7% en el tiempo de uso del sistema de riego. Los riegos se suspendieron en la semana 16 debido al inicio del periodo de lluvias en la región.

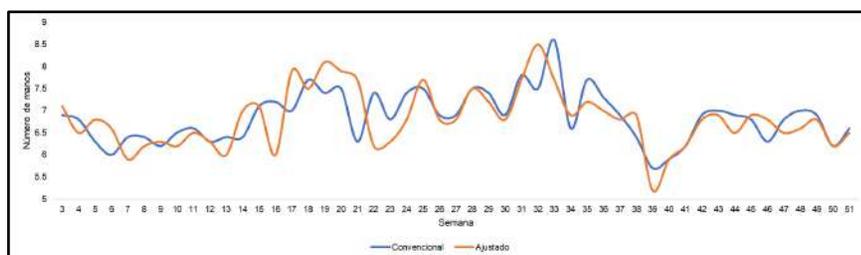


**Figura 13.** Cantidad de agua aplicada por riego y precipitación en finca La Joya 2022.

Esta reducción en el uso de agua de riego no se vio reflejada en la productividad de la finca. No hubo diferencias significativas en el peso promedio del racimo, compartiendo ambos tratamientos un promedio en 2022 de 20 kg (**Figura 14**). El comportamiento en el número de manos fue muy similar en ambos tratamientos. Se tuvo en promedio 6.9 manos a cosecha en el tratamiento convencional y 6.8 en el ajustado (**Figura 15**).

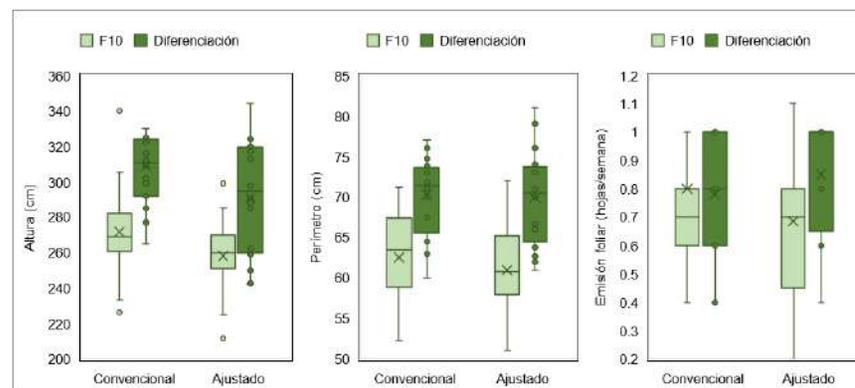


**Figura 14.** Peso promedio de racimo en finca La Joya año 2022.



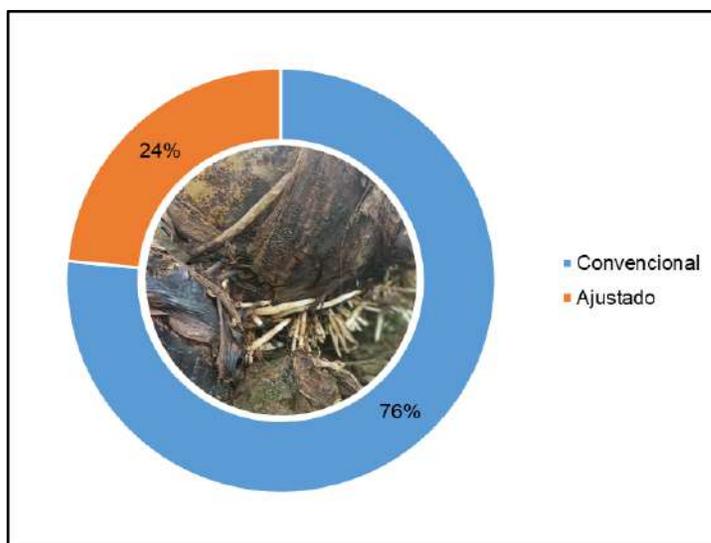
**Figura 15.** Número de nudos en finca La Joya año 2022.

En campo no se encontraron reflejados efectos de la disminución de la lámina de agua aplicada en el crecimiento y desarrollo de las plantas evaluadas. Se obtuvieron condiciones similares de altura, perímetro y emisión foliar entre las plantas en etapa F10 de ambos tratamientos (**Figura 16**). Esta misma situación se evidenció en las plantas en etapa de diferenciación floral (**Figura 16**).



**Figura 16.** Crecimiento y desarrollo de plantas con uso tradicional de agua de riego (Convencional) y disminución (Ajustado) en finca La Joya año 2022.

Una de las formas en se puede observar estrés en el cultivo por excesos hídricos o falta de aire en el suelo, es con la presencia de raíces adventicias, las cuales son una adaptación morfológica que desarrollan las plantas para sobrevivir a la falta de oxígeno (Moreno y Fischer ,2014). Se encontró que el 76% de los casos en los que se evidenciaron raíces adventicias provinieron de plantas del tratamiento convencional (**Figura 17**). Esto refleja una menor exposición del área evaluada con el tratamiento ajustado al anegamiento.



**Figura 17.** Proporción de raíces adventicias encontradas en las dos áreas de evaluación.

#### 4.4.4. Conclusiones

- Mantener unas condiciones hídricas adecuadas en el suelo, sin importar el tipo de textura, aumentará el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se debe tener en cuenta la curva de secado de cada tipo de suelo, para mejorar la eficiencia del recurso hídrico y evitar pérdidas en los niveles de humedad óptimos para el cultivo de banano.

- El fenómeno ENSO afecta directamente los regímenes de precipitación en la región de Urabá, especialmente en el primer trimestre del año. Se debe monitorear y estar atento a su presencia para programar las aplicaciones de riego cuando sea necesario y así evitar saturación de los suelos y afectación en el cultivo.
- Se puede disminuir la lámina de riego aplicada en el cultivo sin afectar la productividad del mismo, realizando un monitoreo constante de las condiciones hídricas del suelo y de factores fisiológicos de estrés en las plantas, tales como alertas meteorológicas y fisiológicas que nos ayudan a determinar el momento y cantidad de agua a aplicar.
- El potencial mátrico es una herramienta útil para conocer el estado hídrico de los suelos. Su monitoreo constante ayudará a realizar un mejor uso del agua para riego y puede disminuir los costos de producción asociados a las prácticas de irrigación.



#### 4.4.5. Referencias bibliográficas

Angella, G; Frías, C; Salgado, R. 2016. Conceptos básicos de las relaciones agua - suelo - planta. P 16. INTA ediciones. ISSN 1850-4086

Soto, M. 1992. Bananos, técnicas de producción, manejo postcosecha y comercialización. University of Minnesota.

IDEAM. 2022. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Obtenido de dhime. ideam: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

NOAA, 2022. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Obtenido de: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

Moreno, A. Fischer, G. 2014. Efectos del anegamiento en los frutales. Temas agrarios. ISSN-e 0122-7610.

## 5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN MEJORAMIENTO GENÉTICO

### 5.1. SELECCIÓN DE CULTIVARES DE BANANO CON FUENTE DE RESISTENCIA A *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* – Foc R4T EN COLOMBIA

**Autores:** Andrés Mauricio Pinzón, Mónica Betancourt Vásquez, Rommel Igor León Pacheco, Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo y Sebastián Zapata Henao.

#### Resumen

En el marco del macroproyecto denominado “Programa de Investigación en Foc R4T” a los cuales pertenecen los proyectos: (i) “Fortalecimiento de capacidades para la prevención y el manejo de la marchitez por *Fusarium* de las Musáceas en América Latina y el Caribe” y (ii) el proyecto “Selección de cultivares de banano con fuente de resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* - Foc R4T en Colombia” liderado por las instituciones EMBRAPA, AUGURA y AGROSAVIA, se han introducido 28 diploides

mejorados y 3 híbridos con fuente de resistencia a Foc para ser establecidos en el campo experimental ubicado en Palmira adscrito a Agrosavia. De igual manera, se introdujeron cultivares comerciales BRS Platina y BRS Princesa, este último para evaluación de potencial de mercado en Colombia para exportación. Por otra parte, se realizó la primera visita de investigadores de AGROSAVIA y AUGURA a EMBRAPA Mandioca y Fruticultura en la ciudad de Cruz das Almas en el estado de Bahía-Brasil, con la premisa de intercambiar experiencias realizadas por las instituciones mencionadas en la contención y prevención de la enfermedad en áreas productoras de banano de exportación en Colombia, como también, conocer el programa de mejoramiento genético desarrollado por EMBRAPA desde 1983 que tiene como objetivo la obtención y evaluación de genotipos con tolerancia/resistencia a factores bióticos y abióticos mediante mejoramiento convencional y técnicas de biología molecular. Las acciones anteriormente mencionadas corresponden a las primeras actividades que se han adelantado dentro del marco del proyecto. De igual manera, durante los próximos años se estarán llevando a cabo la evaluación de resistencia de clones de banano a Foc R4T bajo condiciones controladas (Vivero) y posteriormente campo

y el desarrollo de madres tetraploides con ascendencia a Cavendish como base para la obtención de cultivares con fuente de resistencia a Foc R4T.

**Palabras clave:** Mejoramiento Genético, Resistencia, Musáceas, Foc R4T

### 5.1.1. Introducción

Una de las principales enfermedades que afecta a las musáceas es la marchitez por *Fusarium* causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), un hongo habitante natural del suelo que coloniza los vasos de la planta a través de heridas leves o aberturas naturales en las raíces, causando obstrucción del xilema y muerte de la planta (Ploetz, 2015). Los patógenos fúngicos se les atribuye entre el 27 % y el 42 % de las pérdidas de alimentos a nivel mundial (Lescott et al., 2015) y en el caso de Foc las pérdidas en cultivos de musáceas pueden alcanzar un 80% en variedades susceptibles (Ploetz et al., 2015). De este hongo se conocen 4 razas genética y patogénicamente diversas, siendo la Raza 4 Tropical considerada la más destructiva debido a que no solo afecta a las variedades del subgrupo Cavendish, sino también a un grupo considerable de variedades de

musáceas importantes para la seguridad alimentaria y para la generación de ingresos de los pequeños productores.

En Colombia, el cultivo del banano ocupa el 3 % de la superficie sembrada en cultivos permanentes, genera 150.000 empleos y representa el 12 % de las exportaciones agropecuarias. El sector bananero produjo 111 millones de cajas por un valor de 898 millones de dólares en el 2021 (Augura, 2021). En 2019, se registraron 95.129 ha de banano (exportación y tradicional), distribuidas en 20 departamentos de Colombia, de los que se destacan: Antioquia (40.000 ha, 42 %), Magdalena (13.261 ha, 14 %), Nariño (8.465 ha, 8,9 %), Valle del Cauca (6.533 ha, 7 %) y La Guajira (2.866 ha, 3 %) (Agronet, 2019).

La eventual llegada de Foc R4T a Colombia, más exactamente a los departamentos de la Guajira y el Magdalena ha generado gran preocupación y ha activado la alerta en el gremio bananero latinoamericano, poniendo en marcha diversas estrategias de contención y prevención, puesto que, si no se toman las medidas de vigilancia fitosanitaria con rigurosidad, la rápida dispersión del hongo puede llegar a subregiones del departamento de Antioquia como lo es el Urabá, la más

próspera en materia económica, siendo el cultivo de banano el principal renglón de productividad con un área plantada de 34.770 hectáreas de banano (AUGURA, 2021). La presencia de Foc R4T, afectaría drásticamente la economía de la región y consecuentemente la del país, debido a que es un producto estratégico de exportación y una fuente básica de alimento en cientos de hogares colombianos.

En ese contexto, la selección de material vegetal como fuente de resistencia es la mejor medida de control que se tiene frente a la enfermedad. El Programa de Mejoramiento Genético del banano en el mundo está basado en cruzamientos entre triploides comerciales y diploides mejorados cuyo objetivo es el desarrollo de bananos más productivos, resistentes a las principales enfermedades: Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*), Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), Moko (*Ralstonia solanacearum*) y plagas (nematodos y picudos). En los últimos años diversos trabajos se han orientado hacia el mejoramiento genético, sin embargo en Colombia, no se ha implementado un programa de mejoramiento genético en banano y es así como nace el proyecto de cooperación científica entre las instituciones AGURA/AGROSAVIA/EMBRAPA, esta última con

una amplia experiencia en mejoramiento genético del banano, evidenciado desde 1983 con el inicio del programa de mejoramiento en la sede de Cruz das Almas en el estado de Bahía-Brasil, Mandioca y Fruticultura, que tiene como objetivo la obtención y evaluación de genotipos con tolerancia/resistencia a factores bióticos y abióticos mediante mejoramiento convencional y técnicas de biología molecular que permiten reducir el tiempo y aumentar la eficiencia en la selección de genotipos promisorios de las progenies obtenidas. Teniendo en cuenta las premisas anteriores, el presente trabajo pretende mostrar las actividades realizadas en relación a la introducción del material vegetal con fuente de resistencia y la capacitación a los investigadores de Agrosavia y Augura/Cenibanano en las técnicas de cruzamiento utilizadas por Embrapa dentro de su programa de mejoramiento genético.

### **5.1.2. Materiales y métodos**

**5.1.2.1. Introducción de germoplasma.** La metodología de importación se realizó teniendo en cuenta la guía desarrollada por el Instituto Colombiano

Agropecuário (ICA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) para importar a Colombia germoplasma y material de propagación de plátano y banano (2021), establecida en el marco de la resolución 11912 de 2019 y 72820 de 2020.

**5.1.2.2. Capacitación en técnicas de cruzamiento utilizada por Embrapa en su programa de mejoramiento genético en banano.** Durante los días 26 al 30 de septiembre de 2022 investigadores de AGROSAVIA Y AUGURA realizaron una visita a EMBRAPA Mandioca y Fruticultura en la ciudad de Cruz das Almas en el estado de Bahía-Brasil, con la premisa de intercambiar experiencias realizadas por las instituciones mencionadas en la contención y prevención de la enfermedad en áreas productoras de banano de exportación en Colombia, como también, conocer el programa de mejoramiento genético desarrollado por EMBRAPA desde 1983 que tiene como objetivo la obtención y evaluación de genotipos con tolerancia/resistencia a factores bióticos y abióticos mediante mejoramiento convencional y técnicas de biología molecular que

permiten reducir el tiempo y aumentar la eficiencia en la selección de genotipos promisorios de las progenies obtenidas.

### 5.1.3. Resultados y discusión.

#### 5.1.3.1 Introducción de germoplasma y cuarentena. A

continuación, se presenta los procedimientos realizados como resultado de la introducción de germoplasma de *Musa* spp. El primer envío de germoplasma a Colombia desde Brasil, fue en el mes de julio de 2021. En ese primer envío, se introdujeron 16 diploides mejorados y cultivares comerciales BRS Platina y BRS Princesa, este último para evaluación de potencial de mercado en Colombia para exportación. El material estuvo bajo estrictos protocolos de cuarentena establecidos por la ONPF (ICA) del país, en el cual se les realizó un análisis para identificar los riesgos asociados. Sin embargo, para el caso de Foc R4T, el ICA sobrevalora el riesgo y exige la condición libre de todas las posibles y principales plagas que se relacionan a continuación y que pueden venir asociadas al germoplasma o material de propagación (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Plagas de interés asociadas al germoplasma o material de propagación introducido.

A G E N T E CAUSAL	PLAGA
VIRUS	<i>Banana bunchy top virus</i> (bbtv) (familia: Nanoviridae, género: Babuvirus).
	<i>Abaca bunchy top virus</i> (abtv) (familia: Nanoviridae, género: Babuvirus).
	<i>Banana streak GF virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak IM virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak MY virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak OL virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak UA virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak UI virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak UL virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak UM virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana streak VN virus</i> (familia: Caulimoviridae, género: Badnavirus).
	<i>Banana bract mosaic virus</i> (BBrMV) (Familia: Potyviridae, género: Potyvirus).
	<i>Cucumber mosaic virus</i> (cmv) (familia: Bromoviridae, género: Cucumovirus).
	<i>Abaca mosaic virus</i> (SCMV-Ab) (familia: Potyviridae, género: Potyvirus).
	<i>Banana mild mosaic virus</i> (BanMMV) (familia: Betaflexiviridae, subfamilia: Quinvirinae).
	<i>Banana virus X</i> (bvx) (familia: Betaflexiviridae, subfamilia: Quinvirinae).
	<i>Fusarium odoratissimum</i> (Maryani et al., 2018) (Syn: <i>Fusarium R4T</i> ).
<i>Ralstonia solanacearum</i> Raza 2 (Smith, 1896; Yabuuchi et al., 1995).	
HONGO	
BACTERIA	

Por otra parte, en el mes de noviembre de 2022 se realizó un segundo envío de germoplasma, en el cual se introdujeron 12 diploides mejorados, 3 híbridos y 16 somaclones, 10 de los cuales son del cultivar Gran Enano.

Los somaclones son resistentes a la raza 4 subtropical de *Fusarium*. El objetivo es evaluar somaclones para la resistencia a Foc R4T. Los somaclones no forman parte del proyecto Embrapa/Agrosavia/Augura, no obstante, fueron enviados a Colombia para pruebas contra Foc R4T debido al presente acuerdo de colaboración. Este segundo envío de germoplasma se encuentra en periodo de cuarentena establecido por el ICA. Posterior a la fase de diagnóstico, se realizó la fase de aclimatación o endurecimiento en el cual el material de propagación *in vitro* se transfirió a bandejas con el fin de facilitar la adaptación a las condiciones de invernadero por un tiempo aproximado de 45 días. Durante esta fase, se realizó el acompañamiento asegurando un adecuado manejo agronómico y seguimiento fitosanitario de las plantas (**Figura 1**).



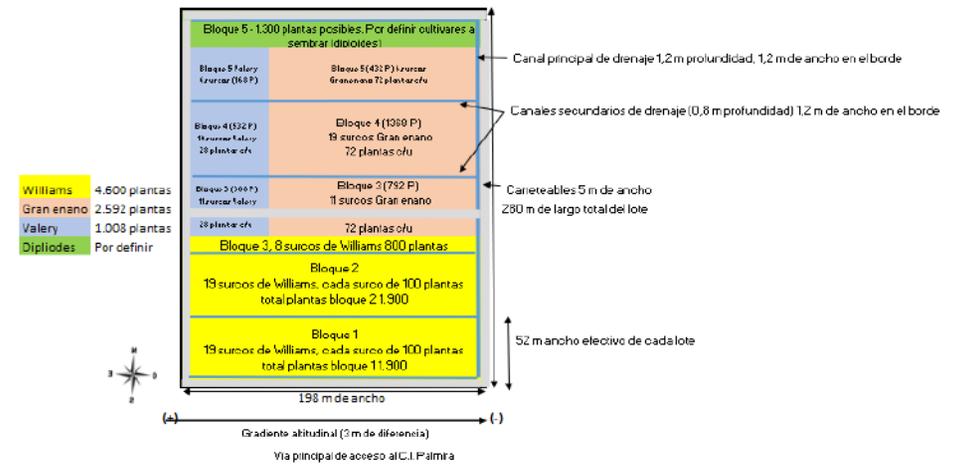
**Figura 1.** Aclimatación de material de propagación en bandejas en condiciones de invernadero.

**5.1.3.2. Fase de vivero.** Luego de la fase de endurecimiento las plantas fueron trasplantadas a bolsas con sustrato estéril para permitir el desarrollo vegetativo, realizando un seguimiento constante en relación al manejo agronómico y fitosanitario con el fin de detectar la posible presencia de síntomas de enfermedad o signos de las plagas mencionadas anteriormente. El tiempo de duración en fase de vivero es aproximadamente de 5 meses, periodo durante el cual se espera el desarrollo de al menos diez hojas verdaderas (**Figura 2**).



**Figura 2.** Establecimiento en fase de vivero de material introducido de Embrapa/Brasil.

**5.1.3.3. Fase de campo.** A continuación, se relaciona el diseño experimental y distribución de bloques para el establecimiento de la parcela de cruces correspondiente a un área total de 5.5 ha en la estación experimental de Palmira adscrita a Agrosavia. De igual manera, las cantidades sembradas de cada material, la distancia de siembra utilizada que corresponde a 2,8 metros entre surcos y 2 metros entre plantas y demás información de interés (**Figura 3**).



**B**

**Figura 3.** Fase de campo de parcelas de cruzamiento establecidas en la estación experimental de Agrosavia/ Palmira **A** Diseño experimental y distribución de bloques **B** Registro fotográfico.

#### 5.1.3.4. Capacitación en técnicas de cruzamiento utilizadas por EMBRAPA en su programa de mejoramiento genético en banano.

La selección del diploide mejorado es la etapa fundamental para el éxito del proceso de cruzamiento. Esta etapa permite la selección de híbridos promisorios dentro de las progenies generadas. El diploide mejorado debe presentar algunas características agronómicas de interés como: porte bajo, ciclo precoz, más de cien frutos por racimo, producción de polen de calidad y cantidad entre otras características deseadas.

Para la selección del padre o planta donadora de polen, el día anterior previo al día de la colecta, se realizó la identificación y selección de la planta. Inicialmente, la bellota o bacota se cubrió con una bolsa de tejido de malla fina negra con el fin de proteger las flores de polinización de otros diploides próximos, lo que dificultaría la identificación de la genealogía del híbrido obtenido. Esta actividad debe ser realizada antes del inicio de la antesis del polen de la primera inflorescencia (flor) y permanecer hasta la finalización del uso del diploide en el proceso de cruzamiento. La bolsa de tejido únicamente se retira en el momento de la colecta del polen.

La colecta del polen se realiza diariamente en horas de la mañana para uso en el mismo día. Primeramente, se debe verificar que la flor en formación este emitiendo polen y enseguida se debe retirar cuidadosamente de la bellota o bacota para finalmente depositarla en un recipiente que evite el paso de la luz con el fin de proteger la calidad y viabilidad del polen (**Figura 4**).



**Figura 4.** Proceso de selección de padres o plantas donadoras para su posterior uso en el cruzamiento **A** Cubrimiento de la bellota o bacota **B** y **C** Colecta y depósito en recipiente y **D** Forma adecuada de tomar las flores masculinas.

La planta que será utilizada como madre en el cruzamiento debe tener la inflorescencia que futuramente dará origen al racimo. La bellota se debe cubrir con un

saco de fibra posterior a la emisión antes que la bráctea abra y esponga las primeras flores femeninas al ambiente. Esta actividad garantiza que polen de otros diploides polinicen la planta. La protección es realizada manualmente con auxilio de una escalera, cubriendo con el saco de fibra e identificando con una lámina metálica con la siguiente descripción: bloque, fila, número de planta, número de cruce/año. La emisión de las flores se debe revisar diariamente para evitar que las flores abran y se pierda el momento de realizar el cruzamiento, sin embargo, si esto ocurre, se puede cubrir a partir de la mano siguiente (**Figura 5**).



**Figura 5.** Proceso de selección de madres o plantas receptoras para su posterior uso en el cruzamiento.

La planta madre estará receptiva para recibir el polen cuando las flores de la primera mano sean emitidas, en ese estado el polen del diploide mejorado seleccionado para uso como padre en el cruzamiento debe estar colectado el mismo día. El cruzamiento entre la planta madre y el diploide mejorado debe ser realizado entre las 7am y 10am periodo en que la flor femenina estará receptiva. Posterior a la retirada del saco de fibra de protección de la inflorescencia de la planta madre, se remueve la bráctea que envuelve las flores de la primera mano e inmediatamente se toman las flores masculinas que fueron depositadas en el recipiente colocándolas en contacto con las flores de la planta madre haciendo movimientos repetitivos de contacto entre las flores del diploide y la planta madre observando que los granos de polen queden adheridos sobre las flores femeninas. Posterior a la polinización, nuevamente se coloca el saco de protección cubriendo la inflorescencia de la planta madre. El día siguiente se repite el proceso para la polinización de las flores de la segunda mano con el mismo polen del diploide mejorado recolectado el mismo día. El proceso de cruzamiento se realiza diariamente cada vez que la planta emite una nueva flor hasta que las

flores hermafroditas sean visibles indicando que todas las flores femeninas fueron polinizadas (**Figura 6**).



**Figura 6.** Proceso de cruzamiento de las plantas donadoras o flores masculinas con las flores de la planta madre **A** Polen viable de planta donadora o masculina **B** Cruzamiento colocando en contacto la planta donadora con la planta madre o receptora.

Para la rastreabilidad de los cruzamientos, la placa marcada con la información descrita anteriormente es fijada en la planta madre conteniendo toda la información necesaria para la identificación del proceso de cruzamiento. El día anterior se debe realizar la

planificación de los cruzamientos, el cual se identifican progenitores padres y madres.

La planilla debe tener la siguiente información:

- Año, bloques y responsables.
- Código de la polinización
- Localización: descripción de la ubicación del lote.
- Madre y padre.
- Fecha de inicio del primer cruzamiento.
- Número de manos (1-14)
- Fecha de finalización: esta fecha corresponde cuando la última polinización tiene al menos 48 horas de haberse realizado.

La información que se describe anteriormente es de suma importancia para replicarla en las parcelas de los cruzamientos en Palmira-Valle.

Posterior a la finalización de los cruzamientos el racimo es cosechado y direccionado al laboratorio donde se realiza la extracción y selección de las semillas. Este proceso se realiza cuando el racimo está completamente maduro realizando cortes longitudinales extrayendo las semillas

de la pulpa de la fruta, las cuales son lavadas con agua y filtradas en un cedazo para eliminar el exceso de mucilago. Las semillas son secadas, debidamente identificadas y enviadas al laboratorio de cultivo de tejidos donde son sometidas al cultivo de embriones. Previo al envío al laboratorio de cultivo de tejidos se diligencia una planilla con informaciones de los parentales utilizados en el cruzamiento (**Figura 7**).



**Figura 7.** Proceso de extracción y selección de semillas **A** Corte longitudinal de la fruta **B** Presencia de semilla en la fruta **C** Lavado y selección de semillas.

Posterior al lavado y selección, la semilla es llevada al laboratorio de cultivo de tejidos donde se realizará el rescate de embriones, las semillas extraídas son previamente lavadas con agua, etanol (5 minutos) y una solución de hipoclorito por 30 minutos, con el fin de

eliminar impurezas, luego se secan con papel filtro y se realiza un corte con bisturí para la extracción del embrión, el cual se transfiere a placas de Petri con medio SM (5-8 embriones/placa), posteriormente, se incuban 12 horas de luz y 12 de oscuridad a 20-30 °C hasta que el embrión emita la primera hoja (20 días aprox). Luego se procede a extraerla de la placa de Petri y se transfiere a tubos de ensayo con medio SM, las cuales serán conservadas a 16 horas de luz a 30 °C y 8 horas de oscuridad a 15 °C, respectivamente (**Figura 8**).



**Figura 8.** Proceso de extracción y rescate de embriones **A** y **B** Corte transversal de la semilla **C** Extracción de embrión y siembra en placas de Petri con medio SM **D** Almacenamiento en cuarto de conservación.

Para realizar las pruebas de resistencia en campo infestado con *Fusarium*, previamente las plantas son aclimatadas inicialmente en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura y humedad.

Inicialmente, se aclimatan en bandejas durante 20 días a temperatura de 22 a 25 °C. Posteriormente, se disponen a temperatura ambiente bajo poli sombra y finalmente se trasplantan a el lote previamente inoculado con *Fusarium* donde se realizan las evaluaciones de incidencia y severidad (**Figura 9**).



**Figura 9.** Fase de aclimatación y selección para resistencia de *Fusarium* **A** Pre-aclimatación en bandejas durante 20 días a temperatura de 22 a 25 °C **B y C** Aclimatación a temperatura ambiente de 25 a 27 °C **D** Trasplante a lote con infectado con *Fusarium*.

#### 5.1.4. Conclusiones

- El establecimiento de las parcelas de cruzamiento dentro del programa de mejoramiento genético de banano, será pionero en Colombia, lo que permitirá obtener a mediano y largo plazo material tolerante y/o resistente a *Foc R4T*.
- La capacitación a investigadores de AGROSAVIA y AUGURA, fortalecerá las capacidades de talento humano y permitirá continuar con los procesos de investigación en procura de variedades resistentes a enfermedades de importancia económica que afectan el cultivo del banano.
- En el marco del presente proyecto liderado por las instituciones EMBRAPA, AUGURA y AGROSAVIA, se espera contribuir a mejorar la productividad y competitividad de la agricultura del país mediante la vinculación de oferta tecnológica a través de procesos de investigación, desarrollo e innovación, en relación con la prevención de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* - *Foc R4T*.

### 5.1.5. Referencias bibliográficas

Agronet. (2019). Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano. <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>.

AUGURA. (2021). Coyuntura bananera 2021. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf>.

Betancourt M.V., Cárdenas J.L., Rodríguez G.A.Y. (2021). Guía para importar a Colombia germoplasma y material de propagación de plátano y banano en el marco de la emergencia sanitaria por Foc R4T en Colombia. AGROSAVIA.

Lescot T. (2015). La diversité génétique des bananiers = Genetic diversity of the banana. Fruitrop (Ed. Française) (231): p. 98 <http://www.fruitrop.com/media/Magazines-Fruitrop/2015/fruitrop-231>.

