

Revista de tecnología y ciencia
Journal of Technology and Science

*Divulgación en plátano
y banano*

Volumen 2 - número 1
Enero - Junio, 2025

ACORBAT: Su origen y la experiencia de la XXIV Reunión Internacional en México, 2024

Mario Orozco-Santos^{1*}, Román Gómez-Vaillard²; Iván Merchant-Cruz²; Diana Estefanía Rojas-Rodríguez²; Manuel de Jesús Bermúdez-Guzmán¹; Gustavo Mora-Aguilera³

¹Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México. ²Comité Sistema Producto Plátano Nacional, A.C.; ³Colegio de Postgraduados. Fitosanidad. Montecillo, Edo. de México, México.

**Autor de Correspondencia:*
Mario Orozco-Santos
orozco.mario@inifap.gob.mx

Contribución:
Carta al Editor

Sección:
Carta al Editor

Recibido:
15 diciembre, 2024
Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Orozco-Santos M, Gómez-Vaillard R, Merchant-Cruz I, Rojas-Rodríguez DE, Bermúdez-Guzmán MJ y Mora-Aguilera G. 2025. ACORBAT: Su origen y la experiencia de la XXIV Reunión Internacional en México, 2024. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 2(1): 96
<https://doi.org/10.62498/ARTC.2596>

RESUMEN

ACORBAT es la Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (Bananos y Plátanos) fundada en Francia en el año de 1966. Es una organización sin fines de lucro y su misión es fomentar el desarrollo científico, técnico, social, ambiental, económico y comercial para la producción de Musáceas en el mundo. La asociación organiza reuniones bianuales en la que concurren todos los actores de la cadena productiva de bananos y plátanos y se ha convertido en el foro máximo de encuentro para el intercambio de saberes. La XXIV Reunión Internacional de ACORBAT se realizó en abril de 2024 en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Se tuvo una asistencia de 1,364 participantes, provenientes de 37 países de cinco continentes. Las delegaciones más numerosas fueron de los países de Ecuador, México, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Estados Unidos de América, República Dominicana, España, Perú, Brasil, Honduras, Puerto Rico, Francia, Filipinas, Bolivia, Nicaragua, Australia, Italia, Israel, entre otros. Durante tres días de reunión, se presentaron un total de 76 trabajos de investigación, de los cuales 22 fueron en presentación oral y 54 en póster. El 63 % de los trabajos correspondieron al área de fitosanidad, siendo el problema de sigatoka negra el que ofertó un mayor número de presentaciones. Asimismo, hubo trabajos sobre manejo de suelos, nutrición química y orgánica, postcosecha, riego y drenaje, fisiología y bioquímica, mejoramiento genético, postcosecha, entre otros. Paralelamente, hubo conferencias magistrales y foros orientados a los retos y problemática del sector bananero y platanero en el contexto mundial: plagas y enfermedades, cambio climático, huella hídrica y de carbono, sustentabilidad, el caso de FOC R4T y comercialización. Finalmente, en el marco de la reunión se hizo el lanzamiento de ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia (e-ISSN: 3061-7073), la cual tiene como objetivo divulgar entre los socios de la asociación resultados de investigación, tecnologías y toda información que sea útil para el sector bananero.

Palabras clave: Historia, Banano, Plátano, ACORBAT RTC

ABSTRACT

ACORBAT is the Association for Cooperation in Research and Comprehensive Development of Musaceae (Bananas and Plantains), founded in France in 1966. It is a non-profit organization whose mission is to promote scientific, technical, social, environmental, economic, and commercial development for the production of Musaceae worldwide. The association organizes biannual meetings attended by all stakeholders in the banana and plantain production chain and has become the leading forum for the exchange of knowledge. The 24th ACORBAT International Meeting was held in April 2024 in Mérida, Yucatán,



Mexico. It was attended by 1,364 participants from 36 countries on five continents. The largest delegations were from Ecuador, Mexico, Colombia, Costa Rica, Guatemala, the United States of America, the Dominican Republic, Spain, Peru, Brazil, Honduras, Puerto Rico, France, the Philippines, Bolivia, Nicaragua, Australia, Italy, Israel, among others. During the three-day meeting, a total of 76 research papers were presented, of which 22 were oral presentations and 54 were posters. Sixty-three percent of the papers were in the area of phytosanitary science, with black sigatoka being the problem with the greatest number of presentations. There were also papers on soil management, chemical and organic nutrition, post-harvest, irrigation and drainage, physiology and biochemistry, genetic improvement, post-harvest, among others. In parallel, there were keynote lectures and forums focused on the challenges and problems of the banana and plantain sector in the global context: pests and diseases, climate change, water and carbon footprint, sustainability, the case of FOC R4T, and marketing. Finally, the meeting featured the launch of *ACORBAT Journal of Technology and Science* (e-ISSN: 3061-7073). The magazine's objective is to disseminate research results, technologies, and any other information useful to the banana sector among the association's members.