Ploetz, R. C., Freeman, S., Konkol, J., Al-Abed, A., Naser, Z., Shalan, K., Barakat, R., and Israeli, Y. (2015). Tropical race 4 of Panama disease in the Middle East. *Phytoparasitica* 43:283-293.

## 5.2 EVALUACIÓN DE ADAPTACIÓN EN CAMPO DE VARIEDADES PROMISORIAS HACIA LA RESISTENCIA CONTRA MARCHITEZ POR FUSARIUM R4T

**Autores:** *Diego Alejandro Londoño Puerta, Diego Felipe Feria Gómez, Sindy Paola Cardona Flórez y Sebastian Zapata Henao.*

**Resumen.** La búsqueda de estrategia para mitigar el daño que puede causar Fusarium R4T es primordial para la producción bananera a nivel mundial; el mejoramiento genético es una estrategia con gran potencial en búsqueda de variedades resistentes a la enfermedad. El CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) en Francia, ha venido trabajando en este mejoramiento genético, donde ha desarrollado variedades resistentes y tolerantes a la enfermedad, pero estas variedades deben ser evaluadas en diferentes condiciones de suelo y climáticas donde se siembra banano. Es por esto que se evaluó la adaptación en campo de cuatro variedades promisorias hacia la Marchitez por Fusarium R4T (Ruby, "938", "924" y "931") provenientes del programa de mejoramiento genético del CIRAD. En lo que va de la evaluación, las plantas han

tenido una buena adaptación en las condiciones de la zona de Urabá.

**Palabras Clave:** Mejoramiento genético, fusarium, resistencia

### 5.2.1. Introducción

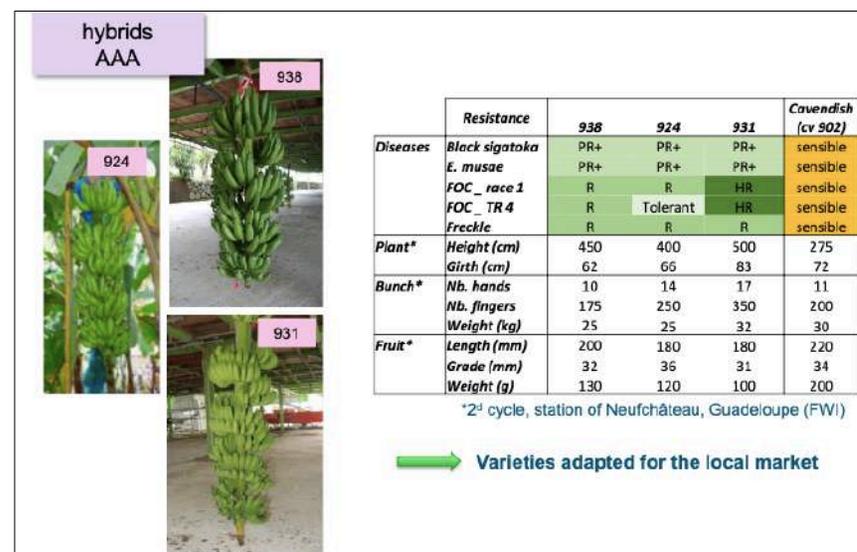
La aparición de Fusarium R4T ha puesto en jaque a toda la

industria bananera a nivel mundial, esto ha hecho que los centros de investigación a nivel mundial busquen estrategias para contrarrestar esta enfermedad tan devastadora. Dentro de estas estrategias se encuentra el desarrollo de variedades resistentes al patógeno. El CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) en Francia, ha venido trabajando en el mejoramiento genético del banano donde se han desarrollado híbrido intraespecífico AAA denominados 938, 924 y 931, con características de entre tolerantes a resistentes a Fusarium R4T (**Figura 1**).

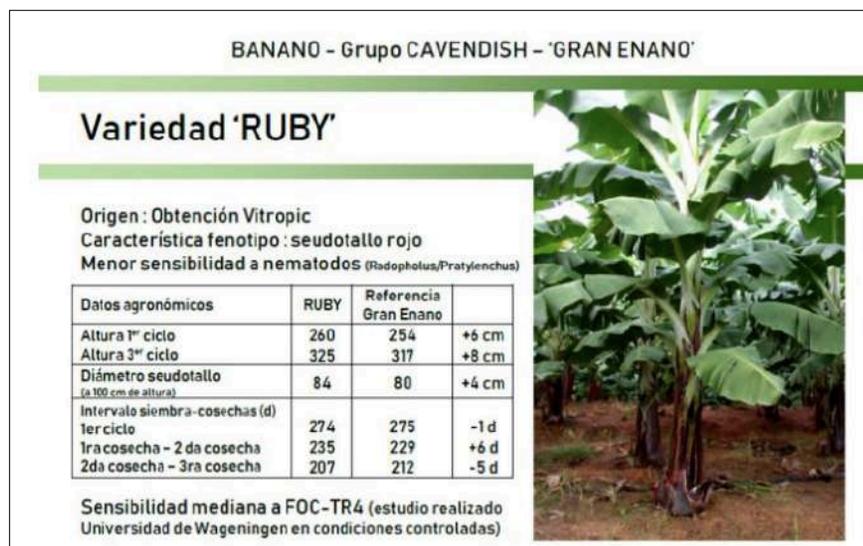
Otra de las variedades con potencial es “Ruby”, la cual hace parte del subgrupo Cavendish, con características de sensibilidad media a Fusarium R4T (**Figura 2**). Estas cuatro variedades ya han pasado todo su proceso de ingreso al país y cuarentena post entrada exigidos por el

ICA y supervisados por AGROSAVIA, posterior a esto se deben realizar pruebas agronómicas de los materiales en las zonas productoras del país, por lo cual se generó el presente proyecto, para evaluar el crecimiento y desarrollo de las variedades promisorias hacia la resistencia contra Marchitez por Fusarium R4T, en la zona de Urabá, Antioquia.

R = Resistente  
HR = Altamente resistente  
PR+ = Resistencia Parcial



**Figura 1.** Características morfológicas y de resistencia de híbridos 938, 924 y 931 comparados con Cavendish. Fuente: Salmon *et al.*, 2022.



**Figura 2.** Características morfológicas y de resistencia de la variedad Ruby. Fuente: Betancourt, 2022.

### 5.2.2. Materiales y métodos

Las plantas evaluadas fueron desarrolladas en programa de mejoramiento genético del CIRAD; estas fueron recibidas en las instalaciones del Campo Experimental Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado en el municipio de Carepa, Antioquia (7°46'48.2"N 76°40'23.0"W), las cuales llegaron provenientes de la Estación de Cuarentena Post entrada en el CI Tibaitatá AGROSAVIA, Mosquera, Cundinamarca. Estas plantas tenían una altura entre 80 a 100 cm de alto y venían en bolsas pequeñas,

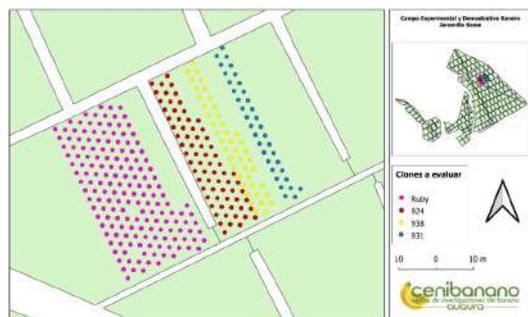
aproximadamente de 1 kg de sustrato (**Figura 3A**), El número total de plantas recibidas fue de 318 distribuidas de la siguiente manera: 165 de Ruby, 71 de "924", 38 de "931" y 44 de "938".

Las plantas venían de una cuarentena larga, aproximadamente de 6 meses, y en una bolsa muy pequeña para su tamaño actual, lo que se vio evidenciado en sus raíces aglomeradas y de color café (**Figura 3B**), por lo cual se realizó una aclimatación pasándolas a bolsas más grandes, inoculación de micorrizas y Trichoderma, con el objetivo de generar nuevas raíces, y se colocaron bajo polisombra (**Figura 3C**).



**Figura 3.** Recepción y aclimatación de plantas para siembra en campo.

Pasado un mes de aclimatación, las plantas fueron sembradas (**Figura 4A**) con una distancia de siembra de 2.6 x 2.6 m, en triángulo, la distribución espacial de las variedades es mostrada en la **figura 4B**. Se han desarrollado todas las labores culturales del cultivo, tales como manejo de drenajes, desmache, desguasque, deshoje, amarre, embolse y fertilización, a la fecha (diciembre 2022) se ha aportado nutricionalmente, 195 Kg/ha de N, 87 Kg/ha de P, 228 Kg/ha de K, 80 Kg/ha de Ca, 34 Kg/ha de Mg y 28 Kg/ha de S.

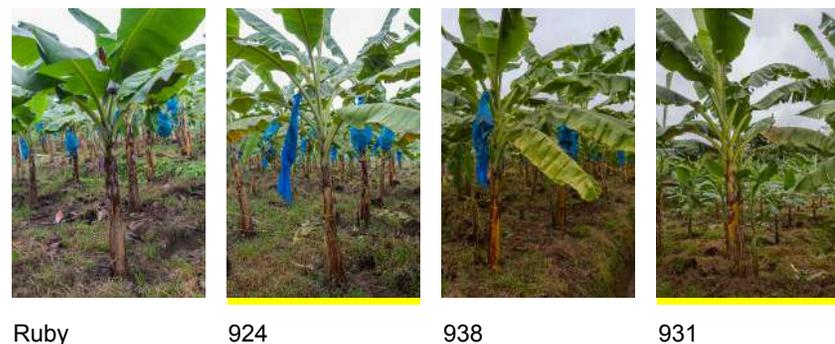


**A.** Siembra en campo, semana 26 del 2022. **B.** Distribución espacial de las parcelas.

**Figura 4.** Siembra en el Campo Experimental y Demostrativo.

### 5.2.3. Resultados y discusión

Las variedades evaluadas han crecido satisfactoriamente a tal punto que tres de ellas ya han llegado a fase de floración, la variedad Ruby ha sido la más afectada por las altas precipitaciones de la zona, mostrando un nivel de arpillamiento (acortamiento de entrenudos) mayor que las demás (**Figura 5**).



**Figura 5.** Variedades evaluadas en campo. A. Ruby, B. 924, C. 938, D. 934

Al momento de la floración se tomaron datos de altura, perímetro de pseudotallo y número de hojas descritos en la **Tabla 1**.

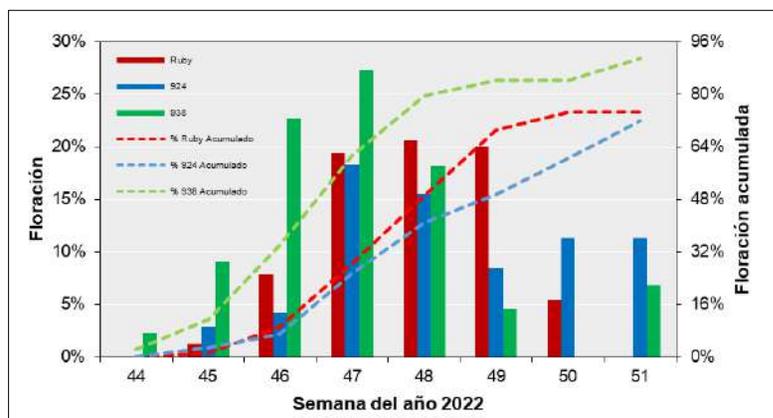
**Tabla 1.** Características encontradas en las variedades a floración.

	<b>Ruby</b>	<b>924</b>	<b>938</b>	<b>931*</b>
<b>Altura a floración (cm)</b>	178	220	240	NA
<b>Perímetro de pseudotallo (cm)</b>	48	49	54	NA
<b>Hojas a floración promedio</b>	8	10	10	NA

\*variedad sin florecer.

La altura y perímetro de las variedades evaluadas es significativamente menor a las reportadas por el CIRAD (**Figura 1 y 2**). Las plantas de banano en primera generación por lo general son de menor porte, y cabe recordar que estas plantas vienen de un estrés por la cuarentena y cambios de clima muy contrastantes, por lo cual se debe esperar a la segunda generación para tener valores más certeros. La variedad Ruby fue la de menos hojas a floración, esto debido a la alta incidencia y su

susceptibilidad a Sigatoka Negra en el periodo de evaluación. En cuanto a la floración, la variedad 938 tuvo su pico de floración entre la semana 46 y 47, y el 91% de las plantas ya han emitido bacota; la variedad 924 tuvo su pico de floración entre la semana 47 y 48, y el 71% de las plantas han emitido bacota; la variedad Ruby, tuvo su pico de floración entre la semana 47 y 49 del año 2022, a la fecha ha florecido el 75% de las plantas sembradas de esta variedad (**Figura 6**). La duración de siembra a floración fue de entre 20 a 22 semanas, aunque este dato debe ser verificado, ya que las plantas se sembraron después de una cuarentena de 6 meses, las cuales las estresó y en condiciones óptimas puede ser diferente, por lo cual las plantas se les evaluarán la segunda y tercera generación. A la fecha, la variedad 934 no ha llegado a fase de floración.



**Figura 6.** Distribución de floración y floración acumulada de las variedades evaluadas.

Las plantas presentaron algunas características particulares como la coloración rojiza característico de la variedad Ruby, que es reportada en el pseudotallo, también se ve en el vástago del racimo y las flores, sin comprometer los bananos (**Figura 7**).



Pseudotallo

Vástago

Flores

**Figura 7.** Coloración rojiza característica de la variedad Ruby.

Además, los híbridos tuvieron un arrugamiento o acartonamiento marcado en las hojas (**Figura 8A**), que normalmente es asociado a deficiencias de calcio, posiblemente su requerimiento de este elemento sea mayor, ya que la variedad Ruby no presentó este síntoma teniendo el mismo aporte nutricional. En las variedades 931 y 938 se observaron yemas laterales dobles (**Figura 8B**) las cuales no son normales en banano Cavendish.



**A.** Síntoma de arrugamiento o acartonamiento.



**B.** Yemas laterales dobles.

**Figura 8.** Características particulares encontradas en las variedades híbridas evaluadas.

#### 2.4.4. Conclusiones

Las variedades evaluadas tienen potencia de adaptación en campo en la zona de Urabá, las evaluaciones deben seguir con la segunda generación y con las condiciones organolépticas de la fruta.

#### 2.4.5. Referencias

Betancourt, M. (2020) Modelo para la introducción de materiales promisorios de musáceas por su resistencia a FocR4T en Colombia. Taller Regional de Capacitación Virtual –Marchitez por Fusarium Raza 4 Tropical en banano, plátano y otras musáceas.

Salmon, F & Bakry, Frédéric & Efile, Jean-Claude & Sébastien, Ricci & Toniutti, L & Horry, J. (2022). Banana breeding at CIRAD: creating resistant new varieties to avoid the use of pesticides. Conference: International Horticultural Congress 2022, Angers, France.



Línea de investigación:

# Biotecnología

## 6. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA

### 6.1. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS BASADAS EN RNAi PARA EL CONTROL DE SIGATOKA NEGRA EN BANANO Y DESARROLLO DE METODOLOGÍA BASADA EN CRISPR-CAS9 PARA EL ESTUDIO DE GENES EN *Pseudocercospora fijiensis*

**Autores:** Flor Yuranny Canacuan Melo, Vicente Rey, Sebastian Zapata Henao, Juan Gonzalo Morales Osorio y Rafael Eduardo Arango Isaza.

#### Resumen

La Sigatoka negra, causada por el hongo ascomiceto *Pseudocercospora fijiensis* es la enfermedad foliar más agresiva que afecta a los cultivos de banano. Una alternativa de control que se está evaluando con esta propuesta es la aplicación de la tecnología RNAi para la protección del cultivo de banano. Para esto, previamente, se sintetizaron secuencias de RNA de doble cadena (dsRNA) homólogas a los genes *PfCYP51* y *PfFUS3* y se transfecaron en *P. fijiensis*. Los resultados anteriores

mostraron que los tratamientos con estos dsRNA inhibieron la longitud del tubo germinativo y el crecimiento micelial de *P. fijiensis*. En este informe se presenta la confirmación mediante PCR en tiempo real de la inducción del silenciamiento de los genes *PfFUS3* y *PfCYP51* en micelios de *P. fijiensis* tratados. Así mismo, se presenta los resultados de la infección de hojas de banano con micelio transfecado con las secuencias de siRNA en los que se observa una disminución en el avance de la enfermedad comparado con el control. Por otra parte, se está evaluando la aplicación de CRISPR Cas9 en la edición génica de *P. fijiensis* para la búsqueda de nuevos blancos de control. Previamente se diseñaron y se sintetizaron vectores con el cassette que contiene este sistema CRISPR cas9 para la edición del gen *scitalona deshidratasa* (SD) como blanco, con el fin de identificar si esta tecnología permite la edición génica en *P. fijiensis*. En este informe se presentan los resultados de la transformación de *P. fijiensis* usando el sistema CRISPR Cas con el vector vacío (sin RNA guía), y con RNA guía. A diferencia de los transformantes obtenidos en ensayos anteriores, las colonias fueron de una coloración gris oscura, similar al fenotipo sin transformar. Este resultado es el esperado en la transformación realizada con el vector vacío, y confirma que en las primeras transformaciones en las que se obtuvieron de colonias de color blanco (fenotipo deseado) ocurrió una modificación génica.

**Palabras clave:** Genes, Edición génica, Biotecnología.

### 6.1.1. Introducción

El banano es uno de los cultivos más importantes en el mundo tanto para consumo local como para exportación. La producción de este cultivo se ve afectada por la enfermedad llamada Sigatoka negra, la cual es causada por el hongo *Pseudocercospora fijiensis*. Esta es considerada como la enfermedad foliar más importante en banano y plátano desde el punto de vista económico (1, 2). El manejo actual de la enfermedad se basa principalmente en el uso de fungicidas químicos, los cuales presentan riesgo ambiental y en la salud, además de incrementar notablemente los costos de producción. Adicionalmente, las poblaciones del patógeno generan rápidamente resistencia a algunos grupos de fungicidas, por lo que ya no es posible usarlos para su control (3-6). Debido a lo anterior, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas y nuevos blancos para el manejo de esta enfermedad.

El propósito de este proyecto fue evaluar herramientas que permitan mejorar el manejo de la Sigatoka Negra. La tecnología de RNAi para inducir el silenciamiento de

genes, se ha explorado en diferentes patosistemas para la protección de los cultivos, mediante la represión selectiva de genes importantes para la patogenicidad en los fitopatógenos (7-9). Su implementación en *P. fijiensis*, podría dar una luz de nuevas alternativas para su control que no sea por medio de productos de síntesis química, que no generen resistencia y que sean amigables con el medio ambiente y la salud. En este proyecto se utilizaron secuencias de RNA de doble cadena (dsRNA) homólogas a los genes *PfFus3* y *PFCYP51* que previamente se identificaron como genes importantes en la patogenicidad del hongo.

Por otra parte, el estudio de la biología del hongo y los genes implicados en el proceso de infección es importante para la búsqueda de sus correspondientes genes de resistencia en la planta y nuevos blancos de control. Una alternativa para estudiar los genes en *P. fijiensis* es el uso de la herramienta CRISPR-Cas, que ha permitido la edición exitosa de diferentes genes en numerosos organismos incluidos varios hongos patógenos (10). La implementación de esta metodología en *P. fijiensis* permitirá el estudio de genes regulados en la infección que pueden ser blancos de control. Para este proyecto, se usó como blanco el gen SD que está relacionado con la síntesis de melanina en hongos, lo que permitiría observar un cambio visual en el fenotipo del

color de los transformantes. Utilizando este gen como blanco de estudio, se pretende desarrollar una metodología que pueda ser implementada para el estudio de otros genes del hongo que están diferencialmente expresados durante la infección y que, por lo tanto, pueden ser buenos candidatos para el control de la enfermedad.

## 6.1.2. Materiales y métodos

**6.1.2.1. Evaluación de blancos de control usando el sistema CRISPR Cas9. Construcción de vectores plasmídicos.** La construcción de los vectores para el estudio de genes en *P. fijiensis* por CRISPR/Cas9 se realizó previamente (informe de 2019), utilizando el sistema descrito por Kujoth, Sullivan (11) para la edición de genes en *Blastomyces dermatitidis*.

**6.1.2.2. Transformación en *E. coli* y *Agrobacterium*.** La transformación de los plásmidos en *E. coli DH5a* y en *Agrobacterium tumefaciens* se realizó previamente como se describe en los informes de 2019 y 2020.

**6.1.2.3. Transformación de *P. fijiensis*.** La transformación de *P. fijiensis* mediada por *Agrobacterium* se realizó acorde a lo reportado por Diaz-Trujillo, Kobayashi (12). Se

tomó un fragmento miceliar de la cepa de referencia C86 de *P. fijiensis* crecida en PDA aproximadamente por un mes y se fragmentó con ayuda de una cuchilla estéril. Luego se agregó en un tubo de 50 ml que contenía agua destilada estéril y perlas de vidrio y se aplicó vórtex hasta que se fragmentaran por completo los micelios. Se tomó 1 ml de esta suspensión miceliar y se sembró en cajas de Petri con PDA. Después de 15 días y un día antes de la transformación se raspó el micelio usando Medio de Inducción (IM) (Por litro: 2 g  $K_2HPO_4$ , 1.45 g  $KH_2PO_4$ , 0.6 g  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.3 g NaCl, 0.01 g  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ , 0.001 g  $FeSO_4$ , 0.5 mg  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.5 mg  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , 0.5 mg  $H_3BO_3$ , 0.5 mg  $MnSO_4 \cdot H_2O$ , 0.5 mg  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ , 0.5 g  $NH_4NO_3$ , 2g glucosa, 10 mL de glicerol al 50% y 40 ml de MES IM pH 5.3). Los fragmentos miceliares fueron filtrados a través de gasa doble y ajustada la concentración a  $1 \cdot 10^6$  fragmentos/ml. Se tomó 10 ml de la suspensión y se incubó a 27 °C, 150 rpm durante toda la noche.

Cinco días antes de la transformación de *P. fijiensis*, las cepas de *Agrobacterium tumefaciens* (AGL-1 y GV3101) que contenían los plásmidos, fueron plateadas en medio LB sólido con los antibióticos de selección (rifampicina 40 mg/l y kanamicina 50 mg/l) a 28 C. Luego de 48 horas de crecimiento, se tomó una colonia de cada cepa y se inoculó en 20 ml de LB líquido con los mismos antibióticos y se incubó a 28 °C, 150 rpm durante 36 horas. Luego de la

incubación, las células se centrifugaron y se resuspendieron en 20 ml de Medio Mínimo (MM) (Igual al IM, pero sin glicerol y MES) y se transfirió 100  $\mu$ l de esta suspensión a un nuevo tubo con 20 ml de MM con los antibióticos de selección y acetosiringona (0.1% of 200 mM). Después de incubación a 28 °C, 150 rpm por 36 horas se leyó la OD600 de los cultivos y se ajustó a 0.15 con medio IM con los antibióticos de selección y se incubó hasta una OD 600 de 0.25. Seguido a esto, se mezcló los fragmentos miceliares de *P. fijiensis* y *A. bacterium tumefaciens* en una proporción 1:1.

Alícuotas de 2 ml fueron esparcidas en papel filtro estéril sobre agar IM con rifampicina 40 mg/l, kanamicina 50 mg/l y acetosiringona (0.1% de 200 mM) e incubadas en oscuridad por 48 horas a 28 °C. Después las membranas fueron transferidas cajas de Petri que contenían PDA con cefotaxime 250 mg/l e Higromicina B 15 mg/l e incubadas a 28 °C en oscuridad durante un mes.

**6.1.2.4. Confirmación de transformantes.** Se realizó confirmación de los transformantes color blanco que fueron asilados previamente (ver informe 2020). Las colonias que crecieron después de 3 repiques bajo selección con higromicina se les realizó extracción de ADN con CTAB utilizando el método estandarizado en el grupo de investigación. Con el ADN extraído se realizó PCR con los primers que amplifican para el gen SD: Primer Forward

scy\_des\_secF 5'TCCCACATCACCACAGACTAC 3'y Primer Reverse scy\_des\_secR 5' GCGAAAAGCTGGGTTGATT 3'. Las amplificaciones fueron purificadas utilizando el kit illustra™ GFX PCR DNA and Gel Band Purification Kit, y se enviaron a secuenciar a la empresa Macrogen (República de Korea).

**6.1.2.5. Evaluación del silenciamiento mediado por RNAi en la protección de banano contra *P. fijiensis*.** Los genes blancos fueron seleccionados previamente en función de su potencial para el control de la enfermedad (13, 14).

**6.1.2.6. Diseño y síntesis de moléculas de dsRNA para los genes blanco.** El diseño de las secuencias de dsRNA se realizó previamente como se describe en el informe de 2019.

**6.1.2.7. Pruebas de silenciamiento *in vitro* en ascosporas.** Se evaluó el efecto de las secuencias de dsRNA en la longitud del tubo germinativo de ascosporas de *P. fijiensis*. Para esto, se aplicó 20  $\mu$ l de las secuencias de dsRNA directamente sobre ascosporas descargadas sobre agar granuloso al 2%. Se aplicaron las secuencias de dsRNA a una concentración de 100 ng, 200 ng, 500 ng y 1000 ng y agua como control negativo. Luego se incubó por 40 horas y se tomaron fotografías, con el fin de medir la longitud del tubo germinativo de al menos 60 ascosporas por cada tratamiento, usando el software ImageJ.

**6.1.2.8. Pruebas de silenciamiento *in vitro* en micelio (Método LiCl).** Se realizó ensayos de inhibición en platos de 96 pozos como se describe a continuación: se realiza una suspensión de fragmentos miceliares de la cepa C139 de *P. fijiensis* con ayuda de un pincel y agua destilada estériles; la suspensión se ajusta a una concentración de  $1 \times 10^6$  fragmentos miceliares/ml. Se toma 1 ml de la suspensión y se centrifuga a 12.000 rpm por 5 minutos y se resuspende en 500  $\mu$ l de 100 mM LiCl, se mezcla y se centrifuga nuevamente a 12.000 rpm por 2 minutos. Luego, se agrega 240  $\mu$ l de PEG800 al 50% y 36  $\mu$ l de LiCl 1.0 M. Finalmente, se agrega a la suspensión las secuencias de dsRNA a una concentración de 100 ng, 200 ng, 500 ng y 1000 ng y agua tratada con DEPC para un volumen final de 360  $\mu$ l. Como control negativo se usa una suspensión micelar sometida al tratamiento, pero sin agregar las secuencias de dsRNA. Cada tubo se mezcla vigorosamente por vórtex duramente 5-10 segundos hasta que el pellet quede completamente resuspendido. Las células se someten a un choque de calor en baño de maría a 42 °C por 40 minutos, seguido de centrifugación a 8.000 rpm por 30 segundos y se resuspenden en 500  $\mu$ l de agua destilada estéril. Finalmente, las muestras son incubadas en platos de 96 pozos, cada pozo con 100  $\mu$ l de medio líquido Sabouraud y 50  $\mu$ l de la suspensión. Los microplatos se incuban 27 °C por 11 días, y el crecimiento

micelar será medido mediante lectura de absorbancia a 595 nm en lector de ELISA.

**6.1.2.8. Pruebas de silenciamiento *in vitro* en micelio (Método secuencias nanoencapsuladas).** Se realizó ensayos de inhibición en platos de 96 pozos como se describe a continuación: se realizó una suspensión de fragmentos miceliares de la cepa C139 de *P. fijiensis* con ayuda de un pincel y agua destilada estériles; la suspensión se ajustó a una concentración de  $2 \times 10^5$  fragmentos miceliares/ml. Las muestras fueron incubadas en platos de 96 pozos, cada pozo con 50  $\mu$ l de medio líquido Sabouraud, 50  $\mu$ l de la suspensión micelar y 50  $\mu$ l de dsRNA-LDH (proporción en masa de 1:8) a una concentración de 200 ng/ml y 500 ng/ml, ó con 50  $\mu$ l de LDH como control. Los ensayos de inhibición con las secuencias de siRNA se realizaron a concentraciones de 50 nM y 100 nM de siRNA, con una proporción en masa de siRNA-LDH de 1:4. Los microplatos se incubaron a 25 °C por 11 días, y el crecimiento micelar fue medido mediante lectura de absorbancia a 595 nm en lector de ELISA.

**6.1.2.9. Evaluación del silenciamiento mediante PCR en tiempo real.** Se realizó la confirmación del silenciamiento por qPCR mediante la cuantificación relativa utilizando el método  $\Delta\Delta$  ct (15).

#### **6.1.2.10. Experimentos de infección en cámara de infección para probar el efecto de RNAi.**

Se preparó una suspensión de fragmentos miceliares de la cepa de *P. fijiensis* de 15 días de crecimiento en medio PDA, realizando un raspado con pincel y agua destilada estériles. La suspensión se filtró a través de una gasa estéril y se ajustó la concentración a  $1 \times 10^6$ . Para facilitar el ingreso de las secuencias de siRNA a la célula se utilizó el método modificado de Polietilenglicol, reportado por Moazeni, Khorramizadeh (10), como se describe a continuación: 10 ml de la suspensión miceliar se centrifugó a 4.000 rpm por 10 minutos, se eliminó el sobrenadante y se resuspendió el pellet en 5 ml de LiCl a 100 nM, se mezcló suavemente y se centrifugó a 4.000 rpm durante 5 minutos, se eliminó el sobrenadante y se agregó al pellet 2.4 ml de PEG8000 al 50% y 360 ml de LiCl a 1.0 M, después se agregó el siRNA a la suspensión para una concentración final de 100 nM y agua tratada con DEPC a un volumen final de 3.6 ml y como control negativo se utilizó micelios sin las secuencias de siRNA. Luego se mezcló vigorosamente por 5–10 segundos y se puso las células en baño caliente a 42 °C durante 40 minutos. Finalmente se centrifugó de 4.000 durante 1 minuto, se resuspendió en 5 ml de agua destilada estéril y se incubó a 25 °C sin agitación. Al día siguiente, se centrifugaron los fragmentos miceliares y se resuspendieron en 10 ml de gelatina microbiológica al 2%.

Las inoculaciones se realizaron en plantas susceptibles de banano del cultivar Williams, rociando las primeras tres hojas de cada planta desde una distancia de aproximadamente 20 cm. Como control, se rociaron plantas con gelatina al 2% sin inóculo infeccioso. Después de la inoculación, las plantas se colocaron en cámara de infección con una temperatura de  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , humedad relativa del 95% y una foto periodo de 12 h luz / 12 h oscuridad.

**6.1.2.11. Análisis estadístico.** Se realizó la prueba de Shapiro–Wilk para verificar normalidad de los datos, y prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. Los datos no cumplieron con los criterios de normalidad por lo tanto fueron analizados usando la prueba de Kruskal–Wallis y prueba de Dunn ( $P > 0.05$ ) para comparación de medias.

### **6.1.3. Resultados y discusión**

**6.1.3.1. Construcción de vectores plasmídicos.** Los plásmidos diseñados y sintetizados para la edición de genes por Cripsr cas9 en *P. fijiensis*, se describen en el informe de 2019. Los resultados de transformación que se

presentan en el presente informe se realizaron con el vector que contenía el gRNA tres de la **tabla 1** y con el vector vacío (sin sgRNA), para tenerlo como control.

**Tabla 1.** Secuencias de sgRNA usadas en los cassetes. Las 3 secuencias son homólogas al exón 2 del gen SD (NW\_006921535.1).

HH RIBOZ IR	sgRNA	PAM	Cadena
ACCCAA	TTGGGTGCGCCAGAACTG CG	GGG	Antisenti do
GGTTT	AAAACCCAACACTTCATC	AGG	Sentido
ATGAAG	CTTCATCGGAGGCACGAA	GGG	Sentido

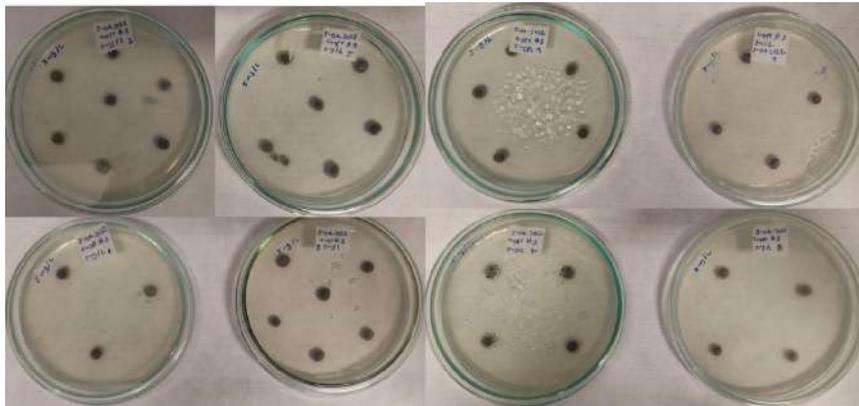
**6.1.3.2. Transformación de *P. fijiensis*.** Después de establecer la concentración adecuada de higromicina (4 mg/L, informe 2021), se realizó transformación de *P. fijiensis* utilizando las cepas de *Agrobacterium* GV3101 y AGL-1 que contenían el vector pPTS608\_Cas9\_hyg\_SD\_sgRNA #3 (**Tabla 1**). A los 30 días de la transformación, se observó el crecimiento de colonias de *P. fijiensis* sobre las membranas de papel filtro en dos de las cajas transformadas con la cepa de *Agrobacterium* GV3101

(**Figura 1**). A diferencia de los resultados obtenidos con las transformaciones utilizando la cepa de *Agrobacterium* que contenía los vectores con los sgRNA guía 1 y 2 (tabla 1, informe 2019 y 2020), las colonias obtenidas no tenían una coloración blanca sino un fenotipo igual a la cepa sin transformar. Posiblemente, el RNA guía número 3 no fue eficiente para guiar a la enzima Cas9 e inducir el corte y edición en el gen blanco, el cual está relacionado con la síntesis de melanina en otros hongos fitopatógenos.

Las colonias obtenidas en la transformación fueron repicadas en medio PDA que contenía higromicina 4 mg/l y cefotaxime 250 mg/L. Se realizaron varios repiques en el tiempo, y las colonias mantenían una coloración gris oscura igual al fenotipo sin transformar (**Figura 2**). Se eligió 10 aislados para posteriormente confirmar la transformación mediante análisis de la secuencia del gen SD.

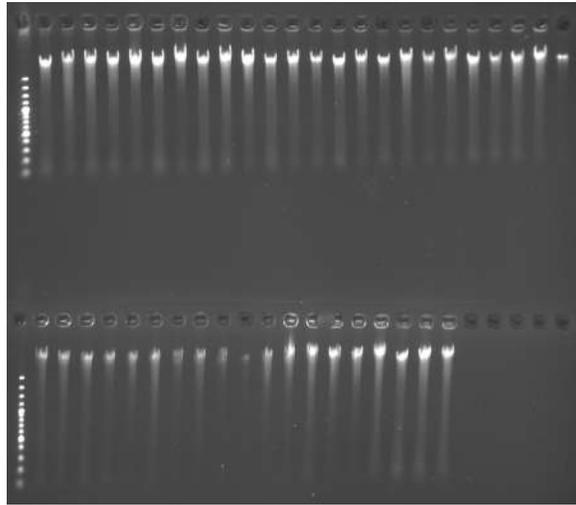


**Figura 1.** Transformación de *P. fijiensis* con *Agrobacterium* GV3101 con vector que contenía el sgRNA #3.

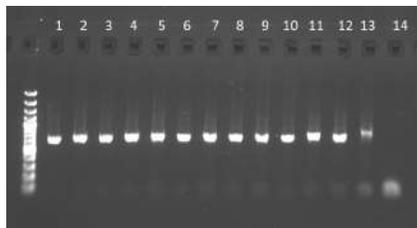


**Figura 2.** Transformantes aislados en PDA con higromicina 4 mg/l y cefotaxime 250 mg/l.

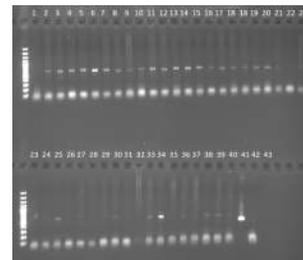
**6.1.3.3. Confirmación de transformantes.** Se realizó extracción de ADN de las colonias obtenidas previamente transformadas con el vector vacío sin el RNA guía (informe 2021), y de 10 colonias transformadas con el vector que contenía el RNA guía 3 (**Figura 3**). Los ADNs extraídos fueron cuantificados y se les realizó PCR del gen de higromicina y del gen SD (**Figura 4**). Los productos de PCR del gen SD fueron purificados y enviados a secuenciar a MacroGen para confirmar la edición mediante análisis de la secuencia de nucleótidos. Se eliminaron los nucleótidos de mala calidad de los extremos y las secuencias depuradas fueron alineadas con la secuencia del gen SD de la cepa de referencia C86 utilizando el software Geneious. No se observaron alteraciones (inserciones o deleciones) en ninguna de las secuencias analizadas (**Figura 5**).



**Figura 3.** ADNs extraídos de las colonias transformantes.



**A**

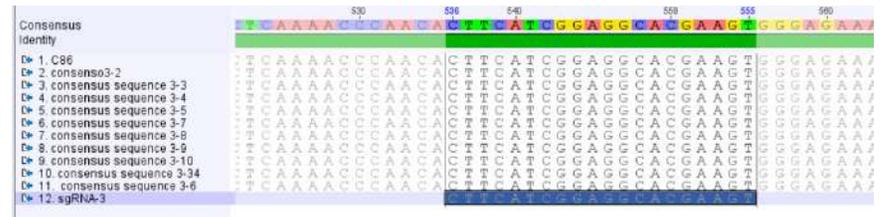


**B**

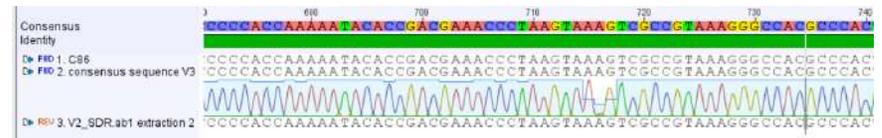
**Figura 4.** Productos de PCR. **A.** Productos del gen SD 1-10: transformantes cassette número 3 (aislados 2-10 y aislado 34 ); 11-12: Transformantes vector vacío (aislados 2 y 3); 13: Control positivo; 14: Control negativo. **B.** Productos del gen

HPH. 1-36: Transformantes cassette número 3; 37-40: Transformantes vector vacío; 41: Control positivo; 42: Control negativo.

**A**



**B**

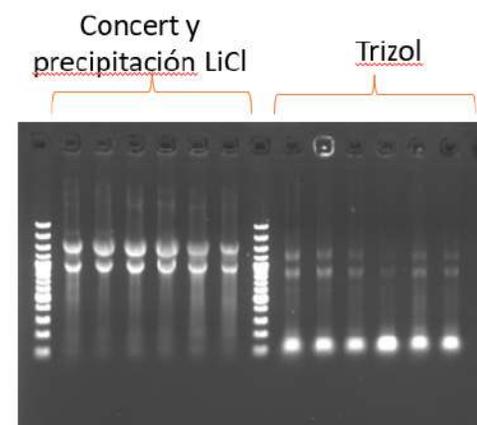


**Figura 5.** Alineamiento de las secuencias del gen SD de los transformantes con la cepa de referencia C86. **A** Alineamiento en la región del RNA guía 3 **B.** Alineamiento del vector vacío.

Estos resultados fueron los esperados debido a que los transformantes con el vector vacío no tenían un gRNA que guíe a la enzima Cas9 al sitio de corte, por lo tanto, no debe haber alteración en el gen blanco. De igual manera, las colonias transformantes con este vector tenían una coloración gris oscura similar al fenotipo sin transformar, lo que confirma que no hubo alteración en el gen blanco. Por otra parte, los transformantes con el vector que contenía el gRNA 3, también tuvieron una coloración gris oscura, por esta razón, también se esperaba que no hubiera alteración en el gen SD que está relacionado con la síntesis de melanina en hongos (17).

Las colonias transformantes obtenidas en ensayos anteriores tenían una coloración blanca pero no había modificación en la secuencia del gen SD (Informe 2021), debido a esto, se realizó análisis de expresión del gen por PCR en tiempo real. Para esto, se seleccionaron algunos de los transformantes, que tenían coloración blanca y se realizó extracción de RNA, digestión de DNA, RT-PCR y qPCR para analizar si la falta de coloración de las cepas se debe a que hay una disminución en la expresión del gen SD. En la extracción de RNA se tuvo algunas dificultades de degradación, por lo tanto se ensayaron dos metodologías, una utilizando el reactivo de Trizol siguiendo las

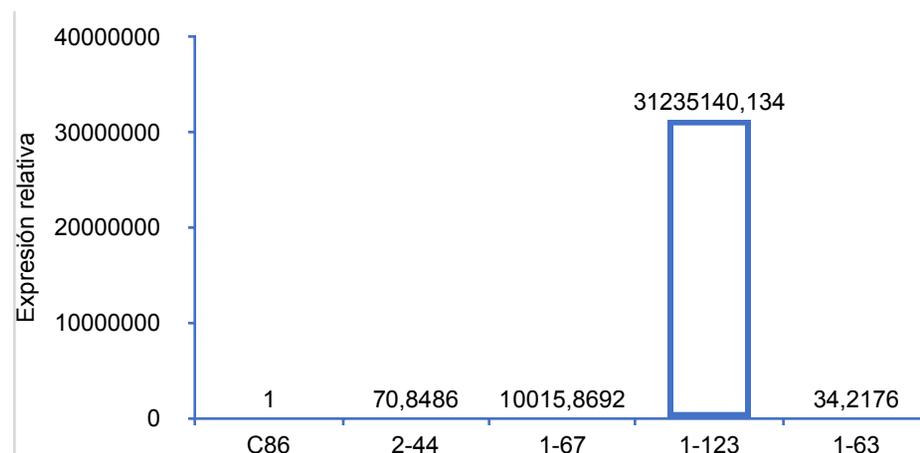
instrucciones del fabricante y la otra metodología utilizando el reactivo Concert y precipitando con LiCl de acuerdo a lo reportado por Rajakani, Narnoliya (18). El RNA extraído utilizando la metodología de Rajakani, Narnoliya (18) tuvo mejor calidad que el extraído utilizando el método de Trizol (**Figura 6**).



**Figura 6.** Extracción de RNA

Después de extraer el RNA de los transformantes 2-44, 1-67, 1-123, y 1-63, y de realizar digestión de ADN y RT-PCR, se procedió con la prueba de q-PCR, en la cual al analizar los resultados utilizando el método  $\Delta\Delta$  ct se observó una sobreexpresión del gen SD en todos los aislados

transformados en comparación con la cepa C86 sin transformar (**Figura 7**).



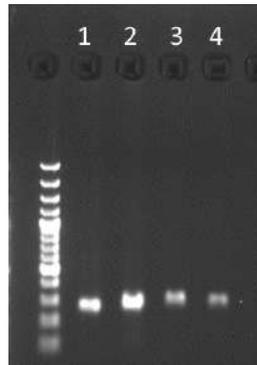
**Figura 7.** Expresión relativa de las cepas transformantes 2-44, 1-67, 1-123, y 1-63, respecto al control C86 sin transformar.

**6.1.3.4. Evaluación del silenciamiento mediado por RNAi en la protección de banano contra *P. fijiensis*.** Los blancos de evaluación son los genes *PfFus3* y *PFCYP51* que se eligieron previamente de acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores realizadas en el grupo de investigación (informe 2019).

**6.1.3.5. Diseño y síntesis de moléculas de dsRNA para los genes blanco.** Las secuencias de dsRNA fueron diseñadas previamente (informe 2019). En la tabla 2 se presentan los primers diseñados, el tamaño del amplicón y la eficiencia esperada en el silenciamiento. Las secuencias que presentaron mejores resultados en las pruebas in vitro en micelio y ascosporas de *P. fijiensis* fueron la M3 y M5 (informe 2021), por esta razón, se realizó una nueva síntesis de las secuencias (**Figura 8**) para utilizarlas en otras pruebas.

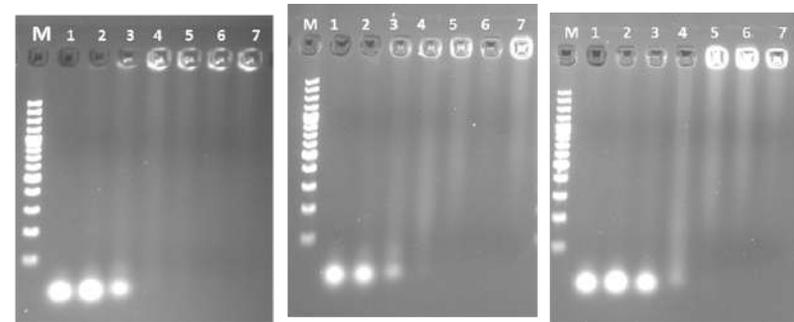
**Tabla 2.** Primers utilizados en la síntesis de dsRNA.

Gen	Secuencia de los primers	Tamaño del amplicón	dsRNA	Eficiencia esperada
<i>FUS3</i>	Forward: taatacgactcactatagggCGCACGCACATTACCTACACCCTC Reverse: taatacgactcactatagggCATGGAATGGTCGAAGGGTGTG	358	M1	50.41
	Forward: taatacgactcactatagggTACGTCCCAACTCGATGGTA Reverse: taatacgactcactatagggGTCAAGAGCCAAAGTCGGAAG	306	M2	49.72
	Forward: taatacgactcactatagggTGCGGTAACGTCATATCCAA Reverse: taatacgactcactatagggGTGGCATAAGCAGATTCAGG	315	M3	50.37
	Forward: taatacgactcactatagggCCGTGTTGCTTAACGTGTTG Reverse: taatacgactcactatagggAGGTGAGGCCATATTTGAGG	363	M4	52.72
<i>CYP51</i>	Forward: taatacgactcactatagggATGGCGGAAGTCTACACAGC Reverse: taatacgactcactatagggTGGCGTACGTTAACTCCTT	317	M5	51.38
	Forward: taatacgactcactatagggGACCACACTCCCTCCTTG Reverse: taatacgactcactatagggCCTCCTTGACATGCTTTGGT	146	M6	47.22

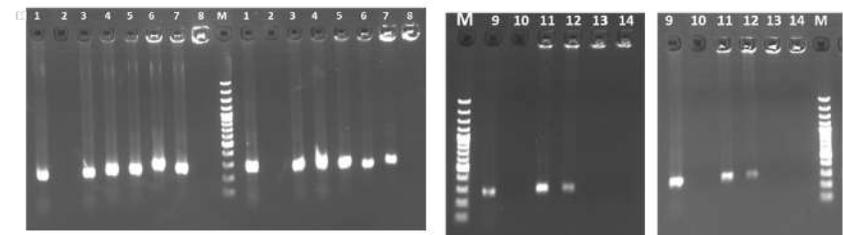


**Figura 8.** dsRNA sintetizados. Carriles 1-2: dsRNA M3; carriles 3-4: dsRNA M5.

**6.1.3.6. Nanoencapsulación de secuencias de dsRNA/siRNA.** Para formar los complejos dsRNA-LDH/siRNA-LDH, las secuencias de dsRNA/siRNA fueron cargadas en las nanopartículas LDH. Las secuencias de siRNA incluían secuencias homólogas a los genes Adenilato ciclasa, *PfFUS3* y *PfCYP51*, las cuales fueron sintetizadas por Bioneer. Las secuencias fueron cargadas en varias proporciones siRNA-LDH. Una vez cargadas en las LDH, las secuencias siRNA no migraron durante la electroforesis (**Figura 9**). Las secuencias mostraron una carga completa a una proporción siRNA-LDH de 1:4 (1.33  $\mu\text{g}$  siRNA: 5.32  $\mu\text{g}$  LDH) (**Figura 9**).



**Figura 9. Carga de siRNA en LDH.** Carga de siRNA en una proporción en masa siRNA-LDH de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 y 1:10, correspondientes a los carriles 2, 3, 4, 5, 6 y 7, respectivamente. La carga completa se logró a una proporción en masa siRNA-LDH de 1:4 (línea 4). M: marcador de peso de 100 bp.

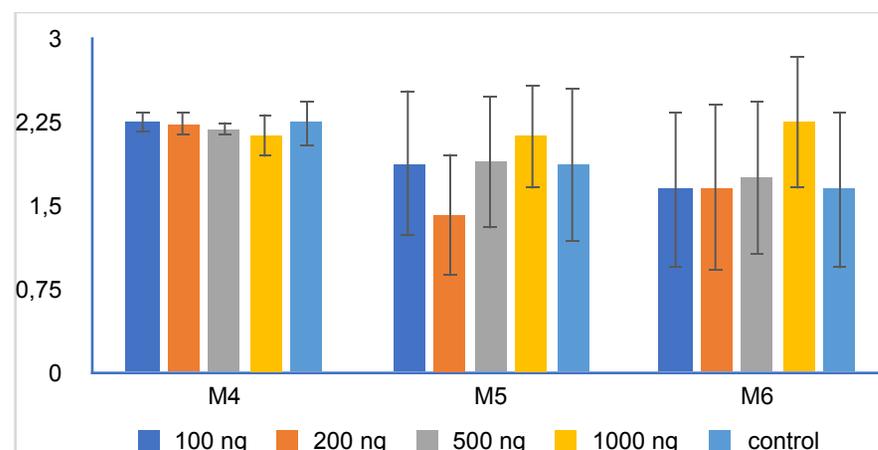


**Figura 10. Carga de dsRNA en LDH.** Carga de dsRNA en una proporción en masa dsRNA-LDH de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 y 1:10, correspondientes a los carriles 3, 4, 5, 6, 7 y 8

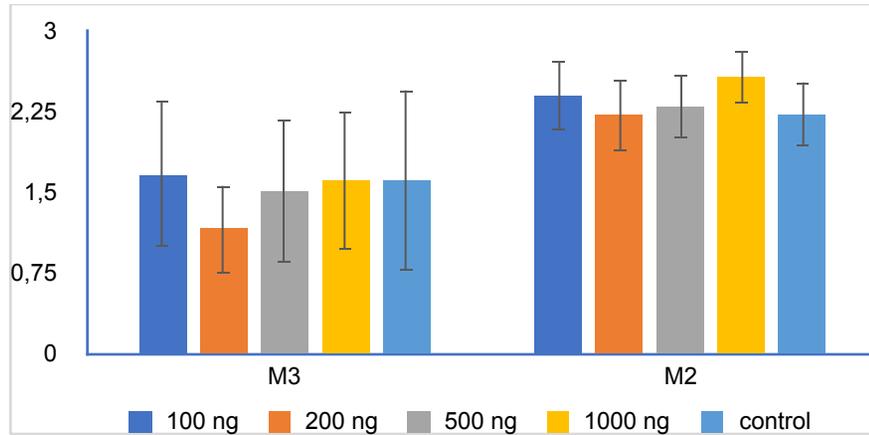
respectivamente. Proporción en masa de 1:6, 1:7, 1:8 y 1:9, correspondiente a los carriles 11,12,13, y 14 respectivamente. La carga completa se logró a una proporción en masa dsRNA-LDH de 1:8 (línea 13). M: marcador de peso de 100 bp.

Las secuencias de dsRNA tenían como blanco los genes *PfFUS3* (secuencias M3) y el gen *PfCYP51* (secuencias M5). Estas secuencias fueron sintetizadas in vitro y cargadas en las nanopartículas LDH en varias proporciones en masa de dsRNA-LDH. Las secuencias mostraron una carga completa a una proporción dsRNA-LDH de 1:8 (70 ng siRNA-560 ng LDH) (**Figura 10**).

**6.1.3.7. Efecto de los dsRNA en el crecimiento micelial (método LiCl).** Se realizó un tercer ensayo de silenciamiento con las secuencias de dsRNA previamente sintetizadas (**Tabla 2**). Se midieron las absorbancias a los 11 días después del tratamiento. Aunque se ve una disminución en el crecimiento en los micelios tratados con las secuencias M5 y M3 a una concentración de 200 ng/ml y 500 ng/ml con respecto al control, estas diferencias no fueron significativas (**Figuras 11 y 12**).



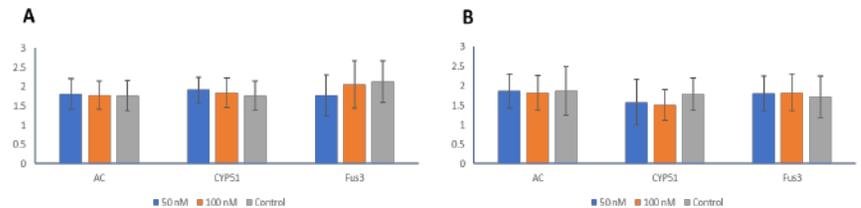
**Figura 11.** Absorbancia de los micelios de *P. fijiensis* después de 11 días de tratamiento con 3 secuencias de dsRNA homólogas al gen *PfCYP51* (M4, M5 y M6) a concentraciones de 100 ng, 200 ng, 500 ng y 1000 ng. Las barras verticales indican la desviación estándar. Los asteriscos indican las diferencias significativas con respecto al control ( $\alpha= 0.05$ ).



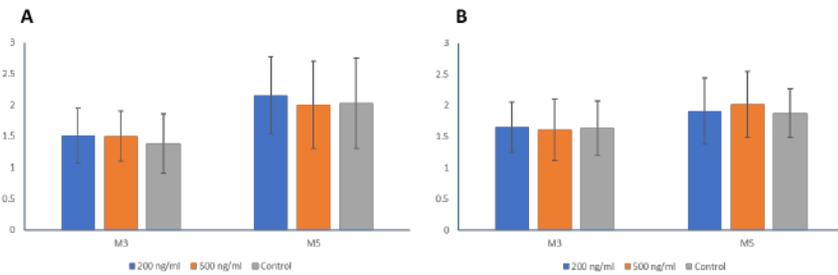
**Figura 12.** Absorbancia de los micelios de *P. fijiensis* después de 11 días de tratamiento con 2 secuencias de dsRNA homólogas al gen *PfFUS3* (M3 y M2) a concentraciones de 100 ng, 200 ng, 500 ng y 1000 ng. Las barras verticales indican la desviación estándar. No hubo diferencias significativas con respecto al control ( $\alpha = 0.05$ ).

Posiblemente, no hubo diferencias significativas debido a desviación estándar en los datos. Sin embargo, aunque las diferencias no fueron significativas como en las réplicas 1 y 2 (informe 2021), de acuerdo con los resultados obtenidos se confirma que la secuencia M3 y M5 de dsRNA homólogas al gen *PfFUS3* y *PfCYP51*, lograron inducir la inhibición en el crecimiento micelial.

**6.1.3.8. Efecto de los dsRNA en el crecimiento micelial (método nanoencapsulados).** Se evaluó el efecto en el crecimiento micelial de las secuencias de siRNA y dsRNA encapsuladas en las nanopartículas LDH. Después de 11 días de incubación, no se observó diferencias significativas entre el control y los tratamientos, tanto con las siRNA-LDH (**Figura 13**) como con las dsRNA-LDH (**Figura 14**).



**Figura 13.** Absorbancia de los micelios de *P. fijiensis* después de 11 días de incubación con siRNA-LDH homólogas a los genes Adenilato ciclasa (AC), *PfCYP51* y *PfFUS3* a concentraciones de 50 nM, 100 nM. Las barras verticales indican la desviación estándar. No hubo diferencias significativas con respecto al control ( $\alpha = 0.05$ ).



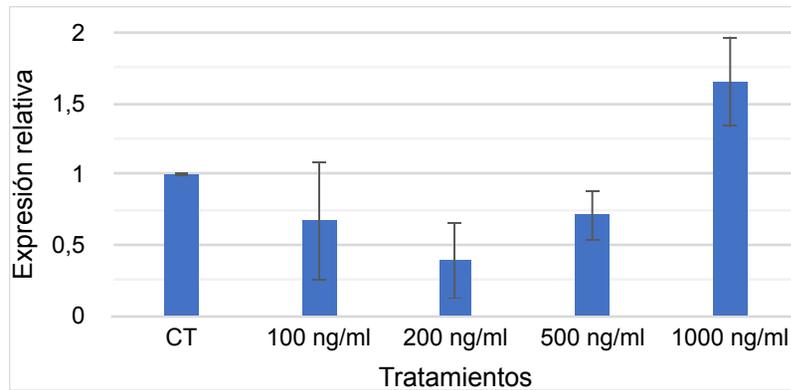
**Figura 14.** Absorbancia de los micelios de *P. fijiensis* después de 11 días de incubación con dsRNA-LDH homólogos a los genes *PfFUS3* (M3) y *PFCYP51* (M5) a concentraciones de 100 ng/ml y 200 ng/ml. Las barras verticales indican la desviación estándar. No hubo diferencias significativas con respecto al control ( $\alpha = 0.05$ ).

Posiblemente la eficiencia en la transfección de las secuencias nanoencapsuladas al micelio de *P. fijiensis* través del medio líquido no es buena. Se realizaron dos replicas en el tiempo, y cada réplica tenía al menos 20 repeticiones por cada tratamiento.

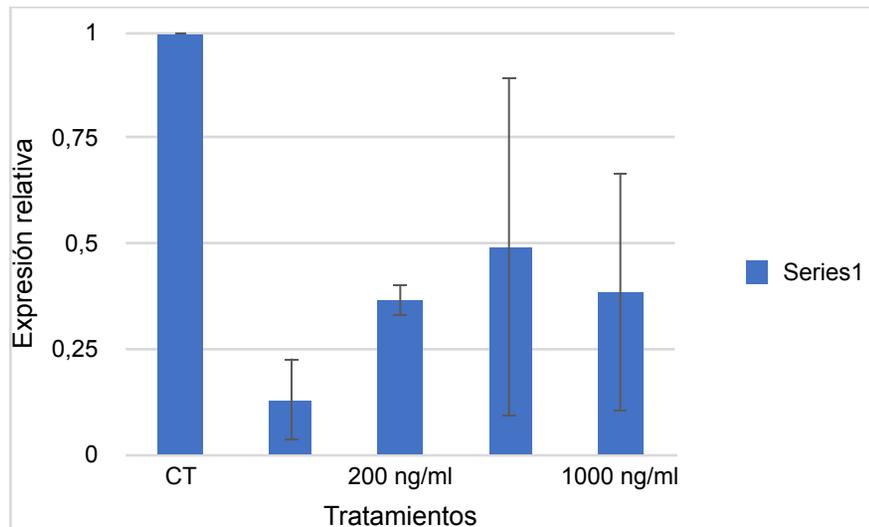
**6.1.3.9. Evaluación del silenciamiento mediante PCR en tiempo real.** El silenciamiento inducido por las secuencias de dsRNA fue confirmado mediante cuantificación de mRNA por PCR en tiempo real (qPCR). Previamente se realizaron las extracciones de RNA de los micelios sometidos al tratamiento con las secuencias de dsRNA a

las diferentes concentraciones y se realizó la digestión de ADN y RT-PCR (ver informe 2021).