Keywords: History, Banana, Plantain, ACORBAT JTC

Historia de ACORBAT

La historia de ACORBAT inicia en febrero de 1964. El Instituto Francés de Investigaciones de Frutas de Ultramar (IFAC) y el gobierno de Francia, organizaron una reunión sobre el cultivo del banano en la Isla de Guadalupe, en la que participaron industriales, investigadores, representantes comerciales, profesionales de la agricultura, así como otras personalidades relacionadas con la producción, investigación y comercialización del banano del Caribe. Durante el desarrollo de este evento se identificaron los problemas productivos de la región concluyéndose que la comunicación e intercambio tecnológico entre técnicos y productores de los diferentes países, con similitud de intereses, redundaría en beneficio para la industria bananera regional.

Con estos antecedentes, se recomendó la organización periódica de este tipo de evento para afianzar relaciones entre los diversos actores del sector productivo, compartir información de manera libre, amplia y regular, así como facilitar que las instituciones de la región relacionadas con la investigación del cultivo del banano trabajaran en forma coordinada, cooperando mancomunadamente para reducir costos y evitar la duplicación de esfuerzos.

En este contexto, oficialmente se reconoce la fundación de ACORBAT a partir de una reunión celebrada en noviembre de 1964 en Puerto Rico, con presencia de delegados de Jamaica, Universidad de Puerto Rico, Instituto Francés de

Investigaciones de Frutas de Ultramar (IFAC), Asociación de Productores de Banano de las Islas de Barlovento (WIBAN), Universidad de las Antillas en Trinidad, y el gobierno de Surinam. Por unanimidad se conformó la *Asociación de Investigadores del Banano* en la Región, que eventualmente se distinguió con las siglas ACORBAT, acrónimo de *Association pour la Cooperation des Recherches Bananieres aux Antilles et en Amerique Tropicale*.

El éxito internacional de esta organización implicó adaptar el nombre, manteniendo el acrónimo. En español, se denomina *Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (Bananos y Plátanos)*.

Los miembros fundadores de ACORBAT fueron:

- Instituto Francés de Investigación de Frutas de Ultramar (IFAC), Guadalupe, Francia.
- Instituto Francés de Investigación de Frutas de Ultramar (IFAC), Guinea Francesa, Francia
- Instituto Francés de Investigación de Frutas de Ultramar (IFAC), Martinica, Francia
- Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
- Estación Experimental Agrícola, Surinam.
- Escuela de Agricultura, Universidad de las Antillas, Trinidad y Tobago.
- Jamaica Banana Board, Jamaica.
- Proyecto de Investigación del Banano de las Islas de Barlovento, Islas de Barlovento.

ACORBAT, reconocida en Francia el 22 de julio de 1966, quedó formalmente constituida en conformidad con la ley Francesa del 1 de julio de 1901, registrada en IFAC, Fort de France, Martinica, y publicado en el Periódico Oficial de la República Francesa el 12 de agosto de 1966. ACORBAT es una organización sin fines de lucro y su misión es la de fomentar el desarrollo científico, técnico, social, ambiental, económico y comercial para la producción de Musáceas a través de sus afiliados, países miembros e instituciones de investigación científica; convirtiéndose en el foro máximo de encuentro de estos actores para el intercambio de saberes. El francés, inglés, y español son los idiomas oficiales de ACORBAT.

A partir de 1966, diversas instituciones y entidades de países productores de musáceas de América Latina y el Caribe, organizan las reuniones ACORBAT con periodicidad bianual con algunas omisiones por causas ajenas a la Asociación. Los eventos ACORBAT son foros abiertos para intercambio de información científica y tecnológica sobre tópicos en banano y plátano. En este sector es el evento más

importante a escala mundial por su calidad científica-tecnológica, número de asistentes, así como empresas de insumos y servicios que participan en anexos comerciales. Hasta el presente se han realizado 24 reuniones organizadas por diferentes países: Santa Lucía, Jamaica, Martinica, Panamá, Ecuador, Guadalupe, Costa Rica, Colombia, Venezuela, México, República Dominicana, Puerto Rico y Brasil (Cuadro 1).