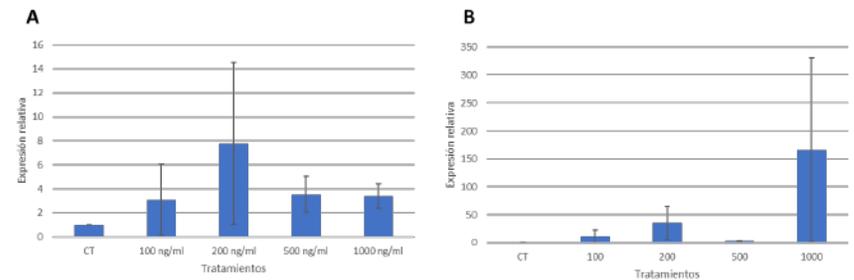
Los cDNAs sintetizados fueron utilizados en las pruebas de qPCR. Los resultados de expresión génica del micelio después de 7 días de transfección con las secuencias homologas al gen *PfCYP51* (secuencias M5) arrojaron una disminución en los niveles de expresión cuando se trataron a concentraciones de 200 ng/ml y 500 ng/ml confirmando la inducción del silenciamiento por las secuencias de dsRNA (**Figura 15**). Del mismo modo, el micelio tratado con las secuencias dsRNA homólogas al gen *PfFUS3* (secuencias M3) mostraron una inhibición en los niveles de expresión a concentraciones de 100 ng/ml, 200 ng/ml, 500 ng/ml y 1000 ng/ml (**Figura 16**). Por otra parte, los micelios tratados con las secuencias M2 y M6 no mostraron una inhibición en los niveles de mRNA (**Figura 17**).



**Figura 15.** Niveles de expresión génica relativa en micelio después de 7 días de exposición a las secuencias de dsRNA homologas al gen *PFCYP51*. Las barras indican la desviación estándar de dos replicas en el tiempo.



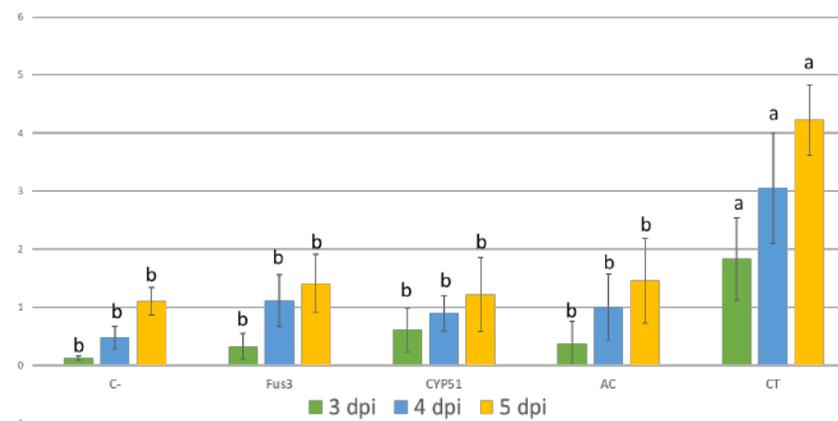
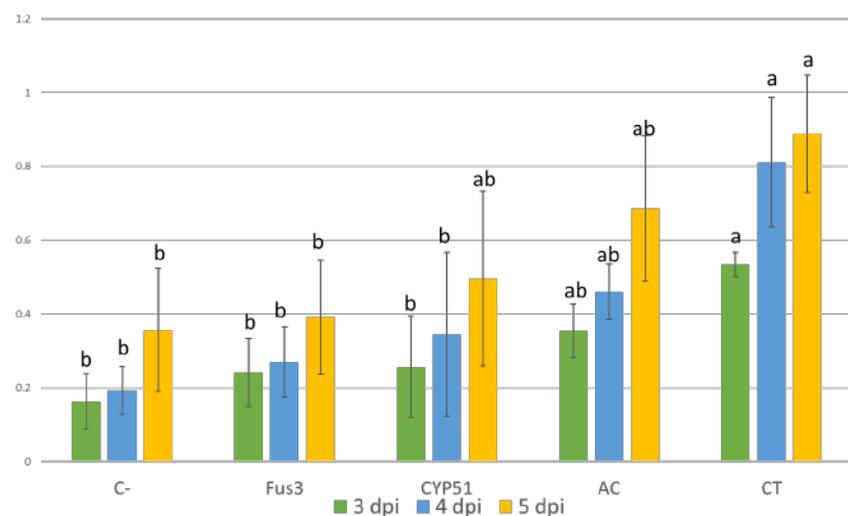
**Figura 16.** Niveles de expresión génica relativa en micelio después de 7 días de exposición a las secuencias de dsRNA homologas al gen *PffUS3*. Las barras indican la desviación estándar de dos replicas en el tiempo.



**Figura 17.** Niveles de expresión génica relativa en micelio después de 7 días de exposición a las secuencias de dsRNA. **A** Niveles de expresión génica de micelios tratados con las secuencias M2. **B** Niveles de expresión génica de micelios tratados con las secuencias M6. Las barras indican la desviación estándar de dos replicas en el tiempo.

**6.1.3.8. Experimentos en cámara de infección para probar el efecto de RNAi.** Se realizó nuevos experimentos en invernadero con las secuencias de siRNA homologas a los genes *PffUS3*, *PfcYP51* y Adenilato ciclasa (AC). Las plantas

de banano infectadas con los micelios tratados con estas secuencias mostraron una inhibición en el desarrollo de la infección, en comparación con el control como se puede observar en la figura (**Figura 18**).



**Figura 17.** Porcentaje de infección de plántulas de banano variedad Williams infectadas con micelios transfectedos con secuencias de RNA de cadena corta (siRNA) homólogas a los genes *PfFUS3*, *PfCYP51* y Adenilato ciclasa (AC). Las barras indican la desviación estándar. Las letras diferentes indican diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 6.1.4. Conclusiones

- Las colonias transformantes blancas obtenidas en transformaciones anteriores tuvieron un aumento en los niveles de expresión del gen blanco (SD). Puede ser que *P. fijiensis* tenga genes SD parálogos y solo

uno de ellos se editó, por lo tanto, para compensar este problema se da la sobreexpresión del gen. Sin embargo, este resultado debe confirmarse mediante repetición de los análisis de expresión por PCR en tiempo real y por análisis del genoma de los transformantes.

- Los transformantes obtenidos con el vector que contenía el gRNA 3 fueron resistentes a la higromicina y amplificaron el gen de la higromicina, pero tuvieron una coloración gris oscura, igual a la del fenotipo sin transformar, y en el análisis de la secuencia del gen SD no se observó ninguna modificación en los nucleótidos. Lo mismo ocurrió con las colonias obtenidas en la transformación de *P. fijiensis* con el vector vacío (sin gRNA). Estos resultados sugieren que no ocurrió una edición en el gen blanco, algo que se esperaba en los transformantes con el vector vacío.
- Los ensayos de qPCR de las muestras obtenidas a partir de micelios de *P. fijiensis* transfectados con las secuencias de dsRNA confirmaron que las secuencias M3 y M5 lograron inducir el silenciamiento de los genes *PfFUS3* y *PfCYP51*

respectivamente, mediante la disminución en los niveles de mRNA de estos genes. Estos resultados son acordes a lo observado en los ensayos de inhibición del crecimiento micelial y la inhibición de la longitud del tubo germinativo. Queda pendiente evaluar el efecto en la protección en plántulas de banano.

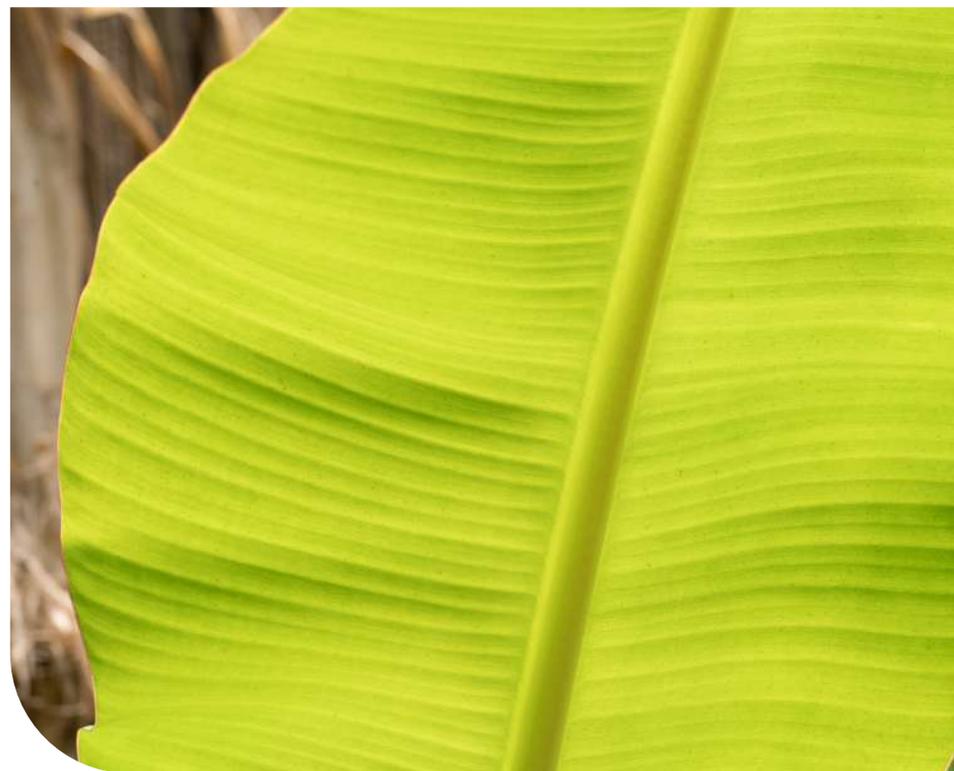
- Las nanopartículas de LDH sintetizadas fueron aptas para nanoencapsular las secuencias de siRNA y dsRNA. Sin embargo, las secuencias nanoencapsuladas no causaron una disminución en el crecimiento micelial. Posiblemente, la eficiencia en la captura de los nanoencapsulados a través del medio de cultivo es baja por parte del micelio de *P. fijiensis*, por lo tanto, no se observan diferencias en la cuantificación del crecimiento por absorbancia. Queda pendiente realizar PCR en tiempo real para confirmar estos resultados y realizar ensayos de infección para mirar si las secuencias nanoencapsuladas protegen contra la infección de *P. fijiensis*.
- La infección de hojas de banano con micelio transfectado con las secuencias de siRNA logró disminuir el avance de la enfermedad comparado

con el control. Estos resultados fueron confirmados mediante cuantificación de la severidad de las lesiones y análisis estadístico.

### 6.1.5. Referencias bibliográficas

1. Donzelli BG, Churchill AC. A Quantitative Assay Using Mycelial Fragments to Assess Virulence of *Mycosphaerella fijiensis*. *Phytopathology*. 2007;97(8):916-29.
2. Friesen TL. Combating the Sigatoka Disease Complex on Banana. *PLoS genetics*. 2016;12(8):e1006234.
3. Romero RA, Sutton TB. Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis*, Causal Agent of Black Sigatoka of Banana, to Propiconazole. *Phytopathology*. 1997;87(1):96-100.
4. Marin DH, Romero RA, Guzman M, Sutton TB. Black Sigatoka: An Increasing Threat to Banana Cultivation. *Plant Dis*. 2003;87(3):208-22.
5. Chong P, Essoh J, Arango R, Keizer LC, Stergiopoulos I, Seidl M, et al. Global analysis of reduced sensitivity to azole fungicides in the banana black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis*. Submitted to *PLoS One*. 2016.
6. Churchill AC. *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*. 2011;12(4):307-28.
7. Girard IJ, McLoughlin AG, de Kievit TR, Fernando DW, Belmonte MF. Integrating Large-Scale Data and RNA Technology to Protect Crops from Fungal Pathogens. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:631.
8. Wang J, Lv M, Islam F, Gill RA, Yang C, Ali B, et al. Salicylic acid mediates antioxidant defense system and ABA pathway related gene expression in *Oryza sativa* against quinclorac toxicity. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016;133:146-56.
9. Wang M, Jin H. Spray-Induced Gene Silencing: a Powerful Innovative Strategy for Crop Protection. *Trends in Microbiology*. 2017;25(1):4-6.
10. Schuster M, Kahmann R. CRISPR-Cas9 genome editing approaches in filamentous fungi and

- oomycetes. *Fungal genetics and biology : FG & B.* 2019;130:43–53.
11. Kujoth GC, Sullivan TD, Merkhofer R, Lee TJ, Wang H, Brandhorst T, et al. CRISPR/Cas9-Mediated Gene Disruption Reveals the Importance of Zinc Metabolism for Fitness of the Dimorphic Fungal Pathogen *Blastomyces dermatitidis*. *mBio.* 2018;9(2).
  12. Diaz-Trujillo C, Kobayashi AK, Souza M, Chong P, Meijer HJG, Arango Isaza RE, et al. Targeted and random genetic modification of the black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis* by *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation. *J Microbiol Methods.* 2018;148:127–37.
  13. Canas-Gutierrez GP, Angarita-Velasquez MJ, Restrepo-Florez JM, Rodriguez P, Moreno CX, Arango R. Analysis of the CYP51 gene and encoded protein in propiconazole-resistant isolates of *Mycosphaerella fijiensis*. *Pest management science.* 2009;65(8):892–9.
  14. Onyilo F, Tusiime G, Tripathi JN, Chen LH, Falk B, Stergiopoulos I, et al. Silencing of the Mitogen-Activated Protein Kinases (MAPK) Fus3 and Slr2 in *Pseudocercospora fijiensis* Reduces Growth and Virulence on Host Plants. *Front Plant Sci.* 2018;9:291.
  15. Wenderoth M, Pinecker C, Voss B, Fischer R. Establishment of CRISPR/Cas9 in *Alternaria alternata*. *Fungal genetics and biology : FG & B.* 2017;101:55–60.



## 6.2. BIOINSUMO PARA EL MANEJO DE HONGOS FITOPATÓGENOS BASADO EN PROTEÓMICA

**Autores:** Yenny Paola Restrepo Restrepo, Liuda J. Sepúlveda, Sebastián Zapata Henao y Lucía Atehortúa.

### Resumen

Los hongos poseen un arsenal de enzimas y son responsables de la mayor parte de materia orgánica disponible del planeta y por este motivo, actualmente están siendo explorados y explotados *in vivo* para el control de organismos fitopatógenos. Algunos macrohongos poseen un comportamiento selectivo a la hora de ocupar un nicho, como es el caso de los hongos degradadores de la madera blanca o marrón, los cuales crecen sólo en sustratos lignocelulósicos (complejos), lo que implica que estos poseen un sistema enzimático más robusto, incluyendo la degradación de compuestos xenobióticos. Nuestra hipótesis está basada en que estos organismos, capaces de degradar moléculas biológicas complejas y xenobióticas, se constituyen en una plataforma para la explorar nuevas fuentes de bio-

fungicidas, utilizando las herramientas ÓMICAS. White rot fungi han sido reportados para procesos de biorremediación, pero no explorados para el control de fitopatógenos, lo cual los hace atractivos candidatos para la búsqueda de nuevos sistemas enzimáticos para el control biológico. Por lo anterior, el presente trabajo selecciono al hongo medicinal *G. lucidum* (white rot fungi), como potencial antagonista del hongo (*Pseudocercospora fijiensis*), agente causal de la enfermedad conocida como Sigatoka negra, la cual genera grandes pérdidas en los cultivos de plátano y banano a nivel mundial. En esta investigación se llevaron a cabo estudios de antagonismo, bioprocesos para la obtención de la biomasa y bioactivos (extractos proteicos), sistemas de secado por Spray Dryer y estabilización del extracto proteico para proteger las enzimas de la degradación, seguido de un sistema de control de calidad por lote mediante electroforesis. Los análisis de proteómica de *G. lucidum* revelaron que un pool de enzimas podrían ser las responsables de esta acción (Arias et al. 2019). Fotografías SEM evidenciaron un sistema hifal totalmente alterado e incapaz de regenerarse (acción multisitio). Adicionalmente, el bioinsumo fue evaluado a nivel *in vitro* y en campo, con

resultados de eficacia superiores al 80% sobre el fitopatógeno (utilizando únicamente enzimas intracelulares), por lo tanto, este producto es igual o superior a Mancozeb® (actual producto para el control de este patógeno), en términos de que este es un producto basado en la naturaleza, ambientalmente sostenible, limpio, biodegradable, que puede sustituir a los actuales productos de síntesis química, contribuyendo a la calidad nutricional de la fruta, a la productividad, al medio ambiente y facilitando su ingreso a mercados libres de agroquímicos., al mismo tiempo que contribuye a mitigar los impactos del cambio climático causado por la producción de agroquímicos. Actualmente el bioinsumo está pendiente de una patente (Radicado SIC: NC2022/0013531 / 20- 09-22).

**Palabras clave:** Sigatoka negra, extracto proteico, *Ganoderma lucidum*, pruebas de eficacia agronómica.

### 5.2.1. Introducción

La agricultura ha proporcionado una fuente de alimento confiable para la población mundial; su importancia se ha reflejado en el movimiento intercultural de cultivos y razas ganaderas a lo largo de la historia, revolucionando las

dietas y ayudando a reducir la pobreza (FAO, 2014). La seguridad alimentaria mundial es de gran importancia, por lo que un incremento de la inversión para investigación y desarrollo agrícola es necesario para aumentar la productividad de las granjas del mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo (Fuglie, 2016). A pesar de los esfuerzos en mejorar la economía agrícola y los sistemas de cultivo, se han presentado diversos problemas en la agricultura convencional y urbana, relacionados con el déficit de agua por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, una creciente proliferación de plagas resistentes a insumos químicos, y la prohibición del uso de agroquímicos para su control (Dieleman, 2016). América Latina, considerada una región rica en recursos renovables y no renovables, ha presentado problemas en los cultivos, debido a sistemas agrícolas ineficientes, y a la limitada disponibilidad de nutrientes del suelo; por ello la aplicación de la biotecnología agrícola representa grandes beneficios para solucionar dichas problemáticas (Barragán-Ocaña y del- Valle-Rivera, 2016).

Por otro lado, los patógenos de las plantas, incluidos hongos, bacterias, virus y nematodos, causan graves pérdidas o daños a los cultivos en todo el mundo y

reducen significativamente la calidad y cantidad de los productos agrícolas. Estas pérdidas representan anualmente una gran amenaza para la producción mundial de alimentos (El Ghaouth et al., 2002; Dean et al., 2012; Singh, 2014; O'Brien, 2017). Además, la infección patógena en el campo o en el almacenamiento posterior a la cosecha puede afectar la salud de los humanos y el ganado, especialmente si el patógeno produce toxinas en o sobre los productos consumibles (Brimner y Boland, 2003; Menzler-Hokkanen, 2006).

Por lo anterior, se han venido utilizando varios métodos, estrategias y enfoques en el manejo de las enfermedades de las plantas. Estos abarcan el desarrollo de variedades resistentes a través del mejoramiento de plantas, plantas modificadas genéticamente, uso de agroquímicos y métodos físicos (es decir, tratamientos térmicos, radiación ultravioleta, atmósfera modificada o controlada, almacenamiento en frío e inducción de resistencia mediante la aplicación de elicitores), aplicación de agentes de control biológico y buenas prácticas agronómicas y hortícolas (Stevens et al., 1997; Wisniewski et al., 2007; Droby, 2006; Singh y Chawla, 2012; Gupta y Sharma, 2014; Singh, 2014; O'Brien, 2017). Estos enfoques han contribuido significativamente a las notables mejoras

en la productividad y calidad de los cultivos en las últimas décadas (Punja, 1997; Droby, 2006; Chandrashekara et al., 2012).

A pesar de lo anterior, el cambio climático global ha exacerbado la incidencia de problemas fitopatológicos a nivel global, sumado a las nuevas demandas de productos libres de agroquímicos. Por estas razones, los crecientes ataques de estos fitopatógenos requieren un enfoque multidisciplinario para lograr una estrategia contundente frente al ataque de viejos y nuevos organismos que surgen como consecuencia de los cambios drásticos ambientales. Las tendencias mundiales, están cambiando hacia la reducción de productos de síntesis química (Agroquímicos), para el manejo de enfermedades en plantas. Un considerable esfuerzo de investigación por parte de las Universidades e Institutos orientados al agro, se centran en la búsqueda de alternativas seguras, ecológicas y eficaces para reemplazar los agroquímicos sintéticos, con el fin de reducir la pérdida de las cosechas y al mismo tiempo reducir los costos de los insumos, mediante la formulación de productos más amigables con el medio ambiente que incrementen la productividad, mejoren la calidad alimentaria de los productos y mejoren el medio

ambiente, a través de la mitigación del cambio climático global, causados por los procesos de producción de agroquímicos y actividades antropogénicas.

Es probable que los patógenos de plantas sean de creciente interés para las empresas alimentarias y agrícolas, debido a su dependencia a los pesticidas y fungicidas para controlar enfermedades, sin embargo, muchas de ellas enfrentan regulaciones cada vez más estrictas. Los movimientos globales de personas y bienes también aumentan el riesgo de que las enfermedades se propaguen a nuevas regiones, por tanto, el impacto incierto que tendrá el cambio climático en los patógenos, su severidad y la susceptibilidad del huésped agrega una fuente adicional de riesgo para la producción agrícola mundial y la seguridad alimentaria. Es así como, la Universidad de Antioquia y en especial el Grupo de Biotecnología se ha sumado a este esfuerzo global, para buscar soluciones basadas en la naturaleza y que contribuyan a que la agroindustria disponga de alternativas viables y eficientes en el manejo de plagas y enfermedades que sustituyan los actuales productos de control de plagas y enfermedades basados en síntesis química, además, de otros productos que reduzcan la dependencia de fertilizantes y productos importados para

incrementar la productividad y el buen desarrollo de la biomasa vegetal que sustenta la producción con aportes de biofertilizantes y bioestimulantes.

## **5.2.2. Materiales y métodos**

**5.2.2.1. Organismos y condiciones de crecimiento.** La cepa de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst utilizada en este estudio fue donada por el Dr. Shu-Ting Chang de la Universidad de Hong Kong al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Antioquia, el cultivo fue mantenido en agar FC1 (sacarosa, extracto de levadura y agar – agar). La biomasa usada para la obtención de un extracto rico en proteínas fue obtenida a partir de la fermentación líquida de la cepa medicinal en un biorreactor de 7L (BIOFLO 110 – NEW BRUNSWICK®). El medio utilizado fue reportado por Romo-Buchelly y colaboradores (2022), se utilizó 0,1% p/v de cultivo como preinóculo, la temperatura de incubación fue de  $25 \pm 1$  °C, la agitación fue constante (150 rpm) y fue expuesto durante todo el cultivo de 7 días a luz LED azul. La cepa de *Pseudocercospora fijiensis* fue aislada a partir de hojas de banano con signos de la enfermedad provisionadas por la Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). Los aislados

monospóricos fueron mantenidos en agar PDA a 25 °C en total oscuridad.

**5.2.2.2. Aislamiento de proteínas de *G. lucidum*.** La biomasa cosechada fue lavada con buffer PBS 7.4 mM y centrifugada a 12000 rpm a 4°C, luego se realizó una disrupción mecánica en baño frío  $\leq 4$  °C con un Ultraturrax® realizando 1 ciclo de disrupción y 1 ciclo de descanso de 1 minuto cada uno en alternancia hasta completar 10 ciclos. Finalmente, se recuperó el extracto intracelular rico en proteínas por centrifugación a 12000 rpm a 4 °C. Este extracto líquido fue formulado con trehalosa al 20% y secado a través de Spray Dryer, empacado al vacío y almacenado en nevera a 4°C. La cuantificación de proteínas se realizó a través del método de Bradford con estándar de albúmina de suero bovino BioRad® (Bradford 1976) y se realizó una electroforesis SDS-PAGE para verificar la conservación del patrón de bandas antes y después del secado por aspersion.

**5.2.2.3. Proceso de secado por aspersion y estabilización del extracto rico en proteínas.** Los sólidos disueltos en el extracto proteico fueron cuantificados en un termo analizador gravimétrico para determinar la cantidad de

trehalosa a usar para estabilizar el extracto empleando porcentajes de trehalosa de 20%, 30%, 40% y 50%, esta mezcla fue homogenizada por 30 minutos y luego se inició el proceso de secado a través de Spray Dryer con una temperatura de entrada de 110 °C, una temperatura de salida de 68 °C y con un flujo de entrada del 10%. Finalmente, el extracto seco fue recuperado, empacado al vacío y almacenado en nevera a 4 °C.

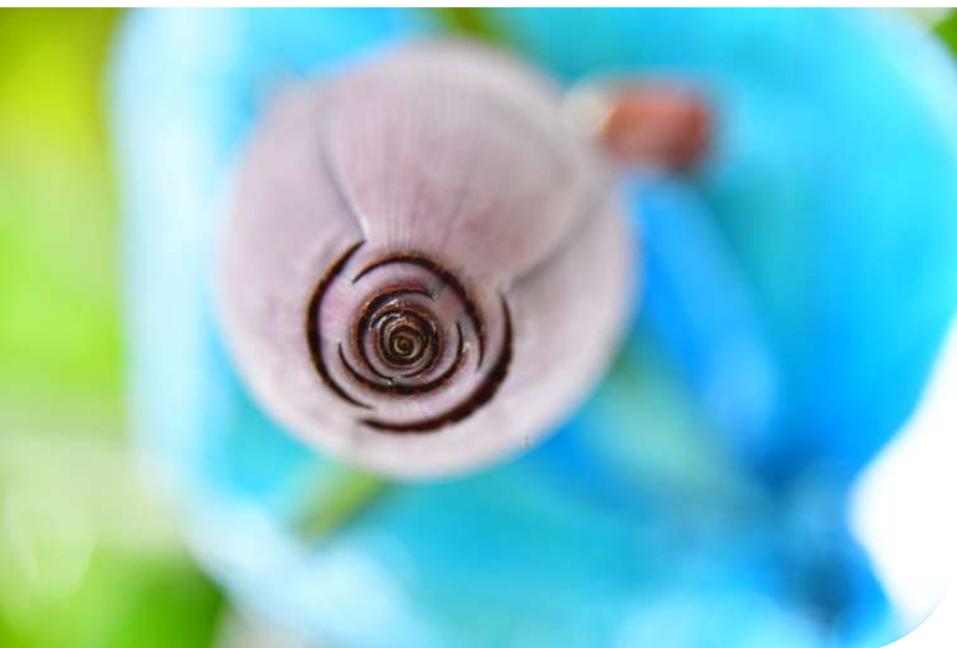
**5.2.2.4. Ensayos de actividad antifúngica.** La concentración mínima inhibitoria (MIC por sus siglas en inglés) fueron realizados en microplatos de 96 pozos. Para evaluar cada tratamiento, se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Control positivo o control de crecimiento: 100µL del inóculo de *P. fijiensis* con un OD=0,1 a 600nm (equivalente a una concentración de  $2 \times 10^5$  fragmentos miceliares/mL) + 100µL de buffer PBS pH 7.4 12mM.
- Control negativo o control de esterilidad: 100µL de caldo Sabouraud dextrosa al 2% + 100µL de buffer PBS pH 7.4 12mM.
- Extracto antifúngico por evaluar: 100µL del extracto disuelto en buffer PBS pH 7.4 12mM a una concentración

determinada + 100 $\mu$ L del inóculo de *P. fijiensis* con un OD=0,1 a 600 nm.

El ensayo tuvo una duración de 7 días y el crecimiento micelial fue determinado de manera indirecta a una  $\lambda$  de 600nm en un espectrofotómetro para microplatos de 96 pozos, y el resultado de la actividad antifúngica se determinó mediante el cálculo del porcentaje de inhibición usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Inhibición} = \frac{\text{Absorbancia del Control} - \text{Absorbancia del Extracto}}{\text{Absorbancia del Control}} \times 100$$



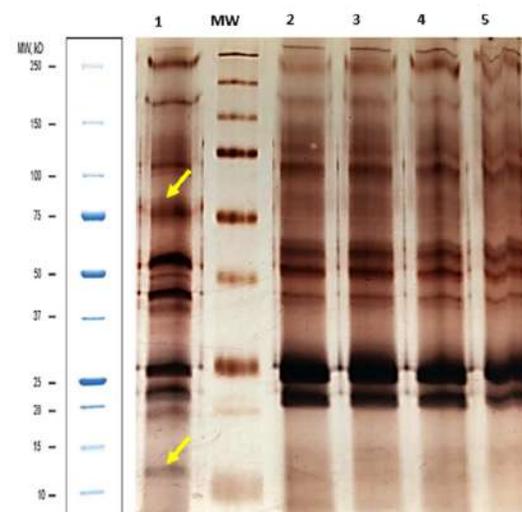
### 5.2.3. Resultados y discusión

**5.2.3.1. Cultivo de *G. lucidum* a nivel de biorreactor.** La concentración máxima de biomasa de *G. lucidum* obtenida por fermentación líquida a nivel de fotobiorreactor fue de  $9.8 \pm 0.8$  g/L en 7 días de cultivo. Esta producción es comparable con la que se reporta en la literatura, sin embargo, los medios líquidos que se utilizan para las fermentaciones líquidas a nivel de biorreactor son sintéticos y muy costosos (USD \$16 por litro), para nuestro caso 1 litro de medio de cultivo cuesta alrededor de USD \$0.14 (Romo-Buchelly *et al.* 2022).

**5.2.3.2. Extracción intracelular de proteínas y componentes bioactivos.** Aunque el proceso de obtención del extracto es el paso más complejo del proceso debido a la conservación de la temperatura ( $\leq 4$  °C), en este estudio se logró obtener una concentración promedio de extracto intracelular seco de  $0.6 \pm 0.1$  g/L, con una composición de 72.82% de carbohidratos, 14.05% de proteínas y 3.61% de lípidos. Este extracto crudo total fue encapsulado y estabilizado con el excipiente trehalosa, para su posterior proceso de secado a través de Spray Dryer con el fin de proteger las proteínas de su degradación. Nishant Jain & Ipsita Roy (2009) resumen en

tres posibles explicaciones como la trehalosa protege las proteínas, una de ellas es la teoría de la vitrificación que asume que el disacárido forma una matriz protectora que rodea las proteínas protegiéndolas físicamente de los factores de estrés. Otras es la exclusión preferencial en la cual la trehalosa protege de manera indirecta la biomolécula secuestrando el agua y formando enlaces de hidrogeno alrededor de las proteínas para estabilizar la molécula y, por último, su acción protectora está dada por un remplazo del agua durante procesos de estrés, lo cual permite mantener la estructura tridimensional de la proteína.

Para comprobar la acción protectora del excipiente sobre las proteínas de *G. lucidum* se realizó una electroforesis (**Figura 1**) para comprobar que las proteínas no se hubieran degradado, a pesar de que se pierden algunas bandas (flechas amarillas), en el perfil electroforético se logra apreciar una buena cantidad de proteínas, aproximadamente 10 bandas de diferentes pesos moleculares que se conservan después del proceso de secado independiente de la concentración de trehalosa que es utilizada en la mezcla.



**Figura 1.** Perfil electroforético del extracto crudo de *G. lucidum* seco por aspersion con trehalosa. 1: Extracto crudo fresco + cocktail inhibidor de proteasa. MW: Peso molecular. 2: Extracto seco + trehalosa al 20%. 3: Extracto seco + trehalosa al 30%. 4: Extracto seco + trehalosa al 40%. y 5: Extracto seco + trehalosa al 50%. Las flechas indican las bandas que se pierden durante el proceso de secado.

**5.2.3.3. Ensayo de actividad antifúngica.** El uso de trehalosa en concentraciones del 20% y 30%, mezclada con el extracto, permitió obtener una mayor inhibición del fitopatógeno alcanzando valores cercanos al 80%,

superando de esta forma a lo obtenido para las mezclas de 40% y 50% de trehalosa. Esto podría deberse a que en concentraciones altas de la mezcla con este disacárido hay menor cantidad de compuestos bioactivos pertenecientes al extracto (**Tabla 2, Figura 2**).

TRATAMIENTO	REPLICA A	REPLICA B	PROMEDIO	DESVIACIÓN	% INHIBICIÓN
TREH 20% lote 15-09-2021	0,08	0,07	0,08	0,01	81,98
TREH 30% lote 15-09-2021	0,04	0,04	0,04	0,00	80,76
TREH 40% lote 15-09-2021	0,07	0,07	0,07	0,00	71,89
TREH 50% lote 15-09-2021	0,08	0,1	0,09	0,01	73,42
TREH 50% Lote 26-08-2021	0,11	0,06	0,09	0,04	79,44
TREH 50% Lote 09-08-2021	0,07	0,09	0,07	0,02	68,94

**Tabla 2.** Porcentajes de inhibición del extracto crudo de *G. lucidum* seco con trehalosa (TREH) por Spray Dryer contra *P. fijiensis*.



**Figura 2.** Ensayo de actividad antifúngica de extractos crudos de *G. lucidum* secos por Spray Dryer con trehalosa (TREH) a diferentes porcentajes.

Una mezcla del 20% de trehalosa en relación con los sólidos del extracto intracelular rico en proteínas es suficiente para obtener un efecto de protección sobre los componentes del extracto, permitiendo mejorar la actividad antifúngica considerablemente con respecto al extracto seco sin ningún excipiente y al mezclado con maltodextrina- dextrosa. Además, con el uso de esta mezcla de trehalosa al 20% se obtiene un extracto seco menos higroscópico que el obtenido con mayores

porcentajes de excipiente en la mezcla. Finalmente, también fue observado que la solubilidad de la muestra resuspendida en buffer fosfato (PBS) fue mejor en comparación a las muestras que se secaron con otros excipientes.

#### 5.2.4. Conclusiones

- Los resultados de los ensayos de microdiluciones fueron bastante claros e indican que el extracto crudo seco por Spray Dryer utilizando como excipiente trehalosa presenta una mejor actividad fungiestática cuando se compara con los resultados obtenidos con el extracto seco, sin excipientes y extracto: maltodextrina-dextrosa.
- Los porcentajes de inhibición del fitopatógeno fueron del orden del 80% (utilizando únicamente los extractos proteicos intracelulares) mezclado con trehalosa al 20% y 30%. Adicionalmente, se planea adicionar los extractos extracelulares para fortalecer la actividad antifúngica.

- La solubilidad del extracto seco con trehalosa, fue mejor que con los otros excipientes que se han evaluado.
- El perfil electroforético revela que la trehalosa es un buen excipiente para estabilizar y proteger las proteínas, sin embargo, este producto es costoso comparado con otros azúcares de uso comercial como la maltodextrina, sacarosa y la dextrosa.

#### 5.2.5 Referencias bibliográficas

- Mónica A. Arias-Londoño, Mónica, Paola A. Zapata-Ocampo, Angela R. Mosquera-Arévalo, Jaiver D. Sánchez-Torres, Lucía Atehortúa-Garcés. (2019). Antifungal protein determination for submerged cultures of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae) with activity over the phytopathogen fungus *Mycosphaerella fijiensis* (Mycosphaerellaceae). *Actual. Biol.* 41 (111): 53-64. | DOI:10.17533/udea.acbi.v41n111a04
- Barragán Ocaña, A., and M. del C. del-Valle- Rivera. (2016). Rural development and environmental protection

- through the use of biofertilizers in agriculture: An alternative for underdeveloped countries?. *Technology in Society* 46:90–99.
- Brimner, T. A., and Boland, G. J. (2003). A review of the non-target effects of fungi used to biologically control plant diseases. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100 (1), 3–16. doi: 10.1016/S0167-8809(03)00200-7.
- Chandrashekara, K. N., Manivannan, S., Chandrashekara, C., and Chakravarthi, M. (2012). Biological Control of Plant Diseases. Eco-friendly Innovative *approaches in Plant Disease Management (Uttarakhand, India: International Book Distributors)*, 147–166.
- Dean, R., Van Kan, J. A., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P. D., et al. (2012). The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Mol. Pathol.* 13 (4), 414–430. Doi: 10.1111/J.1364-3703.2011.00783.x
- Dieleman, H. (2016). Urban agriculture in Mexico City; Balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production* 163:S156–S163.
- Droby, S. (2006). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: difficulties and challenges. *Phytopathol. Pol.* 39, 105–117.
- El Ghaouth, A., Wilson, C., Wisniewski, M., Droby, S., Smilanick, J. L., and Korsten, L. (2002). “Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables,” in *Applied mycology and biotechnology*, vol. Vol. 2. (Amsterdam, the Netherlands: Elsevier), 219–238.
- FAO, (2014). El estado mundial de la agricultura y la alimentación Roma, FAO.
- Fuglie, K. (2016). The growing role of the private sector in agricultural research and development world-wide. *Global Food Security* 10:29–38.
- Gupta, S. K., and Sharma, M. (2014). Approaches and trends in plant disease management (India: Scientific Publishers), Pg. 429.
- Menzleer-Hakkaner, I. (2006). “Socioeconomic significance of biological control,” in *An ecological and Societal Approach to Biological Control* (Dordrecht: Springer), 13–25.

- N.K. Jain and I. Roy, *Protein. Sci.* 18, 24 (2009). Effect of trehalose on protein structure. *Protein Sci.* 18(1): 24-36. Doi: 10.1002/pro.3.
- O'Brien, P. A. (2017). Biological control of plant diseases. *Australas. Plant Pathol.* 46 (4), 293-304. doi: 10.1007/s13313-017-0481-4
- Cuamatzi Flores, J.L., Berenice Nava Galicia, Ulises Esquivel Naranjo, Martha Dolores Bibbins Martínez. (2017). Biotecnología Fungal Aplicada a la Degradación de Xenobióticos: Enzimas Peroxidasas y su Potencial en Biorremediación. *Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala* - No. 6.
- Punja, Z. K. (1997). Comparative efficacy of bacteria, fungi, and yeasts as biological control agents for diseases of vegetable crops. *Can. J. Plant Pathol.* 19 (3), 315-323. doi: 10.1080/07060669709500531
- Romo-Buchelly, R.L, Liuda Johana Sepúlveda-Arango, Yenny Paola Restrepo-Restrepo, Daniel Emilio Areiza-Restrepo, Sebastian Zapata Henao, Lucía Atehortúa-Garcés. (2022). Volumetric Oxygen Transfer Coefficient Effect on Biomass, Bioactive Compounds Production, and Kinetic Behavior of *G. lucidum* in Submerged Culture Using a Complex Medium. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* Vol.65: e22210618, 2022 <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210618>
- Singh, V. K., and Chawla, S. (2012). *Cultural Practices: An Eco-friendly Innovative Approaches in Plant Disease Management Publisher* (New Delhi: International Book Distributors and Publisher).
- Singh, H. B. (2014). Management of plant pathogens with microorganisms. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* 80 (2), 443-454. doi: 10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55120.
- Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Igwegbe, E. C. K., et al. (1997). Integration of ultraviolet (UV-C) light with yeast treatment for control of postharvest storage rots of fruit and vegetables. *Biol. Control* 10, 98-103. doi: 10.1006/bcon.1997.0551
- Wisniewski, M., Wilson, C., Droby, S., Chalutz, E., ElGhaouth, A., & Stevens, C. (2007). Postharvest biocontrol: new concepts and applications. En C. Vincent, M. S. Goettel, & L. George (Eds.), *Biological control: a global perspective: case studies from around the world* (p. 262-273). Boca Ratón, EE. UU.: CAB International

### 5.3. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO MOLECULAR DE BACTERIAS ASOCIADAS A LA PUDRICIÓN ACUOSA DEL PSEUDOTALLO EN CULTIVOS DE BANANO

**Autores:** Daniel Osorio Giraldo, Luz Edith Argel Roldán, Mónica Patricia David González, Andrés Mauricio Pinzón Núñez, Juan Esteban Pérez Jaramillo y Sebastián Zapata Henao.

#### Resumen

El banano es uno de los cultivos más importantes de Colombia junto al café y las flores; con zonas de producción en distintas regiones del país, como Urabá en el departamento de Antioquia, en el norte del departamento del Magdalena y en el departamento de la Guajira. La pudrición acuosa del pseudotallo es una enfermedad que afecta en gran medida los cultivos de banano, y se han reportado distintos agentes causales como las bacterias *Dickeya* sp, *Pectobacterium carotovorum* y *Klebsiella variicola*. La identificación precisa del agente o los agentes causales es necesaria para asegurar un manejo adecuado de la enfermedad. Este estudio tiene como objetivo diseñar un protocolo para el diagnóstico molecular de bacterias asociadas a la

pudrición acuosa de pseudotallo en cultivos de banano mediante PCR convencional. Se realizaron aislamientos de bacterias asociadas a la enfermedad, y se realizó una caracterización morfológica y bioquímica de los aislados. Los primers para la reacción de PCR se diseñaron a partir de un segmento del gen *dnaJ* con secuencias de ADN de especies del género *Dickeya* disponibles en la base de datos del NCBI. Los resultados de amplificación por PCR del ADN genómico de 37 cepas aisladas confirmaron que los primers PFD-PRD tienen la capacidad de detectar bacterias asociadas a daños en los cultivos de banano. El ensayo propuesto se desarrolló originalmente como una PCR convencional para la detección del género *Dickeya* sp., pero posteriormente se encontró, con base en la identificación molecular mediante ARNr 16S, que los primers pueden amplificar regiones de las bacterias *Klebsiella variicola*, *Kosakonia oryzendophytica*, *Ochrobactrum pseudogrignonense*, y *Pectobacterium carotovorum*, por lo cual se concluye que el protocolo desarrollado podría ser útil para el diagnóstico oportuno de la pudrición acuosa del pseudotallo.

**Palabras Clave:** *Musa* sp., Bacteriosis, *Dickeya* sp., Reacción en cadena de la polimerasa.

### 5.3.1. Introducción.

El cultivo de banano es uno de los productos de mayor exportación en Colombia, con más de 52.000 ha sembradas en 2021 (Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA), 2021). Este fruto brinda, además, un gran dinamismo a la economía del país, con la generación de empleo, y con aportes al PIB de las regiones, principalmente en la región bananera del departamento de Antioquia, con un aporte de más del 85% (Sánchez, 2021). Pese a esto, como en la mayoría de los cultivos, el banano es afectado por diferentes patologías, entre las que más impactan este cultivo en Colombia se encuentran enfermedades causadas por hongos y bacterias. La marchitez por *Fusarium* Raza 4 Tropical, es causada por el hongo del suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, el cual afecta especialmente al banano Cavendish, causando la muerte a la planta e inhabilitando el suelo por un largo periodo de tiempo para posteriores siembras. La Sigatoka negra es otra enfermedad causada por un hongo, en este caso por *Pseudocercospora fijiensis*, el cual impacta en el rendimiento de los cultivos, produciendo daño en las hojas y afectando la nutrición de las plantas. En cuanto a enfermedades bacterianas, el “Moko” o Marchitamiento bacteriano, es una patología causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, que luego de enfermar las

plantas, hace necesaria la erradicación del foco para evitar su propagación al resto de las plantaciones (Red Agrícola, 2020).

Otra enfermedad bacteriana reportada en cultivos de banano, es la pudrición acuosa del pseudotallo, causada por la bacteria *Dickeya* sp, según reporta (Ramírez et al., 2014). Esta última enfermedad en banano se caracteriza principalmente por una descomposición blanda de mal olor en el rizoma y por el avance hacia el pseudotallo, y posteriormente al fruto, lo que provoca la destrucción del punto de crecimiento y la podredumbre interna que suele ir acompañada de una decoloración vascular (Premabati & De Mandal, 2020). Además de esto, diferentes especies del género *Dickeya* sp, han sido catalogadas como algunas de las bacterias de mayor importancia que limitan el rendimiento y la calidad de los cultivos (Mansfield et al., 2012).

*Dickeya* sp. es una bacteria patógena aerobia, Gram negativa, no esporulada, con flagelos periticos. La descripción morfológica de las colonias en agar nutritivo después de 48 h presentan una coloración blanca a gris claro, tienen bordes irregulares, crecimiento granular fino y después de 4 días muestran un centro ascendente bien definido (Romero et al., 2020). Sin embargo, debido a la diversidad genética que presenta, la clasificación de este

género ha sido objeto de una amplia investigación taxonómica y de muchas revisiones a lo largo de los años (Zhang et al., 2016), lo cual limita el diseño de métodos de detección específicos que permitan detectar e identificar la bacteria de manera oportuna. En consecuencia, se hace necesario el desarrollo de métodos específicos para la correcta identificación del agente causal de la enfermedad en muestras vegetales de la planta (Nakayama et al., 2021). En ese contexto, el siguiente informe presenta la caracterización morfológica, bioquímica y molecular de bacterias asociadas a la pudrición de pseudotallo, y la estandarización de una PCR convencional, sensible y específica, para el diagnóstico molecular en cultivos de banano.

### **5.3.2. Metodología**

**5.3.2.1. Localización.** Los ensayos se llevaron cabo en los laboratorios del Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO), donde se realizaron muestreos y aislamientos de bacterias, y en el laboratorio del Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales (PECET) de la Universidad de Antioquia, donde se realizó la caracterización de las bacterias y los procesos de biología molecular, como extracciones y amplificaciones con PCR.

**5.3.2.2. Colecta de muestras.** Se realizó un muestreo de tejidos de banano con presencia de síntomas asociados a la pudrición acuosa del pseudotallo en distintas fincas con plantaciones de banano. Además, se realizó un muestreo de otros tejidos de la planta con síntomas presentes, realizando un registro de la fecha de muestreo, parte de la planta muestreada, y las coordenadas del sitio de muestreo. Los tejidos colectados en campo se conservaron a 4°C hasta su procesamiento.

**5.3.2.3. Aislamiento y caracterización de las bacterias.** El aislamiento de las cepas bacterianas, así como su caracterización morfológica se realizó a partir de tejidos sintomáticos para la enfermedad (pseudotallo, corno y fruto), siguiendo la metodología descrita por Ramírez et al., (2014). Para esto se tomaron trozos de cada tejido y se realizó una desinfección con hipoclorito de sodio a una concentración del 3% y posteriormente tres lavados con agua destilada estéril. Los trozos se ubicaron en el medio compuesto por Agar tripticasa de soya al 50% y agar al 50%, al que denominaremos como TSA 50, y se incubaron a 28°C hasta que se observó crecimiento de colonias bacterianas (aproximadamente 48 h). El aislamiento microbiano se realizó tomando parte de la colonia presente en el borde del trozo de tejido con un asa, esta fue transferida al medio TSA 50 para realizar siembra por agotamiento y posteriormente se incubó a 28°C por 48 h.

La caracterización morfológica de los aislados, se realizó en medio TSA 50 y en el medio selectivo NGM (Agar nutritivo, glicerol al 1% y  $MnCl_2$  a 2 mM), después de la descripción macro y microscópica de las colonias aisladas, las cepas fueron conservadas en caldo de tripticasa de soya (TSB) con 50% de glicerol y almacenadas a  $-80^{\circ}C$ .

**5.3.2.4. Caracterización bioquímica de las bacterias.** Para la caracterización bioquímica de los aislados, se realizaron las pruebas conocidas como hidróxido de potasio (KOH), óxido fermentación (O/F), extracto de levadura, dextrosa y carbonato de calcio (YDC), además de la prueba en medio de sulfuro indol para movilidad (SIM). Al igual que la reacción de la tinción de Gram, la prueba de KOH se basa en las diferencias químicas de la pared celular bacteriana, permitiendo diferenciar entre bacterias Gram positivas y Gram negativas. Por otro lado, la prueba O/F es una prueba que indica el tipo de metabolismo energético, respiratorio (O) o fermentador (F), frecuentemente se utiliza glucosa como sustrato para detectar la acumulación de ácidos con un indicador ácido-base (azul de bromotimol). Para esto la bacteria se inocula con asa de punción y se incuba en condiciones de aerobiosis (sin parafina) y de anaerobiosis (con parafina, tubo cerrado), simultáneamente. La prueba YDC consiste en un medio

semi selectivo que permite evaluar características fenotípicas tales como la morfología de la colonia. Finalmente, la prueba SIM consiste en un medio semisólido empleado para verificar la movilidad, producción de indol y de sulfuro de hidrógeno por los microorganismos. Para realizar las pruebas, se utilizaron cultivos frescos, es decir, siembras que fueron previamente incubadas a  $28^{\circ}C$  por 24 h.

**5.3.2.5. Extracción de material genético.** La extracción de ADN de las 37 cepas aisladas se realizó siguiendo el protocolo descrito en el kit EZ-10 Spin Column Plant Genomic DNA Miniprep Kit (BioBasic) y en el kit DNeasy UltraClean/NoviPure Microbial Kit (Qiagen), a partir de colonias jóvenes de las bacterias. La cuantificación y evaluación de pureza del material genético se realizó usando un espectrofotómetro NanoDrop 1000 (Thermo Fisher Scientific).

**5.3.2.6. Diseño de primers.** Los primers para detectar *Dickeya* sp. fueron diseñados sobre el gen *dnaJ*, que codifica para una chaperona molecular, tomando como cepa de referencia a *Dickeya paradisiaca* Ech703 (NC\_012880.1), cuyo genoma sirvió de referencia para la clasificación del aislado NCPPB 2511, obtenido de una planta de plátano en Colombia (Pritchard et al., 2013). Para

el diseño se utilizó la herramienta Primer-BLAST del NCBI (National Center for Biotechnology Information) (Ye et al., 2012). El análisis termodinámico se realizó con el programa Oligoanalyzer de IDT (Integrated DNA Technologies), con el fin de analizar y prevenir la formación de estructuras secundarias en los primers.

La especificidad de los primers diseñados se evaluó computacionalmente con la herramienta BLAST, realizando alineamientos frente a otras especies del género, otros microorganismos patógenos reportados en el suelo y en la planta, y frente a las plantas hospederas: banano y plátano (*Musa* sp.).

**5.3.2.7. PCR Convencional.** Las condiciones de PCR se evaluaron con la amplificación de cepas aisladas compatibles con la morfología reportada para *Dickeya* sp. (Romero et al., 2020). La reacción se llevó a cabo con un volumen final de 25  $\mu$ L, con los primers diseñados a una concentración de 0,1  $\mu$ M (Macrogen) cada uno, 0,2  $\mu$ M de los dNTP's (SMOBIO), 1X del buffer, 2 mM de  $MgCl_2$  (Thermo), 1 U/ $\mu$ L de la Taq polimerasa (Thermo) y 3  $\mu$ L del ADN. La amplificación se realizó en un equipo SimpliAmp Thermal Cycler de Applied Biosystems. El producto de PCR se verificó mediante una corrida en gel de agarosa a una concentración de 2% (TBE), llevando a cabo una electroforesis por 50 min a 90 V. El colorante utilizado fue

Fluorostain DNA staining Dye (10000 X) (SMOBIO), y el marcador de peso fue DNA ladder 100 bp + 3k (SMOBIO).

**5.3.2.8. Colony PCR.** Con el fin de evaluar la posibilidad de realizar una amplificación sin necesidad de extracción de material genético, se realizó una reacción de PCR a partir de colonia directa (Colony PCR), para esto se llevó a cabo una reacción con las mismas condiciones establecidas en la PCR convencional, sustituyendo el volumen de material genético extraído con kit, por un volumen de lisado bacteriano. Para el lisado se tomó una colonia joven (24 h aproximadamente) de cada cepa, y se llevaron a un vial con 300  $\mu$ L de agua destilada estéril, la suspensión bacteriana se llevó a un termobloque y se realizó un choque térmico por 10 min a 99°C.

**5.3.2.9. Identificación molecular.** La identificación se realizó por secuenciación del fragmento 16S ARNr, con los juegos de primers 27F-1492R y 518F-800R. Las secuencias fueron analizadas con la herramienta BLAST del NCBI (National Center for Biotechnology Information) (Altschul et al., 1990; Morgulis et al., 2008), para determinar el porcentaje de homología. La construcción de los árboles filogenéticos se realizó con la herramienta MEGA (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) versión 11 (Tamura et al., 2021). La selección de cepas para la identificación molecular se realizó con base en la

compatibilidad morfológica con *Dickeya* sp. y en las bandas obtenidas en la amplificación con los primers diseñados.

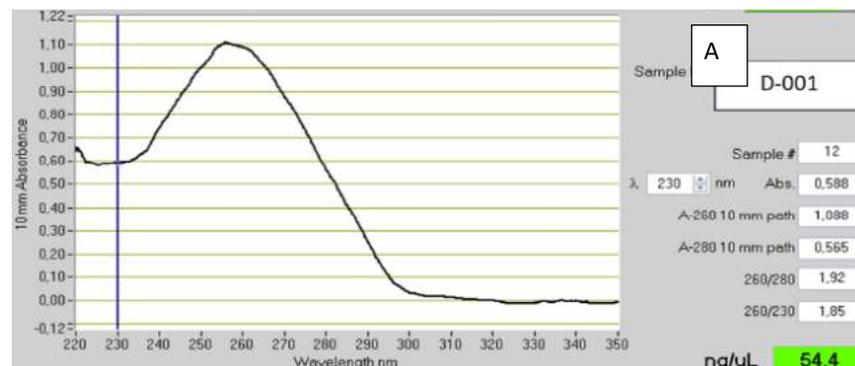
### 5.3.3. Resultados y discusión

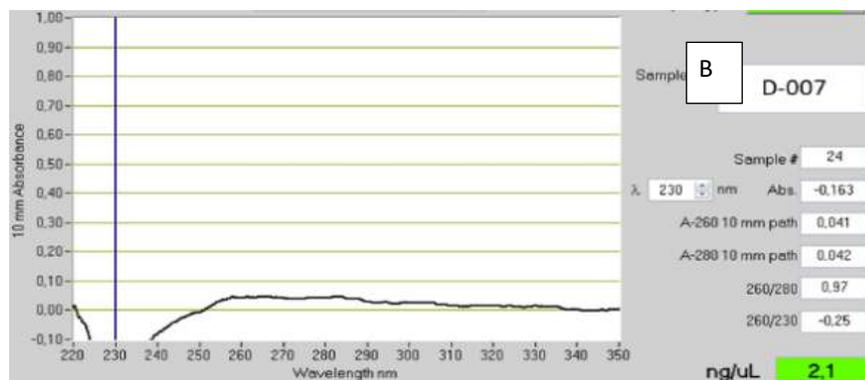
**5.3.3.1. Aislamiento y caracterización de las bacterias.** Se obtuvo una colección de 37 cepas bacterianas aisladas de cormo (CB-DC 0001 - 0003), fruta (CB-DC 0004 - 0023), y tejidos de pseudotallo de banano (CB-DC 0024 - 0037) (**Tabla 1**). De los cuales 5 aislados presentaron una morfología similar a lo reportado para *Dickeya* sp. (Ramírez et al., 2014). Las características morfológicas corresponden a colonias de color crema, con una forma circular y convexa, el borde de las colonias es regular, y con una consistencia cremosa (Romero et al., 2020). Respecto a las características microscópicas, se observaron bacilos pequeños con una tinción Gram negativa. Además, se obtuvo un resultado positivo para la reacción catalasa.

**Tabla 1.** Aislados bacterianos obtenidos a partir de cada tejido, y número de aislados compatibles morfológicamente con *Dickeya* sp. para cada tejido. La compatibilidad incluye características macroscópicas, microscópicas y prueba bioquímica Catalasa.

Tejido	Numero de aislados	Aislados compatibles con <i>Dickeya</i> sp.
Cormo	3	2
Fruta	20	1
Pseudotallo	14	2

**5.3.3.2. Extracción de ADN.** La extracción de ADN fue más eficiente utilizando el kit DNeasy UltraClean/NoviPure Microbial Kit (Qiagen), obteniendo mayores concentraciones de ADN, y valores de pureza más altos. Esto en comparación con los resultados obtenidos con el kit EZ-10 Spin Column Plant Genomic DNA Miniprep Kit (BioBasic) (**Figura 1**).





**Figura 1.** Concentración de ADN obtenida y parámetros de pureza (260/280) obtenida con los diferentes kits de extracción evaluados. A) Resultados con el kit DNeasy UltraClean/NoviPure Microbial Kit (Qiagen). B) Resultados con el kit EZ-10 Spin Column Plant Genomic DNA Miniprep Kit (BioBasic).

**5.3.3.3. Diseño de primers.** El análisis in silico de los primers diseñados, arrojó que el par más idóneo para la amplificación de *Dickeya* sp., es el descrito en la **Tabla 2**. Esto con base en los análisis termodinámicos que se realizaron para prevenir la formación de estructuras secundarias como homodímeros y heterodímeros, además de los alineamientos que se realizaron contra los demás organismos evaluados en la herramienta BLAST.

**Tabla 2.** Secuencias y características de los primers diseñados para detección de *Dickeya* sp.

Primer	Secuencia (5' - 3')	Tamaño	TM (°C)	%GC	Bases Producto
Forward (PFD)	TCACGGTAATGGAC AGGTGC	20	64	55	193
Reverse (PRD)	CAGACGGATACGGT CACCAG	20	63.5	60	

Preliminarmente se determinó que los primers diseñados para la amplificación del gen *dnaJ*, presentaban alineamientos para el género *Dickeya* sp., este gen ha sido reportado como un blanco molecular para la clasificación y construcción de filogenias de especies reconocidas de este género (Marrero et al., 2013; Wei et al., 2021), sin embargo, los resultados de la caracterización morfológica, además de los resultados de la reacción de PCR con los primers diseñados para el gen *dnaJ*, indican que hay presencia de otras bacterias con morfologías distintas a lo reportado para *Dickeya* sp., y con bandeos de amplificación distintos a lo esperado para esta bacteria.

**5.3.3.4. PCR Convencional.** De las 37 cepas evaluadas, 22 de ellas presentaron un resultado positivo en la amplificación, con fragmentos entre las 190 y 900 pb (**Tabla 3**). Respecto a las 3 cepas aisladas de corno, todas presentaron amplificación; de las cepas aisladas a partir de fruta, 9 presentaron amplificación, y de las cepas aisladas de pseudotallo, 10 presentaron amplificación

positiva. En la **Tabla 4** se describe el perfil térmico utilizado para la reacción de PCR.