Cuadro 1. Reuniones de ACORBAT organizadas por países productores de bananos y plátanos de 1970 a 2024.

Reunión	País organizador	Ciudad sede	Fecha	Asistentes
I	Santa Lucía	Castries	Mayo, 1970	70
II	Jamaica	Kingston	Julio, 1971	110
III	Martinica	Fort-de-France	Mayo, 1974	208
IV	Panamá	Panamá	Mayo, 1979	143
V	Ecuador	Guayaquil	Julio, 1981	164
VI	Guadalupe	Ponte-a-Pitre	Mayo, 1983	180
VII	Costa Rica	San José	Septiembre, 1985	273
VIII	Colombia	Santa Marta	Septiembre, 1987	470
IX	Venezuela	Mérida	Septiembre, 1989	439
X	México	Villahermosa	Noviembre, 1991	741
XI	Costa Rica	San José	Febrero, 1994	650
XII	República Dominicana	Santo Domingo	Octubre, 1996	650
XIII	Ecuador	Guayaquil	Noviembre, 1998	1000
XIV	Puerto Rico	San Juan	Agosto, 2000	630
XV	Colombia	Cartagena	Octubre, 2002	1080
XVI	México	Oaxaca	Septiembre, 2004	1180
XVII	Brasil	Joinville	Octubre, 2006	1200
XVIII	Ecuador	Guayaquil	Noviembre, 2008	1385
XIX	Colombia	Medellín	Junio, 2010	1080
XX	Brasil	Fortaleza	Septiembre, 2013	700
XXI	Costa Rica	Miami	Abril, 2016	925
XXII	Ecuador	Miami	Mayo, 2018	1080
XXIII	Colombia	Miami	Mayo, 2022	823
XXIV	México	Mérida	Abril, 2024	1364

XXIV Reunión Internacional ACORBAT. México 2024

La XXIV Reunión Internacional de ACORBAT se realizó del 23 al 25 de abril de 2024 en el Centro de Convenciones Siglo XXI de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Esta sede se seleccionó por su distancia estratégica de las principales regiones bananeras de México con el fin de evitar riesgos ante la presencia de FOC R4T, actualmente presente desde 2019 en el continente en Colombia, Perú y Venezuela. Este evento tuvo una asistencia de 1364, siendo las segunda más numerosa en la historia de ACORBAT después de Ecuador 2008. Los participantes provinieron de 36 países de cinco continentes. Las delegaciones más cuantiosas fueron las de Ecuador, México, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Estados Unidos de América, República Dominicana, España, Perú, Brasil, Honduras, Puerto Rico, Francia, Filipinas, Bolivia, Nicaragua, Australia, Italia, Israel, entre otros (Figura 1 y 2, Cuadro 2).



Figura 1. Promocional de XXIV Reunión Internacional ACORBAT 2024 y participantes en sesión plenaria técnica-científica. Mérida, Yucatán, 23 - 25 de abril. México.

La XXIV Reunión Internacional ACORBAT 2024 convocó a productores y comunidad técnico-científica internacional relacionada con el sector de Musáceas para exponer investigaciones, tecnologías, nichos de mercado y servicios.

La convocatoria incluyó las siguientes áreas: *biotecnología y ómicas, recursos genéticos y mejoramiento, manejo de suelos y nutrición química y orgánica, fisiología y bioquímica, cambio climático y agrometeorología, fitosanidad, riego y drenaje, inocuidad, socioeconomía, validación y transferencia de tecnología, tecnologías de postcosecha y mercados y comercialización.*

Cuadro 2. Relación de países (36) y número de asistentes por país (total 1364) a la XXIV Reunión Internacional ACORBAT 2024. Mérida, Yucatán, 23 - 25 de abril. México.