**Tabla 3.** Fragmentos obtenidos en la reacción de PCR con los primers diseñados PFD y PRD. Se muestran con ● las cepas que fueron identificadas molecularmente, y con ▲ las cepas con identificación pendiente.

Fragmento	Total	Cepas
900	2	CB-DC 0009 CB-DC 0030▲
650	9	CB-DC 0001● CB-DC 0002● CB-DC 0024● CB-DC 0027▲ CB-DC 0031▲ CB-DC 0034▲ CB-DC 0035▲ CB-DC 0036▲ CB-DC 0037▲
350	4	CB-DC 0004 CB-DC 0005 CB-DC 0010 CB-DC 0011
320	2	CB-DC 0013 CB-DC 0018●
300	2	CB-DC 0020 CB-DC 0021
250	1	CB-DC 0033▲
200	1	CB-DC0003●
190	1	CB-DC 0025●

**Tabla 4.** Perfil térmico de PCR para la amplificación de *Dickeya* sp., con los primers PFD y PRD.

Paso	Condiciones	# de Ciclos
Desnaturalización	95°C / 2 min	1
Desnaturalización	95°C / 30 s	35
Alineamiento	58°C / 30 s	
Extensión	72°C / 30 s	
Extensión Final	72°C / 5 min	1

La amplificación y secuenciación del fragmento 16S, arrojó la presencia de otros géneros bacterianos (Tabla 5), lo que sugiere que la enfermedad podría estar siendo causada por distintos agentes, y no solo por bacterias del género *Dickeya* sp., como se había reportado anteriormente (Ramírez et al., 2014; Ruíz Ponce, 2015), esto confirma lo que se había observado en los resultados de caracterización.

**5.3.3.5. Identificación molecular.** La identificación molecular realizada a las cepas seleccionadas según criterios morfológicos y amplificación positiva con los primers PFD-PRD, arrojó la presencia de 3 cepas de *Klebsiella variicola*, 1 cepa de *Kosakonia oryzendophytica*, 1

cepa de *Ochrobactrum pseudogrignonense*, y 1 cepa de *Pectobacterium carotovorum* (**Tabla 5**), de las cuales 3 cepas fueron aisladas a partir de tejido de corno (CB-DC 0001, CB-DC 0002 y CB-DC 0003), 2 cepas de tejido de pseudotallo (CB-DC 0024 y CB-DC 0025), y 1 cepa de tejido de fruta (CB-DC 0018).

**Tabla 5.** Identificación molecular mediante secuenciación del fragmento 16S ARNr de las cepas seleccionadas.

Cepa	Identidad	% Identidad
CB-DC	<i>Klebsiella variicola</i>	99,15
CB-DC	<i>Klebsiella variicola</i>	97,39
CB-DC	<i>Kosakonia oryzendophytica</i>	97,10
CB-DC	<i>Ochrobactrum</i>	96,92
CB-DC	<i>Klebsiella variicola</i>	99,65
CB-DC	<i>Pectobacterium</i>	96,98

La amplificación con los primers diseñados para *Dickeya* sp., demostró resultados positivos para aislados de estas bacterias, esto posiblemente se deba a que todas presentan regiones conservadas para el gen *dnaJ*, el blanco molecular de los primers diseñados, esto se apoyaría en la taxonomía de las bacterias, ya que, todos los géneros identificados, a excepción de *Ochrobactrum*,

pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, a la cual también pertenece el género *Dickeya* sp., (Schoch et al., 2020). Lo cual sugiere que el protocolo aquí estandarizado, podría ser utilizado no solo para la detección de *Dickeya* sp., sino también de otros géneros asociados a la enfermedad. Para esto se hace necesario evaluar la amplificación de los aislados bajo distintas condiciones de reacción de PCR, y realizar pruebas de sensibilidad y especificidad.

Respecto a las bacterias identificadas anteriormente, se ha reportado a *K. variicola* como agente causal de pudrición en cultivos de banano (Fan et al., 2015; Loganathan et al., 2021), *K. oryzendophytica* ha sido reportada como una bacteria endofítica de cultivos de banano y plátano, y se han reportado casos de marchitez bacteriana en banano (Mohd Suhaimi et al., 2014). Por su parte, *P. carotovorum*, se ha reportado como el agente causal de la pudrición blanda en cultivos de banano en Turquía y en India (Basim et al., 2019; Gokul et al., 2019). Adicional a estas bacterias, se encontró la presencia del género *Ochrobactrum*, la cual en investigaciones previas se ha identificado esta bacteria como endofítica de cultivos de banano, definiéndola como una bacteria de fácil cultivo y aislamiento (Ragavi et al., 2019; Thomas et al., 2008).

**5.8.3.6. Filogenias.** Se construyó una filogenia para cada secuencia obtenida del 16S con el método estadístico Neighbor-Joining. Los árboles se elaboraron con 12 secuencias de referencias del ARNr 16s, reportadas para especies de *Dickeya* sp. Los árboles obtenidos de cada cepa se encuentran en el Anexo 1.

Estos resultados reflejan la hipótesis de que la enfermedad es causada por un consorcio bacteriano, indicando que el conocimiento que se tiene de esta, y en especial del agente o los agentes causales, es casi nula. Esto refuerza la necesidad de realizar una evaluación de postulados de Koch, en los cuales se verificaría la patogenicidad de cada cepa, o de distintas combinaciones de las cepas obtenidas en este trabajo.

Con este trabajo se expone entonces la necesidad de caracterizar e identificar mejor las bacterias aisladas, teniendo de esta forma un claro conocimiento de la fisiología y de la identidad molecular de las posibles bacterias causantes de la pudrición de pseudotallo en banano, lo cual permitiría obtener información específica de la enfermedad, que puede ser usada para establecer medidas de prevención y limitar su diseminación, además

de aportar a un manejo adecuado de la enfermedad, tal como lo describen Premabati & De Mandal, (2020).

#### 5.3.4. Conclusiones

- La diversidad de bacterias asociadas a las plantas de banano, y las técnicas dependientes de cultivo, limitan la identificación de los agentes causales de la pudrición de pseudotallo en banano. Es por esto por lo que es necesario desarrollar métodos de aislamiento acoplados a técnicas moleculares para la identificación y caracterización de las bacterias, lo que daría información útil para el desarrollo de métodos de diagnóstico y de estrategias de control de la enfermedad.
- La prueba de diagnóstico mediante PCR que se estandarizó mostró potencial para ser utilizada en la detección de distintos géneros de bacterias asociadas a la pudrición de pseudotallo, logrando amplificar fragmentos de 190, 200 y 650 pb, en las bacterias *P. carotovorum*, *Kosakonia oryzendophytica* y *Klebsiella variicola*, respectivamente.

## 5. Referencias bibliográficas

- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). (2020). *Coyuntura Bananera 2020*.
- Basim, H., Basim, E., Baki, D., & Turgut, A. (2019). Wet rot disease of banana (*Musa* sp.) caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* in Turkey. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41(2), 174–187. <https://doi.org/10.1080/07060661.2019.1577302>
- Fan, H. C., Zeng, L., Yang, P. W., Guo, Z. X., & Bai, T. T. (2015). First Report of Banana Soft Rot Caused by *Klebsiella variicola* in China. *DISEASE NOTES*, 100(2), 517. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0586-PDN>
- Gokul, G. G., Louis, V., Namitha, P. M., Mathew, D., Girija, D., Shylaja, M. R., & Abida, P. S. (2019). Variability of *Pectobacterium carotovorum* causing rhizome rot in banana. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17(November 2018), 60–81. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.001>
- Loganathan, M., Thangavelu, R., Pushpakanth, P., Muthubharathi, K., Ramesh, R., Selvarajan, R., & Uma, S. (2021). First Report of Rhizome Rot of Banana Caused by *Klebsiella variicola* in India. *Diseases Caused by Bacteria and Phytoplasmas*.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614–629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>
- Marrero, G., Schneider, K. L., Jenkins, D. M., & Alvarez, A. M. (2013). Phylogeny and classification of *Dickeya* based on multilocus sequence analysis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(PART9), 3524–3539. <https://doi.org/10.1099/ij.s.0.046490-0>
- Mohd Suhaimi, N. S., Yap, K. P., Ajam, N., & Thong, K. L. (2014). Genome sequence of *Kosakonia radicincitans* UMEnt01/12, a bacterium associated with bacterial wilt diseased banana plant. *FEMS Microbiology Letters*, 358(1), 11–13. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12537>
- Morgulis, A., Coulouris, G., Raytselis, Y., Madden, T. L., Agarwala, R., & Schäffer, A. A. (2008). Database indexing for production MegaBLAST searches. *Bioinformatics*, 24(16), 1757–1764. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn322>
- Nakayama, T., Yasuoka, S., Ozawa, T., Aono, Y., Ushio, Y., Fujimoto, T., Ohki, T., & Maoka, T. (2021). Genetic diversity of potato blackleg pathogens, *Pectobacterium wasabiae*, *P. carotovorum* subsp.

- brasiliense and *Dickeya dianthicola* in Japan by rep-PCR fingerprinting. *European Journal of Plant Pathology*, 159(4), 917–939. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02216-9>
- Premabati, T., & De Mandal, S. (2020). Bacterial diseases of banana: detection, characterization, and control management. In *Recent Advancements in Microbial Diversity*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821265-3.00004-9>
- Pritchard, L., Humphris, S., Saddler, G. S., Elphinstone, J. G., Pirhonen, M., & Toth, I. K. (2013). Draft genome sequences of 17 isolates of the plant pathogenic bacterium *Dickeya*. *Genome Announcements*, 1(6), 6–7. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00978-13>
- Ragavi, G., Muthamilan, M., Nakkeeran, S., Kumaravadivel, N., Sivakumar, U., & Suganthi, A. (2019). Phenotypic and Molecular Characterization of Endophytic Bacteria Isolated from Banana. *Current Journal of Applied Science and Technology*, December, 1–10. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v38i630402>
- Ramírez, J. G., Jaraba, A. B., & Buriticá, P. E. (2014). Manejo de la pudrición acuosa del pseudo-tallo (*Dickeya* sp.) en banano (*Musa* sp.) bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 83–92. <https://doi.org/10.15517/rac.v38i2.17277>
- Red Agrícola. (2020). Principales plagas y enfermedades del banano. <https://www.redagricola.com/co/principales-plagas-y-enfermedades-del-banano/>
- Romero, L. M., Lidcay, F., Isla, H., De, M., & Folgueras, C. (2020). Enfermedad bacteriana en plátanos (*Dickeya paradisiaca*): síntomas, epidemiología y elementos de manejo. *Agrisost*, 26(3), 1–8. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/agrisost/article/view/e3262>
- Ruíz Ponce, W. R. (2015). *Identificación del agente causal y descripción sintomatológica de la pudrición acuosa en el cultivo de banano orgánico, Valle del Chira-Sullana- Piura*.
- Sánchez, A. M. (2021). *El banano representa 85% del total de la economía del eje bananero en Antioquia*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/el-banano-representa-85-del-total-de-la-economia-del-eje-bananero-en-antioquia-3154267>
- Schoch, C. L., Ciufu, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., McVeigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Turner, S., & Karsch-Mizrachi, I. (2020). NCBI Taxonomy: A comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*, 1–21. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>

- Thomas, P., Swarna, G. K., Roy, P. K., & Patil, P. (2008). Identification of culturable and originally non-culturable endophytic bacteria isolated from shoot tip cultures of banana cv. Grand Naine. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 93(1), 55–63. <https://doi.org/10.1007/s11240-008-9341-9>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPR. (2020). *Mapa revela el potencial de la industria del banano de exportación*. [https://www.upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/GEKyUuxHYSXZ/content/mapa-revela-el-potencial-de-la-industria-del-banano-de-exportacion](https://www.upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/GEKyUuxHYSXZ/content/mapa-revela-el-potencial-de-la-industria-del-banano-de-exportacion)
- Wei, X. Y., Deng, W. L., & Chu, C. C. (2021). Phylogenetic and phenotypic analyses on *Dickeya* spp. isolated from different host plants in Taiwan. *Journal of Phytopathology*, 169(11–12), 678–691. <https://doi.org/10.1111/jph.13038>
- Ye, J., Coulouris, G., Zaretskaya, I., Cutcutache, I., Rozen, S., & Madden, T. L. (2012). Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. *BMC Bioinformatics*, 13(134). <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-134>
- Zhang, Y., Fan, Q., & Loria, R. (2016). A re-evaluation of the taxonomy of phytopathogenic genera *Dickeya* and *Pectobacterium* using whole-genome sequencing data. *Systematic and Applied Microbiology*, 39(4), 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2016.04.001>

#### 4. COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE BANANO CON INFECCIÓN DE Foc RI: ANÁLISIS DE CLONES WILLIAMS Y GROS MICHEL

**Autores:** Estefanía Macías-Echeverri, Lilliana María Hoyos-Carvajal, Verónica Botero-Fernández, Sebastián Zapata-Henao y Juan Carlos Marín-Ortiz.

##### Resumen

La marchitez por *Fusarium* es la mayor amenaza para la producción mundial de musáceas, por lo que se proponen técnicas de detección remota basadas en espectroscopía de reflectancia. Se caracterizó la respuesta espectral de hojas de plantas sanas e infectadas con *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Raza1 (Foc RI) en dos cultivares de banano, durante el periodo de incubación de la enfermedad. Se midieron los espectros de 400–1000 nm en plantas sanas e infectadas con Foc RI de banano Gros Michel (GM: susceptible) y Williams (W: resistente) con un espectrómetro portátil Ocean Optics HR2000+. Se obtuvieron patrones generales en los espectros similares para ambos cultivares en el Vis, alrededor al 25% en la región del verde, pero al avanzar el desarrollo foliar

disminuyó la reflectancia en todo el rango espectral, cercano al 12.5% (región verde del rango Vis) en la hoja cuatro de ambos. Cuatro longitudes de onda fueron discriminantes para plantas sanas en los cultivares. Adicionalmente, se observó un aumento de reflectancia en las plantas infectadas en el periodo de incubación en todo el rango, disminuyendo rápidamente una vez se presentaron los primeros síntomas visibles. Los resultados sugirieron que un aumento de la reflectancia en longitudes de onda discriminantes puede usarse para diagnosticar plantas enfermas en el periodo asintomático y una rápida disminución de esta y sugiere el inicio de la fase sintomática.

**Palabras clave:** Detección temprana, Espectro, Enfermedad vascular, Hongo, Marchitez por *Fusarium*.

#### 5.4.1. Introducción

Las plantas son la principal fuente de alimentos para los humanos y animales en todo el mundo (Ratnadass *et al.*, 2012; Barbedo, 2013). Sin embargo, durante su cultivo se ven afectadas por diferentes tipos de enfermedades que reducen la producción y la calidad y, por tanto,

disminuyen su valor económico (Dordas, 2008; Martinelli *et al.*, 2015). Se ha informado que las grandes pérdidas económicas y de producción causadas por infecciones de las plantas en los sectores agrícola y alimentario representan más del 30% de las pérdidas totales de producción en la mayoría de los países en desarrollo (Rizzo *et al.*, 2021). Las pérdidas se pueden reducir o erradicar mediante la detección temprana, el seguimiento y la gestión de enfermedades (Zhang *et al.*, 2019). A la fecha, estudios han reportado que existen más de 50.000 enfermedades de las plantas a nivel mundial, parasitarias y no parasitarias (Pimentel, 2011).

Los plátanos y bananos son fundamentales en la dieta de los países africanos y latinoamericanos. En el mundo, solo el 15% de la producción total se exporta a regiones no productoras y el producto restante se comercializa en los mercados nacionales para el consumo local (Varma & Bebbler, 2019). Para 2019, las exportaciones mundiales de banano, sin incluir banano de cocción, alcanzaron un máximo de 20,2 millones de t, siendo este producto el cuarto en consumo a nivel mundial después del trigo, el arroz y el maíz (FAO, s.f.). La enfermedad conocida como

marchitez por *Fusarium* del banano, o fusariosis, es una enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1 (*Foc* RI), que más recientemente ha sido intensificado por *Foc* tropical raza 4 (*Foc* TR4) en banano Cavendish (Wang *et al.*, 2020), clasificado recientemente como *Fusarium odoratissimum* por Maryani *et al.* (2018), quienes también consideraron actualmente es la mayor amenaza para la producción mundial de Musaceae en general (Maryani *et al.*, 2018). Es una enfermedad en la que el patógeno invade, coloniza y obstruye los vasos xilemáticos de las raíces e interrumpe la translocación de agua y nutrientes, provocando una severa marchitez (Li *et al.*, 2014). Sus síntomas típicos incluyen amarillamiento y marchitamiento de las hojas, decoloración vascular dentro del rizoma y el pseudotallo y muerte de la planta infectada (Ploetz, 2006). No se conoce un control químico eficaz para tratar este hongo y, dado que es un patógeno vascular, su detección y diagnóstico son complejos.

En las últimas décadas se ha incrementado el desarrollo y aplicación de diversas técnicas no invasivas para la detección de enfermedades de las plantas, que son sensibles, consistentes, rápidas y rentables (Zhang *et al.*, 2019). Los más populares son: espectroscopia de fluorescencia, espectroscopia visible/de infrarrojo cercano

(VIS/NIR), imágenes de fluorescencia e imágenes hiperespectrales (Sankaran *et al.*, 2010). Ya se han realizado varios estudios donde se aplicó la espectroscopia, especialmente con el uso de radiación VIS en la detección de enfermedades en plantas sintomáticas (Mahlein *et al.*, 2013, AbuKhalaf & Salman, 2014; Szuvandzsiev *et al.*, 2014, Thomas *et al.*, 2018). Además, parte de esta investigación se ha centrado en la detección temprana de enfermedades de las plantas (Marín *et al.*, 2018) y la detección de enfermedades que pueden “enmascarar” los síntomas (Abdulridha *et al.*, 2019).

Conocer la ubicación, extensión y gravedad de la aparición de enfermedades y plagas es fundamental para orientar los procedimientos fitosanitarios. Dado que el monitoreo y diagnóstico convencional de enfermedades y plagas en el campo son laboriosos, subjetivos y generalmente ineficientes, las técnicas de teledetección pueden monitorear las enfermedades y plagas de las plantas de un vistazo, a gran escala y de forma temprana (Mahlein, 2016).

Las enfermedades de tipo vascular, como el marchitamiento por *Fusarium*, son difíciles de detectar a tiempo. Otro tipo de enfermedades, como las localizadas

o superficiales, se pueden detectar con la observación de los síntomas; sin embargo, para enfermedades de tipo vascular, cuando existen indicios visibles, el hongo u organismo patógeno ya ha invadido el tejido vascular (García-Bastidas *et al.*, 2020). Al observar las interacciones entre el patógeno y los huéspedes, se identificaron una variedad de síntomas y daños a las plantas, lo que proporciona una base para el monitoreo con sensores remotos (Zhang *et al.*, 2019). Sin embargo, la detección temprana requiere la capacidad de identificar aquellas características que hacen que cada infección sea única, incluso en ausencia de síntomas externos. El comportamiento de las plantas sanas debe compararse con lo que sucede en las plantas enfermas para un diagnóstico exitoso (Zhang *et al.*, 2012).

Un sistema de detección temprana basado en técnicas de espectroscopia puede reducir pérdidas en cultivos sin la propagación de enfermedades, evitando la siembra de plantas portadoras del patógeno, con mayor rapidez, sensibilidad y selectividad, y sin necesidad de destruir muestras para análisis (Chaerle & Van der Straeten, 2000). El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar la respuesta espectral de plantas sanas e infectadas con *Foc* R1 de dos grupos de banano (uno susceptible y otro

resistente) mediante espectroscopía de reflectancia durante el período de incubación de la infección.

## **5.4.2. Materiales y métodos**

**5.4.2.1. Material vegetal y ubicación.** Las plantas de banano Gros Michel (GM) y Williams (W) de origen in vitro se compraron en un vivero comercial. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se utilizaron 20 ml de una fórmula general de solución hidropónica cada ocho días, que contenía (miliequivalentes): NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (12,0), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (1,0), K (1,7), Mg (1,5), Ca (2,8) y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (0,5) y microequivalentes de Fe (70,0), Mn (18,0), Zn (7,7), Cu (1,5), B (27,5) y Mo (0,5). Las plantas se sembraron en bolsas de vivero de 2 kg, con una mezcla (v/v) de una parte de turba (Mikskaar MKS1) y una parte de fibra de coco (productos comerciales) como sustrato. Las condiciones ambientales internas del invernadero durante el experimento fueron: temperatura promedio de 32°C y 80% de humedad relativa.

**5.4.2.2. Microorganismo empleado.** Se utilizó una cepa de *Foc* R1 denominada "Varonesa", proporcionada por el Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO) y

aislada de pseudotallos sintomáticos de plantas de banano Manzano (AAB) recolectadas de la finca comercial “Varonesa” (7°63'23" N, 76°36'20" O) en Urabá, Colombia.

**5.4.2.3. Inoculación de las plantas.** La cepa *Foc* R1 Varonesa se multiplicó en medio de cultivo Potato Dextrose Agar (PDA). Después de 7 d de crecimiento, se lavó su superficie con agua destilada estéril para obtener una suspensión con una concentración de  $1 \times 10^6$  conidias/ml. Para la infección, se siguió la metodología propuesta por Jie *et al.* (2009): cuando las plantas alcanzaron el estado de desarrollo 1030 según la escala BBCH, con un bisturí se realizó un corte en la base de la raíz de cada una, e inmediatamente fueron inoculadas con 15 ml de la suspensión de conidias.

**5.4.2.4. Espectroscopía.** Los espectros de reflectancia se obtuvieron con un espectroscopio portátil USB2000+ (Ocean Optics, Largo, FL) con una fuente de luz halógena de tungsteno HL-2000-HP (rango de longitud de onda 360–2400 nm), un patrón de reflectancia difusa modelo WS-1 (reflectividad > 98 % en el rango de 250 a 1500 nm) y una sonda de reflectancia de primera calidad QR600-7-VID-125F de 600  $\mu$ m (Ocean Optics, Largo, FL, EE. UU.). Las

medidas se tomaron en ambiente cerrado cuando las plantas tenían 5 hojas funcionales con la fibra óptica en la superficie adaxial de la hoja, obteniendo tres espectros por cada hoja. El tiempo de integración fue de 6 s, con una media de 5 lecturas por medida y un “tiempo de intervalo” de 2000  $\mu$ s.

El rango de tiempo de las medidas correspondió al período de incubación de la enfermedad, definido como el que va desde la inoculación hasta el desarrollo de los primeros síntomas.

**5.4.2.5. Análisis estadístico.** Se utilizó un diseño completamente al azar para comparar dos tratamientos: plantas susceptibles (GM) y resistentes (W), ambas inoculadas con *Foc* R1 y sin inocular. Las medidas de reflectancia se tomaron cada 2 días después de la infección. Se recolectaron cuatro conjuntos de datos con 140 espectros cada uno (28 hojas por tratamiento) para cada día de muestreo (560 espectros/día de muestreo). Se eliminaron espectros con ruido, distorsión o errores de lectura. La selección de los espectros a eliminar se confirmó con un análisis de valores atípicos identificados en un análisis de componentes principales (PCA) sin pretratamiento de datos. La transformación estándar

normal variante (SNV) proporcionó un buen agrupamiento de las plantas en los tratamientos según los resultados de las diferentes pruebas. Después del pretratamiento, los datos se analizaron con el algoritmo de clasificación tipo RELIEF y con las longitudes de onda que tenían mayor peso. Se realizó un análisis discriminante lineal (LDA) para las clasificaciones. Todos los análisis se realizaron con el Software R-project® versión 4.1.2 (De Mendiburu, 2022).

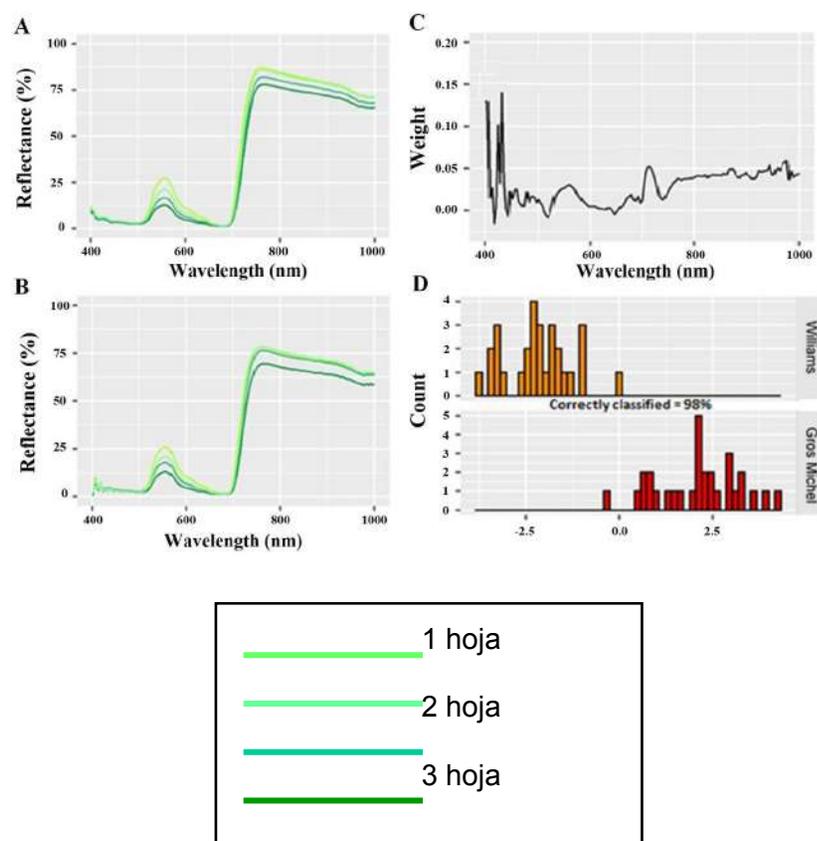
### **5.4.3. Resultados y discusión**

#### **5.4.3.1. Caracterización Diferencia de la respuesta espectral en plantas sanas de los cultivares Williams y Gros Michel.**

En los resultados observados, en el espectro Vis el comportamiento general de la reflectancia de ambos clones es similar, sin embargo, en el rango NIR medido el cultivar W presentó una disminución de su reflectancia. Un análisis detallado demuestra que la respuesta espectral de las hojas en los cultivares de banano evaluados varían de acuerdo a su estado de desarrollo. La primera hoja, que se halla en expansión de su lámina foliar (estado según escala BBCH 1000) presentó una reflectancia mayor,

alrededor del 25% en el Vis para ambos clones, con respecto al resto de hojas, pero en el NIR los valores se incrementan, en 87% para W y 75% para GM. A medida que avanza el estado de desarrollo de la hoja, es decir, esta pasa a otras posiciones (2, 3 y 4) disminuye la reflectancia en todo el rango espectral medido, hasta valores cercanos al 12.5% en la hoja 4 en ambos clones **(Figura 1A, 1B)**.

El algoritmo de clasificación tipo RELIEF permitió definir un peso mayor (de 0.10) para 4 reflectancias. Este algoritmo “asume” que estas variables son fuertemente relevantes si estas permiten distinguir fácilmente entre dos observaciones de diferentes clases, es decir, entre plantas de los clones GM y W en este caso específico (Fig.1C). Al usar estas longitudes de onda seleccionadas a partir del algoritmo tipo RELIEF en un análisis discriminante, se obtuvo una clasificación correcta del 98% de los cultivares evaluados desde estados de desarrollo temprano de las plantas **(Figura 1D)**.



**Figura 1.** Respuesta espectral desde hojas de plantas sanas de banano de los cultivares Williams y Gros Michel con 8 semanas de edad. **A)** Espectros de reflectancia de las cuatro primeras hojas medidas en el cultivar Williams; **B)** Espectros de reflectancia de las cuatro primeras hojas medidas en el cultivar Gros Michel; **C)** Pesos definidos por el algoritmo tipo RELIEF para para todas las longitudes de

onda en el rango medido (400-1000nm); **D)** Análisis Discriminante Lineal usando como clases de discriminación los cultivares evaluados.

Las gráficas de reflectancia para las primeras cuatro hojas de ambas variedades son similares en el rango del espectro Vis, con características similares a las reportadas por Sinha *et al.* (2020), quienes caracterizaron espectralmente 12 genotipos de banano. Sin embargo, es importante considerar que la reflectancia varía en función de muchas propiedades de las hojas, como forma y grosor, contenido de pigmentos, estado de los nutrientes, edad, contenido de humedad y estado fenológico (Hatfield *et al.*, 2008; Martínez y Solís 2018). En este caso, las curvas de ambas variedades muestran una baja reflectividad en el espectro Vis, lo que coincide con lo descrito con Mather (2011). Este autor afirma que el comportamiento típico de la vegetación vigorosa muestra una baja reflectividad en el espectro visible, con un máximo relativo en torno a los 550 nm, porque la reflectancia de la longitud de onda en este mismo rango, disminuye con el aumento del contenido de clorofila en la hoja (Hatfield *et al.*, 2008) infiriéndose que la luz incidente es aprovechada.

A medida que el estado fenológico de las hojas avanza, hay una disminución general en todo el espectro medido, lo que en el rango Vis es explicado por el aumento del contenido de clorofila hasta el máximo posible para una hoja madura (Dray *et al.*, 2012, Castañeda *et al.*, 2018), el cual desciende cuando inicia su senescencia. Las hojas en estados de desarrollo tempranos pueden tener una huella espectral diferente al de las hojas maduras porque tienen menos celulosa y lignina en la pared celular que ellas (Durgante *et al.*, 2013) además porque los pigmentos y la lámina foliar están apenas alcanzando sus picos de desarrollo (Durgante *et al.*, 2013). Los cambios en el contenido de carotenoides de las hojas y su proporción con la clorofila, se utilizan ampliamente para diagnosticar el estado fisiológico de las plantas durante el desarrollo, la senescencia, la aclimatación y la adaptación a diferentes ambientes y tipos de estrés (Demmig-Adams *et al.*, 1996; Young y Britton, 1990).

Por otro lado, la reflectancia espectral en la porción amplia del Vis y del NIR se ha relacionado con la clorofila de la planta, la salud y el contenido de agua, mientras que la banda del borde rojo (NIR) con la fotosíntesis y el contenido de nitrógeno foliar (Féret *et al.*, 2017, Silva-Pérez *et al.*, 2017, Verrelst *et al.*, 2015). En el NIR, la vegetación

sana presenta una alta reflectividad, que desciende paulatinamente hacia el infrarrojo medio (Mather, 2011). En este caso, aunque las dos variedades muestran un pico en esta franja del espectro, hay que resaltar el hecho de que la variedad W alcance una mayor reflectancia en el rango del NIR medido (valle del infrarrojo, 700-1000nm). Específicamente, el mesófilo esponjoso tiene cavidades que dispersan la mayor parte de la energía incidente en la banda del espectro electromagnético que corresponde con el infrarrojo cercano. Por esta razón, en cualquier hoja sana se tendrá una alta reflectividad en el infrarrojo cercano, pero muy baja reflectividad en el espectro visible (Chuvieco, 2008). Se observó un gran contraste entre las bandas del Vis (muy especialmente en la porción del rojo) y el infrarrojo cercano. Algunos autores han estudiado la importancia de esta relación, proponiendo como principio general que a mayor contraste entre dichas bandas (rojo e infrarrojo cercano), mayor será el vigor de la masa vegetal observada (Chuvieco, 2008). Con base en esta información, se puede afirmar que las hojas de las plantas sanas de las dos variedades presentan curvas muy similares en el rango espectral medido, los detalles particulares que les diferencian en el valle del infrarrojo posiblemente obedecen a divergencias sutiles en la

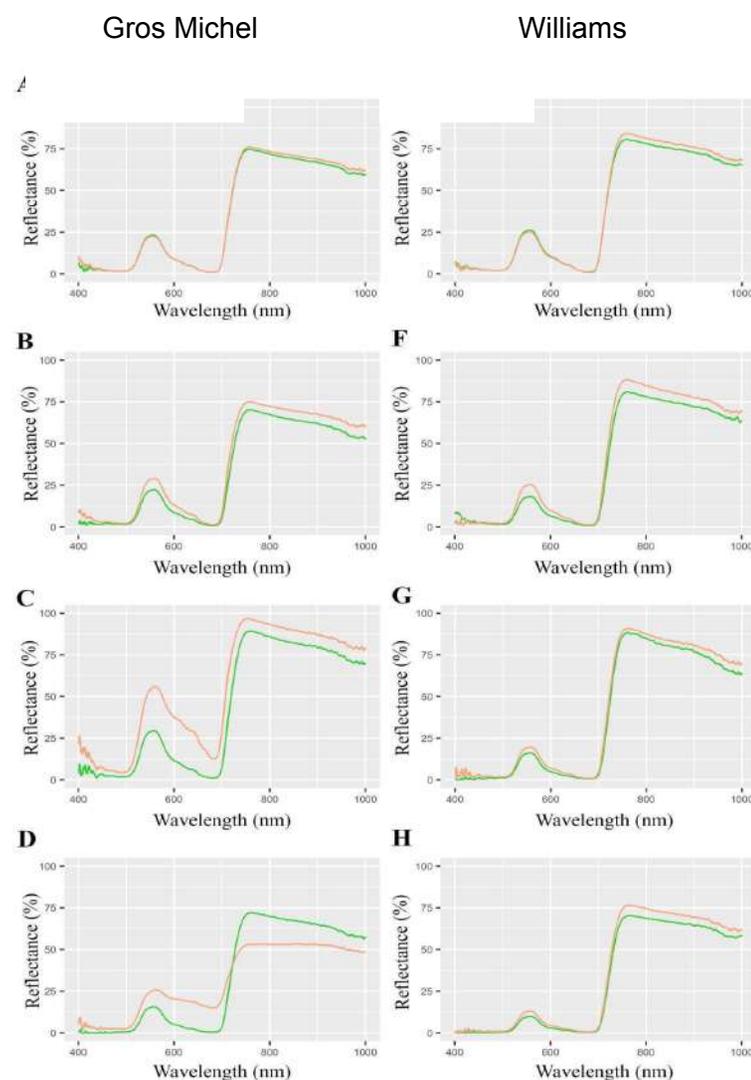
estructura de sus tejidos y al contenido de agua que puedan almacenar en ellos (Chuvieco, 2008).

La respuesta espectral diferencial medida entre las variedades estudiadas permitió identificar longitudes de onda específicas que pueden ser usadas para su clasificación. En las últimas décadas se ha usado esta tecnología para discriminar especies forestales estrechamente relacionadas, usando análisis discriminantes de datos espectrales, lo que permitió afirmar de la existencia de firmas espectrales de especies, con una tasa de identificación correcta superior al 96% (Durgante *et al.*, 2013). Por otro lado, Sohn *et al.*, (2021) usaron espectroscopía Vis-NIR para discriminar *Amaranthus* sp. con una precisión hasta el 99,7%, recomendando el uso de esta tecnología para reconocimiento de especies incluso en etapas juveniles de las plantas; además, estos autores sugieren el uso de espectroscopía Vis-NIR en combinación con el pre procesamiento, elaboración de bibliotecas espectrales, y desarrollo de modelos apropiados para la identificación y discriminación de especies de variedades y especies de plantas.

**5.4.3.2. Respuesta espectral de plantas sanas e infectadas con Foc RI.** En la Figura 2 se muestra la respuesta espectral de hojas de plantas de banano sanas e inoculadas con *Foc* RI a partir de los 7 días pos-inoculación (dpi), es de anotar que no se observó un cambio en los espectros de reflectancia promedio durante esta primera semana. En las plantas GM (susceptibles) inoculadas con *Foc* RI aumentó la reflectancia durante el periodo de incubación de la enfermedad (**Figura 2A-C**) en todo el rango del espectro medido, superando el 50% en el rango Vis y el 96% en el NIR medido respecto plantas sin inocular; una vez se hacen visibles los síntomas de la enfermedad, es decir, superado el periodo de incubación, la reflectancia disminuye rápidamente en todo el rango espectral medido (**Figura 2D**). Con respecto a W (resistente), la respuesta espectral de las hojas de las plantas sanas e inoculadas con *Foc* RI no manifestó variación significativa durante los primeros 21 dpi (Fig. 2E-G); sin embargo, hay una disminución de la reflectancia en todo el rango medido desde la cuarta semana (**Figura 2**).

La infección por *F. oxysporum* trae consigo una serie de cambios fisiológicos y morfológicos, tanto a nivel interno como externos en las plantas (Pérez *et al.*, 2014). Así mismo, cualquier estrés presente en la vegetación se manifestará como una variación en la respuesta espectral al presentado por la planta sanas (Chuvieco, 2008). Para el caso de la variedad GM, se observó inicialmente un aumento de la reflectancia a lo largo del espectro medido. Cuando una planta de banano está siendo infectada por *Foc*, se presentan cambios estructurales y bioquímicos resultantes en la senescencia de la planta (Dong *et al.*, 2014). La marchitez de las plantas generalmente se atribuye a la obstrucción de los vasos o a la toxicidad sistémica (Berestetskiy, 2008). Para el caso específico de infecciones por *Foc* R1, se menciona la teoría del taponamiento, la cual sugiere que los vasos de la planta infectada se obstruyen con hifas del hongo, callosa, tilosa y gel, que dificultan el transporte de agua y, finalmente, provocan un déficit de agua (Pivonia *et al.*, 2002). Cuando disminuye el contenido de agua en las hojas, la reflectividad aumenta de manera especial en el infrarrojo medio, ya que no hay agua de la planta para absorber energía (Chuvieco, 2008). Adicionalmente, en el proceso de colonización de las plantas los hongos pueden secretar

fitotoxinas capaces de disminuir la actividad vital de las células vegetales o provocar su muerte a bajas concentraciones.



**Figura 2.** Espectros de reflectancia desde hojas de las variedades Gros Michel (A-D) y Williams (E-H) a los 7 dpi, 14 dpi, 21 dpi y 28 dpi. Verde: plantas control; rojo: plantas infectadas con *Foc RI*

Así mismo, cuando una planta está enferma, la clorofila se degrada más rápido que los carotenos (Sanger, 1971). Este efecto genera un incremento en la reflectancia de la longitud de onda roja, debido a la reducción de la absorción de la clorofila. La pérdida de clorofila en la hoja ofrece mayor reflectividad entre las bandas del azul y el rojo (por eso se torna amarilla), pues ahora los carotenos y xantofilos, que absorben luz azul y reflejan la luz verde y roja, son los dominantes en las mismas (Boyer *et al.*, 1988). Finalmente, cuando la hoja ya es senescente, su estructura celular interna se deteriora, y por ello da una reflectividad más baja en el infrarrojo cercano (Martínez y Solís 2018). Cuando las hojas mueren, los pigmentos de coloración café aparecen (taninos), y la reflectancia de la hoja y la transmitancia en el rango de longitudes de onda entre 400 nm a 750 nm decrecen (Boyer *et al.*, 1988). Este es el comportamiento observado en las hojas de la variedad susceptible donde finalmente la acumulación de síntomas internos y externos terminan con su senescencia.

Para el caso de las hojas de la variedad W, se observó una tendencia constante en cuanto a la medida de reflectancia en todo el espectro durante el tiempo del estudio. Sin embargo, se debe mencionar que, aunque si bien son plantas de una variedad considerada resistente, igual fueron sometidas al estrés de la inoculación, donde se causaron heridas a sus raíces y se agregaron estructuras de *Foc RI*. Por ello, se nota un leve incremento de la reflectancia en el pico del infrarrojo, que con el paso de los días, se fue estabilizando resultando similar a la curva obtenida en las plantas control. Esto puede atribuirse a una acumulación temporal de antocianinas como respuesta a la inoculación, ya que estos pigmentos sirven como indicadores de estrés para muchas especies de plantas, por lo que su detección y evaluación cuantitativa proporciona información sobre la respuesta y adaptación de las plantas a diferentes tipos de estrés (Chalker-Scott, 1999). En resumen, puede afirmarse que esta variedad se estresa por la presencia del patógeno, siendo tolerante, más que resistente. Un análisis del tejido de estas plantas indicó que las plantas resistentes son portadoras asintomáticas del patógeno.

**5.4.3.3.Relación de la respuesta espectral con la intensidad de los síntomas de la marchitezvascular en un cultivar susceptible (Gros Michael) a Foc RI.** En la **Tabla 1** se describe la respuesta espectral en un grupo de hojas y su evolución en síntomas en plantas de banano susceptibles a *F. oxysporum* R1 (Gros Michel) denominados categorías en el presente estudio. Desde el punto de vista espectral, en el vis se denotan tres estados, un primer valor que puede ser denominado estado basal (categoría 0), un segundo estado de elevación de la reflectancia por pérdida de pigmentos fotosintéticos (categorías 1, 2, 3 y 4) y luego una caída de la reflectancia hasta valores mínimos en todo el rango medido (categorías 5 y 6)(figura 3). Se debe resaltar que en la categoría 0 hay una reflectancia de un 13% en el vis como base de comparación de evolución de respuestas posteriores, siendo esta una planta sin inocular. Luego de 10 días después de la inoculación (dpi) hasta el día 27, es decir las categorías 1, 2 y 3 la respuesta espectral en el vis ha aumentado hasta un 70%, la hoja continúa con actividad, pero reflejando la mayoría de la energía incidente,

tendencia que se observa hasta alcanzar la categoría 4, una vez se llega a la categoría 5, la reflectancia presenta un valor del 63% en el vis, y disminuyendo rápidamente en un lapso de 48 horas, hasta un 3% (categoría 6), indicando que el tejido no es funcional.

El comportamiento de la reflectancia es diferente en el rango del NIR medido (700 a 1000 nm) con valores oscilantes entre 57 y 68% de reflectancia en las categorías 0 a la 3, luego desde la categoría 4, se observa como aumenta hasta 68%, para descender hasta 9% en la categoría 6.

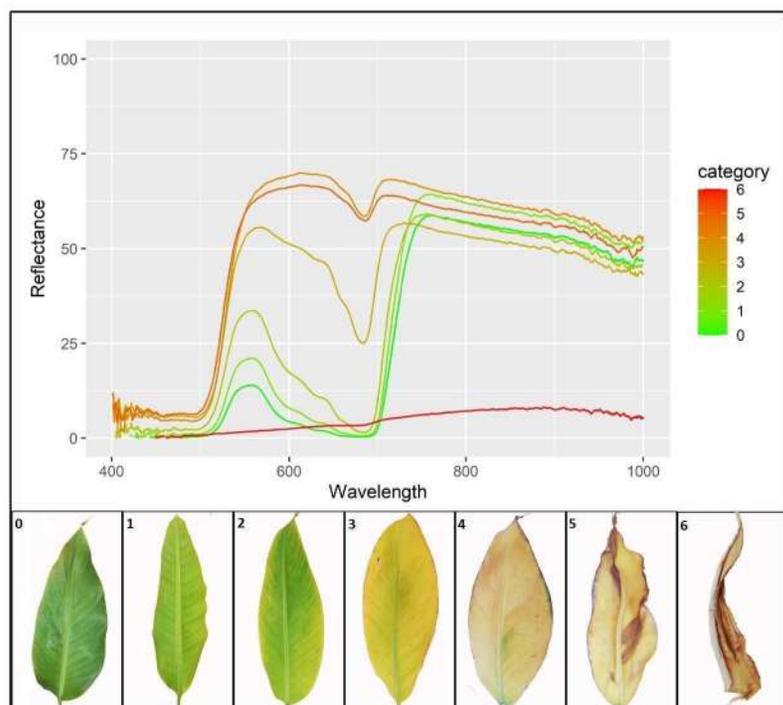
**Tabla 1.** Síntomas y respuesta espectral del cultivar susceptible Gros Michel a la infección por *Foc* R1.

Cat.	DP I	Síntomas visibles en lámina foliar	Respuesta espectral: Reflectancia (%)	
			Vis (400-700nm)	NIR evaluado (700-1000nm)
0	0	Sin síntomas: verde oscuro homogéneo, completamente expandida	~0% a 400nm (azul) ~13% a 550nm (verde) ~0% a 700nm (rojo)	~58% a 750nm- ~48% a 1000nm
1	10	verde claro homogéneo en toda la hoja, completamente expandida	~0% a 400nm (azul) ~20% a 550nm (verde) ~0% a 700nm (rojo)	~63% a 750nm- ~51% a 1000nm
2	20	Amarillo claro en el borde y verde claro en el centro, completamente expandida	~3% a 400nm (azul) ~35% a 550nm (verde) ~3% a 700nm (rojo)	~58% a 750nm- ~48% a 1000nm
3	24	Amarillo vivo en más del 90% de la hoja, zonas verdes cerca a nervadura principal. Completamente expandida	~6% a 400nm (azul) ~55% a 550nm (verde) ~25% a 700nm (rojo)	~57% a 750nm- ~43% a 1000nm

4	27	Amarillo pálido homogéneo en toda la hoja, con pérdida de turgencia en pequeñas áreas. Necrosis en el borde de la hoja	~7% a 400nm (azul) ~70% a 550nm (verde) ~70% a 700nm (rojo)	~68% a 750nm- ~52% a 1000nm
5	31	Amarillo pálido con pérdida de turgencia en más del 80% de la hoja. Necrosis en el borde y grandes áreas centrales de la hoja	~7% a 400nm (azul) ~63% a 550nm (verde) ~63% a 700nm (rojo)	~62% a 750nm- ~52% a 1000nm
6	33	Marrón homogéneo en toda la hoja. Pérdida de turgencia y necrosis en toda la hoja	~0% a 400nm (azul) ~3% a 550nm (verde) ~5% a 700nm (rojo)	~9% a 750nm- ~9% a 1000nm

Partiendo de respuestas de plantas sanas susceptibles (Categoría 0), donde el porcentaje de reflectancia en el Vis de un 13% y en el NIR de un 58%, hay aumento de esta variable hasta 70% en el Vis y 68% el NIR en hojas de categoría 4, donde hay amarillamiento de la lámina foliar. Luego, en la etapa final de la infección, se observó un rápido deterioro de las hojas, coincidiendo con la disminución de la reflectancia hasta valores menores al

10% en todo el rango espectral medido (categoría 6) (Figura 3).



**Figura 3.** Categorización espectral del cultivar susceptible Gros Michel a la infección por *Foc* R1

El uso de variedades resistentes es la mejor medida de control para hacer frente a la marchitez por *Fusarium* (Pérez *et al.*, 2014). Sin embargo, los procesos de mejoramiento en banano son complejos y requieren de

mucho tiempo (Pérez *et al.*, 2014). La detección temprana de plantas infectadas por *Foc* permite evitar la expansión de la enfermedad por los cultivos en todo el mundo, por ello, la evaluación de plántulas antes de llevar al campo constituye una primera medida de exclusión. Pérez *et al.* (2014) propusieron una escala de síntomas externos e internos para plantas de banano en invernadero, en la cual se consideran 5 etapas importantes en el proceso de infección, la descripción de estas etapas se acompañó con fotografías y descripción de síntomas externos e internos, típicos para cada una. En el presente estudio, se propone una escala complementaria con la descripción de la reflectancia obtenida entre los 400 y 1000 nm en plantas de banano infectadas por *Foc* R1 en condiciones de invernadero, si bien tiene coincidencias con Pérez *et al.* (2014), la propuesta ofrece mayores detalles en el seguimiento de avance de la enfermedad. El aporte de la caracterización espectral permite el diagnóstico e identificación de plantas enfermas en etapas tempranas usando técnicas espectrométricas siendo complementario a otros métodos de diagnóstico.

Para concluir, se hace necesario identificar las longitudes de onda discriminantes en el NIR ya que en estados iniciales de aparición de síntomas las diferencias son muy

sutiles, estas longitudes deben ser específicas al fenómeno porque en términos de tendencias no es posible la diferenciación correcta entre plantas sanas y enfermas. Por el momento, proponemos una categorización según la intensidad de los síntomas visibles observados durante las diferentes etapas de la infección.

#### 5.4.4 Conclusiones

- Se probó un método para detectar y discriminar la respuesta espectral en dos variedades de plantas de banano usando espectroscopia de reflectancia, en plantas sanas y luego en plantas infectadas con *Foc*. Los resultados obtenidos muestran que la espectroscopia Vis-NIR, en combinación con métodos apropiados de pre procesamiento y análisis multivariado de datos constituyen herramientas eficaces para clasificar de manera efectiva entre las variedades de plantas de banano GM y W. Se presentan huellas espectrales para las plantas en cada variedad, incluso entre hojas con distinto

estado de desarrollo de una misma planta, siendo muy evidentes las diferencias en el rango Vis del espectro.

- Los resultados sugieren que los cambios bioquímicos y biofísicos generados en las plantas de banano debidos a la infección por *Foc* R1 pueden ser detectados y discriminados antes que aparezcan los síntomas visibles usando espectroscopía de reflectancia en los rangos VIS/NIR. Específicamente, las plantas de banano Gros Michel (susceptible a *Foc* R1) infectadas por *Foc* R1 presentaron un espectro que permite diferenciarlas de las plantas sanas de su misma variedad y a la vez de plantas de la variedad Williams, en el periodo asintomático de la enfermedad. La caracterización espectral permitió la discriminación de plantas enfermas, por lo que constituye una herramienta objetiva para su diagnóstico e identificación en etapas tempranas usando estas técnicas; adicionalmente, es posible mejorar la precisión y eficiencia del método diagnóstico de enfermedades en plantas con el aporte de una escala de síntomas relacionados con

la respuesta espectral desde hojas en cada estado de desarrollo de la patogénesis.

#### 5.4.5 Referencias bibliográficas

- Abdulridha, J., Batuman, O., & Ampatzidis, Y. (2019). UAV-based remote sensing technique to detect citrus canker disease utilizing hyperspectral imaging and machine learning. *Remote Sensing*, 11(11), Article 1373. <https://doi.org/10.3390/rs11111373>
- Abu-khalaf, N., & Salman, M. (2014). Visible/Near infrared (VIS/NIR) spectroscopy and multivariate data analysis (MVDA) for identification and quantification of olive leaf spot (OLS) disease. *Palestine Technical University Research Journal*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.53671/pturj.v2i1.21>
- Barbedo, J. G. A. (2013). Digital image processing techniques for detecting, quantifying and classifying plant diseases. *SpringerPlus*, 2(1), Article 660. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-660>
- Berestetskiy, A. O. (2008). A review of fungal phytotoxins: from basic studies to practical use. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44(5), Article 453. <https://doi.org/10.1134/s0003683808050013>
- Boyer, M., Miller, J., Belanger, M., Hare, E., & Wu, J. (1988). Senescence and spectral reflectance in leaves of northern pin oak (*Quercus palustris* Münchh.). *Remote Sensing of Environment*, 25(1), 71–87. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90042-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90042-9)
- Castañeda, C. S., Almanza-Merchán, P. J., Pinzón, E. H., Cely, G. E., & Serrano, P. A. (2018). Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinífera* L.) cv. Riesling Becker. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 329–337. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7566>
- Chaerle, L., & Van Der Straeten, D. (2000). Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends in Plant Science*, 5(11), 495–501. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)01781-7](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)01781-7)
- Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses.

- Photochemistry and Photobiology*, 70(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1999.tb01944.x>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio* (3rd ed.). Ariel.
- De Mendiburu, F. (2022, February). *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. R v. 4.1. 2. <http://cran.r-project.org/package=agricolae>
- Demmig-Adams, B., Gilmore, A. M., & Adams III, W. W. (1996). *In vivo* functions of carotenoids in higher plants. *The FASEB Journal*, 10(4), 403–412. <https://doi.org/10.1096/fasebj.10.4.8647339>
- Dong, X., Xiong, Y., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2014). Fusaric acid accelerates the senescence of leaf in banana when infected by *Fusarium*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(4), 1399–1408. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1564-1>
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 33–46. <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>
- Dray, F. A., Center, T. D., & Mattison, E. D. (2012). *In situ* estimates of waterhyacinth leaf tissue nitrogen using a SPAD-502 chlorophyll meter. *Aquatic Botany*, 100, 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.03.005>
- Durgante, F. M., Higuchi, N., Almeida, A., & Vicentini, A. (2013). Species spectral signature: discriminating closely related plant species in the Amazon with near-infrared leaf-spectroscopy. *Forest Ecology and Management*, 291, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.045>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (n.d.). *Análisis del mercado del banano. Panorama general de febrero de 2020*. <http://www.fao.org/3/ca9212es/ca9212es.pdf>
- Feigin, A. M., Takemoto, J. Y., Wangspa, R., Teeter, J. H., & Brand, J. G. (1996). Properties of voltage-gated ion channels formed by syringomycin E in planar lipid bilayers. *The Journal of Membrane Biology*, 149(1), 41–47. <https://doi.org/10.1007/s002329900005>
- Féret, J. B., Gitelson, A. A., Noble, S. D., & Jacquemoud, S. (2017). PROSPECT-D: towards modeling leaf optical

- properties through a complete lifecycle. *Remote Sensing of Environment*, 193, 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.004>
- García-Bastidas, F. A., Quintero-Vargas, J. C., Ayala-Vásquez, M., Schermer, T., Seidl, M. F., Santos-Paiva, M., Noguera, A. M., Aguilera-Galvez, C., Wittenberg, A., Hofstede, R., Sørensen, A., & Kema, G. H. J. (2020). First report of Fusarium wilt Tropical Race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104(3), 994–994. <https://doi.org/10.1094/pdis-09-19-1922-pdn>
- Hatfield, J. L., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., & Walthall, C. L. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 100(S3), S-117–S-131. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- Jie, L., Zifeng, W., Lixiang, C., Hongming, T., Patrik, I., Zide, J., & Shining, Z. (2009). Artificial inoculation of banana tissue culture plantlets with indigenous endophytes originally derived from native banana plants. *Biological Control*, 51(3), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.08.002>
- Lavermicocca, P., Iacobellis, N. S., Simmaco, M., & Graniti, A. (1997). Biological properties and spectrum of activity of *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae* toxins. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 50(2), 129–140. <https://doi.org/10.1006/pmpp.1996.0078>
- Li, M. H., Xie, X. L., Lin, X. F., Shi, J. X., Ding, Z. J., Ling, J. F., Xi, P. G., Zhou, J. N., Leng, Y., Zhong, S., & Jiang, Z. D. (2014). Functional characterization of the gene *FoOCH1* encoding a putative  $\alpha$ -1, 6-mannosyltransferase in *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*. *Fungal Genetics and Biology*, 65, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2014.01.005>
- Mahlein, A. K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors—parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100(2), 241–251. <https://doi.org/10.1094/pdis-03-15-0340-fe>
- Mahlein, A. K., Rumpf, T., Welke, P., Dehne, H. W., Plümer, L., Steiner, U., & Oerke, E. C. (2013). Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 128, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.019>

- Marín, J. C., Hoyos-Carvajal, L., & Botero-Fernández, V. (2018). Detección de plantas asintomáticas de *Solanum lycopersicum* L. infectadas con *Fusarium oxysporum* usando espectroscopia de reflectancia VIS. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 436–446. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7293>
- Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., Villa, P., Stroppiana, D., Boschetti, M., Goulart, L. R., Davis, C. E., & Dandekar, A. M. (2015). Advanced methods of plant disease detection. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1>
- Martínez, R., & Solís, G. A. (2018). Caracterización espectral y detección de flecha seca en palma africana en Puntarenas, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61), 349–377. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.13>
- Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y. S., Subandiyah, S., Crous, P. W., & Kema, G. H. J. (2018). Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in Mycology*, 91(1), 79–99. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003>
- Mather, P. (2004). *Computer processing of remotely-sensed images* (2<sup>nd</sup> ed). John Wiley & Sons.
- Mather, P., & Koch, M. (2011). Pre-processing of remotely-sensed data. In P. Mather, & M. Koch, *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction* (4<sup>th</sup> de. pp. 87–124). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470666517.ch4>
- Pérez Vicente, L. F., Dita, M., & Martínez De La Parte, E. (2014). *Technical manual: Prevention and diagnostic of Fusarium Wilt (Panama disease) of banana caused by Fusarium oxysporum f. sp. cubense Tropical Race 4 (TR4)*. FAO.
- Pimentel, D. (2011). *Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press.
- Pivonia, S., Cohen, R., Katan, J., & Kigel, J. (2002). Effect of fruit load on the water balance of melon plants infected with *Monosporascus cannonballus*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 60(1), 39–49. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2001.0375>
- Ploetz, R. C. (2006). *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium*

- oxysporum* f. sp. *Cubense*. *Phytopathology*, 96(6), 653–656. <https://doi.org/10.1094/phyto-96-0653>
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., & Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 273–303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Rizzo, D. M., Lichtveld, M., Mazet, J. A., Togami, E., & Miller, S. A. (2021). Plant health and its effects on food safety and security in a one health framework: Four case studies. *One Health Outlook*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s42522-021-00038-7>
- Sanger, J. E. (1971). Quantitative investigations of leaf pigments from their inception in buds through autumn coloration to decomposition in falling leaves. *Ecology*, 52(6), 1075–1089. <https://doi.org/10.2307/1933816>
- Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., & Davis, C. (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.02.007>
- Silva-Perez, V., Molero, G., Serbin, S. P., Condon, A. G., Reynolds, M. P., Furbank, R. T., & Evans, J. R. (2018). Hyperspectral reflectance as a tool to measure biochemical and physiological traits in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 69(3), 483–496. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx421>
- Sinha, P., Robson, A., Schneider, D., Kilic, T., Muger, H. K., Ilukor, J., & Tindamanyire, J. M. (2020). The potential of in-situ hyperspectral remote sensing for differentiating 12 banana genotypes grown in Uganda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.023>
- Sohn, S. I., Oh, Y. J., Pandian, S., Lee, Y. H., Zaukuu, J. L. Z., Kang, H. J., Ryu, T. H., Cho, W. S., Cho, Y. S., & Shin, E. K. (2021). Identification of *Amaranthus* species using Visible-Near-Infrared (Vis-NIR) spectroscopy and machine learning methods. *Remote Sensing*, 13(20), Article 4149. <https://doi.org/10.3390/rs13204149>
- Szuvandzsiev, P., Helyes, L., Lugasi, A., Szántó, C., Baranowski, P., & Pék, Z. (2014). Estimation of antioxidant components of tomato using VIS-NIR reflectance data by handheld portable spectrometer.

- International Agrophysics*, 28(4), 521–527. <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0042>
- Thomas, S., Kuska, M. T., Bohnenkamp, D., Brugger, A., Alisaac, E., Wahabzada, M., Behamnn, J., & Mahlein, A. K. (2018). Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(1), 5–20. <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0124-6>
- Varma, V., & Bebbler, D. P. (2019). Climate change impacts on banana yields around the world. *Nature Climate Change*, 9(10), 752–757. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0559-9>
- Verrelst, J., Camps-Valls, G., Muñoz-Marí, J., Rivera, J. P., Veroustraete, F., Clevers, J. G., & Moreno, J. (2015). Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation bio-geophysical properties – A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 273–290. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.05.005>
- Wang, D., Peng, C., Zheng, X., Chang, L., Xu, B., & Tong, Z. (2020). Secretome analysis of the banana Fusarium wilt fungi Foc RI and Foc TR4 reveals a new effector OASTL required for full pathogenicity of Foc TR4 in banana. *Biomolecules*, 10(10), Article 1430.
- Young, A. J., & Britton, G. (1990). Carotenoids and oxidative stress. In M. Baltscheffsky (Ed.), *Current research in photosynthesis* (pp. 3381–3384). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0511-5\\_759](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0511-5_759)
- Zhang, J., Huang, Y., Pu, R., González-Moreno, P., Yuan, L., Wu, K., & Huang, W. (2019). Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, Article 104943. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104943>
- Zhang, J., Pu, R., Huang, W., Yuan, L., Luo, J., & Wang, J. (2012). Using in-situ hyperspectral data for detecting and discriminating yellow rust disease from nutrient stresses. *Field Crops Research*, 134, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.05.011>

Laboratorio de diagnóstico

# *Fusarium* R4T



## 7. LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO DE Foc R4T

**Autores:** Mónica Patricia David González, Samuel Posada Arboleda y Sebastián Zapata Henao.

### Resumen

La presencia del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) en Colombia detectado en 2019 según lo descrito en la Resolución 11912, ha acelerado el desarrollo e implementación de métodos de diagnóstico para la marchitez por *Fusarium*. Pese a que la prueba se realiza actualmente en el Laboratorio de Cuarentena Vegetal del ICA ubicado en Mosquera y en el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario seccional Antioquia, se ha optado por fortalecer la capacidad de diagnóstico en la región de Urabá con el fin de reducir el tiempo de respuesta y favorecer así la implementación de medidas en campo que contribuyen a disminuir la diseminación de la enfermedad. Debido a la necesidad de contener la dispersión del microorganismo en una de las principales zonas productoras de banano del país, se ha planteado como estrategia de mitigación y control el

procesamiento de muestras vegetales sospechosas en el laboratorio de CENIBANANO, AUGURA. Para esto es indispensable registrar la prueba diagnóstica de Foc R4T ante el ente regulador, ICA y cumplir con los requisitos determinados en la resolución vigente establecida. Con base a esto, se han realizado diferentes actividades relacionadas con el diagnóstico de Foc R4T que contribuyen al desarrollo de la prueba.

**Palabras clave:** Marchitez por *Fusarium*, Enfermedad cuarentenaria, Análisis molecular.

### 7.1. Introducción

La presencia de organismos patógenos que afectan el cultivo de banano, es uno de los factores más preocupantes de las diferentes regiones bananeras del país. Un oportuno diagnóstico contribuye al manejo correcto de las áreas afectadas y circundantes, es por esta razón que desde AUGURA, se ha propuesto poner a disposición el laboratorio de CENIBANANO para el procesamiento y análisis de muestras de tejido vegetal provenientes de Urabá, principalmente.

Para llevar esto a cabo, es necesario realizar el registro del laboratorio ante el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA,

en donde mediante la resolución 093858 del 26 de marzo de 2021, se establecen los requisitos y procedimientos para el manejo de laboratorios que realicen pruebas de análisis y/o diagnóstico a terceros en el sector agropecuario, en los cuales se resalta el cumplimiento de la norma NTC-ISO/IEC 17025 versión vigente entre otros.

La norma en mención determina los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, con el fin de promover la confianza en la operación, es decir, operar de forma competente y con la capacidad de generar resultados válidos. La NTC-ISO/IEC 17025, está relacionada con principios básicos de la norma ISO 9001, la cual establece los requisitos para un Sistema de Gestión de la Calidad.

La ejecución de estas normas implica el desarrollo de un plan estratégico de trabajo, con el que se pueda dar inicio a la construcción de la documentación requerida y de esta forma implementar de forma adecuada lo estructurado. En pro de esto, lo descrito en este informe detalla los avances que respecta a los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

## 7.2. Gestión de trabajo

- Para dar inicio a la construcción documental requerida por la norma se contrató a la especialista Johanna Forero Avendaño durante ocho meses, durante este tiempo se realizó un diagnóstico inicial seguido de una sensibilización en la NTC-ISO/IEC 17025. Este acompañamiento incluyó cuatro capacitaciones en diferentes temas como metrología, gestión del riesgo, trabajo no conforme y aseguramiento de la validez de los resultados (Anexo 1), además de revisión de documentos y retroalimentación de los mismos.
- El personal especializado entregó nueve archivos con revisiones que abarcan diferentes numerales cubriendo cerca del 80% de la documentación asociada a los requisitos de la norma.
- Por otro lado, como apoyo al desarrollo de la documentación requerida y en conjunto a lo especificado en un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), se contrató al especialista en calidad Samuel Posada Arboleda, para de esta forma integrar ambas líneas.

- Desde el área de calidad se ha contribuido con la revisión y edición de cada documento elaborado relacionado con el laboratorio, incluyendo los transversales a estos, como los relacionados con las áreas de talento humano, gestión documental, compras, entre otros.
- Como parte del desarrollo del sistema de gestión de calidad, el profesional encargado realizó una charla de sensibilización a parte del personal con el fin de dar a conocer los principios de gestión de la calidad.
- Durante este proceso se han elaborado; 28 procedimientos, 73 formatos, 26 instructivos, 6 matrices y 17 documentos de diferente naturaleza 17 (organigrama, manual, acuerdos, mapa, perfil, plan) para un total de 150 documentos.
- En cuanto a los requisitos de los numerales de la norma, se encuentran distribuidos de la siguiente manera (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Estado de los documentos asociados a los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

<b>Requisitos ISO / IEC 17025:2017</b>	<b>ESTADO</b>	
4. Requisitos generales	75.0%	Aprobado
5. Requisitos relativos a la estructura	58.3%	Revisado y Aprobado
6. Requisitos relativos a los recursos	47.5%	Documentado, revisado y aprobado
7. Requisitos de soporte	20.3%	Documentado
8. Requisitos del sistema de gestión	19.4%	Documentado

- En la tabla 1, los porcentajes indican el estado de los documentos totales de cada numeral.
- Los requisitos generales (numeral 4) se encuentran en un estado más avanzado comparado con los demás, es decir, una vez que estos sean difundidos e implementados se consideran como finalizados en un 100%.

### 7.3. Acciones futuras

- Continuar con el desarrollo de la documentación e iniciar la implementación de estos.
- Fortalecer los conocimientos del personal de la Asociación en lo que respecta al SGC y a la NTC-ISO/IEC 17025 versión vigente.

#### Anexo 1

#### Formación del personal

Curso/capacitación	Fecha	Personas capacitadas
Normas de seguridad y buenas prácticas de	28/02/2022 – 04/04/2022	27
laboratorio (BPL). Validación y aseguramiento de la calidad de métodos	17/02/2022 – 21/04/2022	1
microbiológicos Fundamentos en la norma ISO/IEC	07/06/2022 – 18/08/2022	27
17025:2017 Capacitación aseguramiento de la validez de los	19/05/2022	7
resultados. Estadística básica para laboratorios de ensayo e investigación	06/05/2022	2

Validación y verificación de	07/05/2022	2
Metrología básica	09/08/2022	16
Sensibilización al Sistema Integrado de Gestión de	26/08/2022	30
Estadística aplicada a la investigación	29/08/2022 – 02/09/2022	20
Gestión del riesgo	29/09/2022	5
Trabajo no conforme, acción	13/10/2022	13
Conceptos básicos de validación y verificación de métodos de ensayo en los laboratorios	12/10/2022	1

A close-up photograph of a banana plant, showing large green leaves and a developing banana bunch. The background is bright and slightly blurred.

Asistencia técnica

# Extensión, publicaciones capacitaciones y transferencia

## 8. ASISTENCIA TÉCNICA, EXTENSIÓN, PUBLICACIONES, CAPACITACIONES Y TRANSFERENCIA

La asistencia técnica, extensión, capacitaciones y transferencia de CENIBANANO tiene como propósito principal transmitir, informar, asesorar, capacitar, generar información, extender y compartir con el sector bananero información relevante, resultados de investigación y actividades relacionados con el manejo productivo del cultivo de banano de una manera ágil, clara y veraz sobre los diferentes tópicos que componen la cadena. En tal sentido, este capítulo contiene las principales actividades desarrolladas por las líneas de investigación en fitosanidad (entomología y fitopatología), suelos y agricultura de precisión, agroclimatología y fisiología a lo largo del año por medio de charlas técnicas presenciales y virtuales, asesorías o asistencia técnica en fincas, Ceninotas, cartillas y mensajes cortos en AUGURA HOY y AUGURA INFORMA.

Durante el año 2022, CENIBANANO capacitó un total de **8.595 personas**, brindadas en espacios presenciales y

virtuales a productores, técnicos de fincas y comercializadoras, administradores, personal operativo, estudiantes e investigadores de diversas instituciones. Se resaltan los temas de manejo integrado de plagas, prácticas culturales como el desmache, variables agroclimáticas y el efecto del fenómeno de “La Niña” en las regiones productoras, además, del uso de la plataforma FieldClimate, donde todas las fincas, técnicos y productores de Urabá cuenta con acceso gratuito para monitorear las variables climáticas en tiempo real. A su vez se dieron capacitaciones en acciones de bioseguridad e infraestructura para la prevención de Foc R4T, de vital importancia por la reciente inclusión del hongo a la región del Magdalena, y en el manejo del moko, enfermedad que ha causado la erradicación de más de 120 ha en Urabá **(Tabla 1, Figura 1)**.

A su vez, se desarrollaron asistencias técnicas en el 100% de las fincas de la región. Los principales temas abordados fueron la confirmación de síntomas de plantas sospechosas en campo, labor realizada en conjunto con técnicos del ICA para la toma de muestras y posterior envió al laboratorio, los talleres de campo para el manejo del moko, visitas para adecuar la infraestructura de bioseguridad para Foc R4T, identificación y prácticas de

manejo para plagas como araña roja, cochinilla y Colaspis, Trigona, picudo negro diagnóstico de deficiencias nutricionales y seguimiento a compactación del suelo en los diferentes predios, manejo de arvenses y coberturas para disminuir la erosión de suelos y evaluaciones de plagas en unidades portuarias de la región (**Tabla 1, Figura 1**).

**Tabla 1.** Charlas técnicas, capacitaciones y asistencia técnica brindadas por CENIBANANO en 2022.

MES	TEMA	PÚBLICO	FINCAS	Nº CAPACITADOS
	Taller de campo. Manejo integrado de moko	Técnicos, administrativos y personal operativo	Buenos Aires, Girasoles, Grupo Las Antillas, Asturias, Acacias	74

Enero	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Inspectores sanidad vegetal y calidad Unibán, ingenieros IGGA, operarios relimpia, técnicos, administradores coordinadores, operarios	La Sierra, Chinita, Oasis, Dunas, Almendros, San Carlos	467
	Construcción bioseguridad Foc R4T fincas	Productores, técnicos y administradores constructores	Makazena, Villa Argelia, Labrador, Las Chelas, San Andrés, San Rafael, Carepa, Acacias	16
	Importancia de la nutrición en el cultivo de banano	Productores, técnicos y administradores	Varias	100

	Selección oportuna en banano	Productores, técnicos, administradores coordinadores, desmachadores	Sarapalma, Grupo 20, Grupo Antillas, Banaexport, Grupo Pangordito, Nuevo Horizonte, Sayula, La Triada	60
Febrero	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Supervisores de bioseguridad EPM, FundaUnibán (Viveristas), grupo Agroban	Makazena, Villa Argelia, Labrador, Las Chelas, San Andrés, San Rafael	53
	Manejo de arañita roja	Productores, técnicos y administradores	Carepa, Altavista, Curazao	15
	Selección oportuna en banano	Productores, técnicos, administradores coordinadores, desmachador	El Congo, Patacón	10

Marzo	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Agentes de policía, contratistas INGELECTRICA, técnicos, administradores y equipo de bioseguridad	Grupo Bananeras de Urabá	124
	Manejo del moko	Equipo de extensión C.I. Unibán	NA	6
	Control de picudo negro	Productores, técnicos, administradores	San Juan	48
	Manejo integrado de plagas	Productores, técnicos, administradores	Banafrucoop, Coobafrio y Emprebancoop	54
	Uso de bacteriófagos para el manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Plátano C.I. Unibán	34
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Girasoles, La Llave y Curazao. Equipo de extensión C.I. Unibán	45

Abril	Control de picudo negro	Productores, técnicos, administradores	Villa Fresia, La Sierra	<b>66</b>
	Manejo integrado de plagas	Productores, técnicos, administradores	Cooperativas Magdalena e inspectores C.I Unibán	<b>124</b>
Mayo	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Guadalupe, Cafetal, Salpicón, Bioseguridad Santamaría	240
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Buenos Aires, Sultana, San Ramón, C.I. Banafrut	202
	Nutrición en banano y cambio climático	Productores, técnicos, administradores estudiantes	Cooperativas Magdalena y aprendices Sena Urabá	290
	Selección oportuna "desmache" y sincronización	Técnicos	C.I. Banafrut	15
	Foro variedades promisorias a Foc R4T	Público en general	NA	150

Junio	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Virginias, Monterrey 1, Monterrey 2, Porfrancia	424
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Villa Lupe, Zulemar, técnicos C.I Unibán	57
	Reconocimiento y manejo integrado de coberturas	Productores, técnicos y administradores	Zarzamora, Candelaria, Álamos, Taiwán Kalamari Guaymaral	35
	Selección oportuna "desmache" y sincronización	Técnicos	Grupo Agrosiete	15
	Simulacro Foc R4T	Bioseguridad	Gremio	23
	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Negritos, San Jacinto, Magdalena, Hacienda, Rancho Amelia, El Diamante, Cabo de Hornos	590

Julio	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Cabo de Hornos, El Abrazo, Productores C.I. Unibán	67
	Curso básico de SIG	Técnicos	C.I. Banafрут	12
	Cultivo de banano	Estudiantes Sacúdete ICBF- Greenland y media técnica SENA	Campo Experimental	70
	Control y manejo picudo negro	Técnicos, administradores operarios	Sayula, Antojo, Horizontes	136
	Relimpia y uso eficiente del agua	Wef Nexus Partnership	-	50
	Bioseguridad Foc R4T	FAO-Bolivia	-	250
	Manejo de cochinillas y escamas	FAO-Ecuador	-	500

Agosto	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Caribe 3, Finca 1, Tatiana, Bodegas, Unión Pino, Villa Lolita, Alameda, Gaira, Doña Angela	789
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Galeón, Iris Recreo	101
	Curso básico de SIG	Técnicos	C.I. Banafрут	12
	Foro ¿Cambio climático o variabilidad climática?	Productores, técnicos, administradores estudiantes	NA	100
	Control y manejo picudo negro	Sanidad vegetal	C.I. Unibán	29

Septiembre	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Personal relimpia, Monterrey 3, La Leyenda, Villa Alicia, Río Grande, Esmeralda, El Carmen, La Luz, Luisa Fernanda, Florida, Naturacert*	696
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	El Cortijo, Iris Recreo, Velero y Coralina	302
	Curso básico de SIG	Técnicos	administradores C.I. Banafрут	12
	Cultivo del banano	Estudiantes ingeniería agroindustrial (UdeA)	NA	11
	Caracol africano	Sanidad vegetal C.I. Unibán	NA	29
	Manejo de picudo en campo	Técnicos, administradores	Terranova y Álamos	10

Octubre	Control y manejo picudo negro	Productores, técnicos, administradores	Grupo Santamaría y gremio	83
	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	María del Rosario, Pradomar, Rancho Amelia, Madrigal, Castilletes, La Perla, La Tagua, Mi Tierra, Evocación, Cantares, Venturosa, Paraíso y estudiantes PCJIC	825
	Manejo del moko	Productores, técnicos, administradores	Terranova, Castilletes, Caribana, La Parcela	91
	Salud del suelo	Productores, técnicos, administradores estudiantes	C.I. Unibán (Magdalena) y SENA Magdalena-Urabá	100
	Cultivo del banano	Estudiantes Sallista y Eafit	NA	25

	Manejo de picudo, araña y Ceramidia	Productores, técnicos, administradores	C.I. Unibán	49
Noviembre	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	María del Rosario, Pradomar, Rancho Amelia, Madrigal, Castilletes, La Perla, La Tagua, Mi Tierra, Evocación, Cantares, Venturosa, Paraíso, Toyosa, Retiro, El Bosque, Indira, Santa Ana, Mediterráneo, Gualanday, Lejanía y estudiantes PCJIC	576
	Cultivo del banano	Estudiantes Sallista, Eafit, Unal	NA	10

	Manejo de enmiendas	Productores, técnicos, administradores	C.I. Unibán	30
	Desmache	Supervisores	C.I. Banacol	3
Diciembre	Fusarium R4T. Conceptos síntomas, epidemiología y bioseguridad	Técnicos, administradores operarios	Alex Helena, Tapartó, San Rafael, Campo Experimental	230
	Taller de campo. Manejo integrado de moko	Técnicos, administrativos operativo	Las Chelas	60
<b>TOTAL PERSONAS CAPACITADAS</b>				<b>8.595</b>



**Figura 1.** Registro fotográfico de charlas técnicas, capacitaciones y asistencia técnica.

Las Ceninotas son un espacio donde los investigadores de CENIBANANO publican y entregan al sector bananero, recomendaciones para el manejo de condiciones y prácticas del cultivo. Durante el año 2022, se publicaron **14 Ceninotas** enfocadas en el control y manejo integrado de plagas, comportamiento climático en las regiones productoras, la actualidad de las moléculas químicas en otros países, alertas de incidencia de plagas, enfermedades y desordenes fisiológicos, entre otros, temas de aplicabilidad y actualidad en el momento en que se realizó su publicación (**Tabla 2, Figura 2**).

**Tabla 2.** Ceninotas elaboradas y publicadas por CENIBANANO en 2022

No	FECHA	TÍTULO	ÁREA DE INVESTIGACIÓN
1	19/01/2022	Comportamiento de la Precipitación en la Zona Bananera de Urabá durante el año 2021	Agroclimatología
2	25/01/2022	Alerta con incidencia de <i>Ceramidia</i> sp. en fincas bananeras	Entomología
3	7/02/2022	¡IMPORTANTE! Reporte de <i>Colaspis hypochlora</i> en Magdalena	Entomología
4	14/03/2022	¿La nivelación en los pediluvios es una práctica recomendada?	Fitosanidad
5	10/05/2022	Evento climático La Niña: Generalidades e impactos para el sector bananero en el primer semestre de 2022	Agroclimatología
6	26/05/2022	Preaviso climático de mancha de madurez	Fisiología y nutrición vegetal
7	9/06/2022	Plantas improductivas y lentas en el cultivo de banano. Metodología de identificación y manejo	Fisiología y nutrición vegetal
8	13/06/2023	Efecto del fenómeno “la niña” sobre la sigatoka negra ( <i>Pseudocercospora fijiensis</i> ) en los cultivos de banano de exportación en Urabá para el período 2021-2022	Fitosanidad y Agroclimatología

CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 1	Introducción
SUBTEMAS	
Presentación del curso	
Equipos GPS: ¿Qué son y como usarlos?	
CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 2	Aspectos trigonométricos y conceptos de escala
SUBTEMAS	
Expresiones matemáticas de los SIG	
Aspectos básicos de topografía	
Altimetría	
Distancias horizontales e inclinadas	
El concepto de escala	
CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 3	Geodesia y cartografía
SUBTEMAS	
Geodesia	
Sistemas coordenados	
Sistemas de referencia	
Cartografía	
Componentes básicos de la cartografía	
CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 4	Introducción a los SIG
SUBTEMAS	
Definición de SIG	
Introducción al QGIS	
Tipos de equipos para la toma de datos	
Manejo de equipos de captura	
Toma de geodatos	
Manipulación de geodatos	

12	27/10/2022	Actualidad de moléculas de síntesis química para uso en el cultivo de banano	Entomología
13	17/10/2022	La Niña estará presente hasta el primer trimestre del año 2023	Agroclimatología
14	27/12/2022	Vórtice polar y su impacto en el comportamiento de lluvias para la zona bananera de Urabá en la semana 52 de 2022	Entomología

9	2/08/2022	¿Por qué se utilizan amonios cuaternarios, en qué consiste su modo de acción y cuál es su efecto?	Fitosanidad
10	26/08/2022	Proyección de La Niña durante el periodo agosto-diciembre de 2022, enero-marzo de 2023	Agroclimatología
11	6/09/2022	Incubación de enmiendas como método para determinar la cantidad de cal requerida en la corrección de pH de suelos bananeros	Fisiología y nutrición vegetal



**Figura 2.** Registro de algunas Ceninotas publicadas en 2022.

En cuanto a las cartillas se publicó **una pieza**, donde se describen los principales avances en la selección oportuna y desmache, donde se entregan conceptos y referencias para esta importante labor del cultivo,

con la cual se pueden mejorar parámetros de productividad como los intervalos de cosecha y el número disponible de racimos/año (**Tabla 3, Figura 3**).

**Tabla 3.** Cartillas elaboradas y publicadas por CENIBANANO en 2022

N o	FECHA	TÍTULO	ÁREA DE INVESTIGACIÓN
1	Octubre de 2022	Selección oportuna y desmache. Conceptos y recomendaciones	Fisiología y nutrición vegetal



**Figura 3.** Cartilla Selección oportuna y desmache. Conceptos y recomendaciones

Cabe destacar, que durante 2022 Cenibanano continuo con el Curso básico de sistemas de información geográfico aplicado al sector bananero mediante el uso del software QGIS el cual se desarrolló de forma presencial

en las instalaciones de AUGURA, mediante exposición magistral de algunos temas (**Figura 4**) como aspectos trigonométricos, concepto de escala, geodesia, cartografía, introducción a los Sistemas de Información Geográfico (SIG), creación, edición y administración de elementos *vectoriales* y *ráster*, conceptos que permitieron la creación de paquetes SIG para la toma de datos en campo a partir del Software de captura de información en campo *Qfield*, generación de mapas, entre otros, herramientas claves en la agricultura de precisión en el cultivo de banano. En la actualidad debido a la implementación de software libre, poner en práctica la agricultura de precisión es más sencillo para el productor, permitiéndole realizar análisis de forma simple y tomar decisiones con base en mapas de manejo y variabilidad de cada uno de los parámetros medidos en el cultivo, tales como resistencia a la penetración, productividad, nutrientes, salud de la plantación y otros. A su vez, le permite tener un control sobre las cantidades de aplicación de diferentes productos tales como herbicidas, fertilizantes; conocer las zonas de la finca con mayor productividad con el fin de tener una cosecha programada; determinar puntos críticos de los sistemas de drenaje, entre otras aplicaciones.

CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 5	Creación, edición y administración de elementos Vector
SUBTEMAS	
Definición de elementos Vector	
Creación y edición de elementos Vector	
Administración de bases de datos	
Topología	
Simbología y etiquetas	
CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 6	Creación, edición y administración de elementos Raster
SUBTEMAS	
Definición de elementos Raster	
Creación, edición y administración de elementos Raster	
Georreferenciación de imágenes	
Digitalización de información georeferenciada	
Simbología y etiquetas	
CONTENIDOS TEMÁTICOS	
TEMA 7	Introducción al uso de QFIELD
SUBTEMAS	
Creación, edición y empaquetado de capas para Qfield	
Digitalización de información georeferenciada	
Sincronización y análisis de la información colectada en campo	
Edición y diseño de un mapa	

**Figura 4.** Contenido del curso básico de sistemas de información geográfico aplicado al sector bananero mediante el uso del software QGIS

Cenibanano propició foros tanto virtuales como presenciales, donde se discutieron temas como la nutrición vegetal, el mejoramiento genético entorno a Foc

R4T, Identificación y manejo del complejo picudo en banano, los efectos de la variabilidad climática, los servicios de salud del suelo y la actualidad sobre el manejo del Foc R4T, que contó con la presencia de invitados nacionales e internacionales, así como con la intervención del equipo de investigadores del Centro (Figura 5).

The figure shows four promotional posters for events organized by AUGURA:

- Conferencia: ¿Cambio climático o variabilidad climática?**
  - Date: 25 de Agosto
  - Time: 2:00 pm a 3:00 pm
  - Format: Meditación virtual
  - Conferencista: Ph.D. Julián Andrés Valencia Arbeláez
  - Key points: Clima, Efectos de el sistema producción, Recomendaciones.
- Capacitación: Identificación y manejo del complejo de picudo en banano**
  - Date: 15 de septiembre
  - Time: 3:00 a 5:30 p.m.
  - Location: Auditorio Externo, AUGURA - Urabá
  - Conferencista: MSc. Ángela Benavides Martínez
  - Key points: Manejo Integrado, Estado de el sistema producción, Recomendaciones.
- Foro: Estrategias de manejo y actualidad en torno a Foc R4T**
  - Date: 10 de noviembre
  - Time: 9:30 a 5:30 p.m.
  - Location: Auditorio AUGURA - Urabá
  - Conferencista: Ph.D. Fernando Haddad
  - Key points: Avances del programa de mejoramiento genético, Estrategias de manejo y de resistencia en los hospederos del cultivo, La importancia de las prácticas agrícolas, El impacto de la variabilidad climática y su relación con el manejo de Foc R4T.
- Conferencia: ¿Cambio climático o variabilidad climática?**
  - Date: 25 de Agosto
  - Time: 2:00 pm a 3:00 pm
  - Format: Meditación virtual
  - Conferencista: Ph.D. Julián Andrés Valencia Arbeláez
  - Key points: Clima, Efectos de el sistema producción, Recomendaciones.

**Figura 5.** Charlas presenciales/virtuales de temas de actualidad para la industria bananera

Debido a la incidencia del picudo negro en la región de Urabá, Cenibanano desarrolló afiches sobre como identificar esta plaga, reconocer su ciclo de vida y algunas prácticas de manejo integrado, que fueron entregadas en cada predio, para que sirvieran de material para capacitación del personal

The figure shows two educational posters from Cenibanano:

- Reconocimiento y manejo del Picudo negro del banano, *Cosmopolites Sordidus*.**
  - El picudo negro es una plaga que puede atacar su cultivo de banano de manera silenciosa.
  - Afecta plantas en cualquier estado y se plantea el riesgo por los cosmopolitos del como recién replicado o de plantas con lesiones.
  - Datos de ciclo de vida:**
    - Huevo:** De color blanco y tiene forma de vitellina. De 0.3 a 0.7 mm de longitud. De 0.5 a 3 días hasta la salida de la larva.
    - Larva:** Es de color blanco cremoso y forma de gusano. De 1.5 a 3.5 mm de longitud. Se alimenta de la corteza y el pseudotallo. 27 días hasta la transición a pupa.
    - Pupa:** Es de color blanco, a veces amarillento y con atráctaxas oscuras discontinuas. De 1.3 a 1.6 mm de longitud. Duración de 4 a 12 días hasta el estado adulto.
    - Adulto:** Es de color negro en estado adulto y puede volar en estado juvenil. Cubierta con pilosidad y gomas. De 1.5 a 1.8 mm de longitud. Duración de 4 años aproximadamente.
- Puntos clave para el manejo integral del complejo de picudos en el banano.**
  - Capacitación del personal de la finca:**
    - Identificación de la plaga.
  - Monitoreo:**
    - Monitoreo a través de métodos de trampas de feromonas para determinar incidencia y detección de focos de la plaga en la plantación. Realizar registros semanales de capturas de adultos por género, por día, hora y finca.
    - Detección de plantas caídas y revisión de centros de las mismas para detectar presencia de picudos.
  - Manejo de gascas:**
    - Asistir a la separación de individuos adultos y juveniles de banano que se encuentran dentro de redes.
    - Controlar las condiciones de humedad y/o frías para el establecimiento de la plaga.

**Figura 6.** Afiches reconocimiento y manejo de picudo

De igual forma, Cenibanano participo en diferentes congresos nacionales e internacionales, como lo fueron

- XXIII Acobat, congreso internacional de musáceas, realizado en el mes de mayo de 2022 en Miami, donde se realizaron presentaciones orales sobre control biológico en Foc R1, microbiomas, análisis genético de sigatoka negra, entre otros aspectos.

Así mismo se presentaron posters entorno a suelos y agricultura de precisión y fisiología y nutrición vegetal.

- XLIX Socolen, congreso de la sociedad colombiana de entomología, realizado del 7 al 8 de julio de 2022 en Bogotá, donde se realizaron dos ponencias orales sobre la entomofauna asociada al cultivo de banano y diversidad de arañas.
- XX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, realizado del 26 al 29 de octubre de 2022 en Neiva, en el cual Cenibanano presentó avances en el monitoreo y diagnóstico del pH del suelo