Continente Americano					
País	Asistentes	País	Asistentes	País	Asistentes
Ecuador	317	Perú	19	Venezuela	3
México	294	Brasil	17	Islas Caimán	3
Colombia	168	Honduras	16	Antillas Holandesas	2
Costa Rica	146	Puerto Rico	14	Chile	1
Guatemala	120	Bolivia	9	Jamaica	1
EUA	52	Nicaragua	6	Panamá	1
R Dominicana	32	Canadá	6	Argentina	1
Europa					
España	21	Reino Unido	3	Bélgica	2
Francia	12	Países Bajos	3	Suecia	1
Italia	4	Polonia	3	-	-
Asia					
Filipinas	11	Japón	1	Hong Kong	1
Israel	4	-	-	-	-
Oceanía	África		Otro		
Australia	4	Sudáfrica	2	No identificados	63
-	-	Ghana	1	-	-

Fuente: Expoplaza-Ecuador. Información proporcionada por Marcela Ron.

Presentaciones orales y en póster

En los tres días del evento, en total se presentaron 76 trabajos de investigación, de los cuales 22 y 54 fueron seleccionados para exposición oral y póster, respectivamente (Figura 3). El 63 % de los trabajos correspondieron al área de

Fitosanidad (35 en póster y 13 orales), siendo la *Sigatoka Negra*, enfermedad fungosa causada por *Pseudocercospora fijiensis* Morelet el que tuvo mayor número de presentaciones en temas de variabilidad genética, epidemiología, sistemas de muestreo, y control químico y alternativo. El segundo lugar estuvo representado por la *Marchitez por Fusarium*, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC), razas 1, 2, y 4 Tropical (R4T).

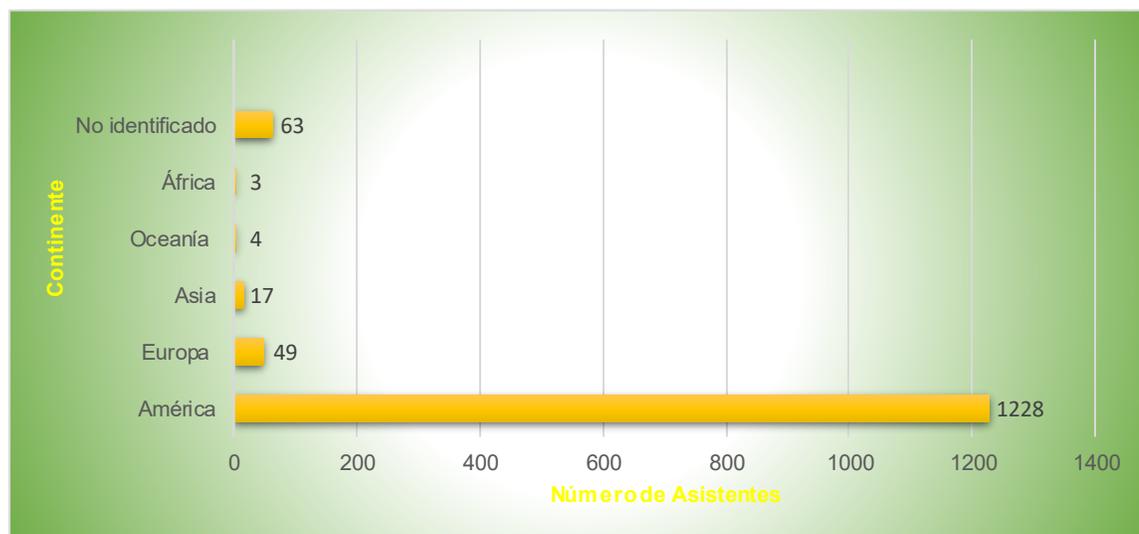


Figura 2. Número de asistentes, por continente, en la XXIV Reunión Internacional ACORBAT 2024. Mérida, Yucatán, 23 - 25 de abril. México.

Los trabajos presentados con la raza 1 y 2 fueron empleados como modelos biológicos experimentales para búsqueda de alternativas de manejo para FOC R4T. De los países del continente americano donde se ha reportado la presencia de esta raza, Colombia presentó el mayor número de trabajos de investigación seguido por Perú. Los temas presentados enfatizaron diagnóstico, epidemiología, respuesta de cultivares, control biológico, control químico y uso de productos bioracionales.

Otros problemas fitosanitarios sobresalientes incluyeron nemátodos (principalmente *Radophulus similis* Cobb [Thorne]), *Moko* (*Ralstonia solanacearum* raza 2), *Pudrición de la Corona* (*Colletotrichum musae* Berk and Curtis), *Fusarium verticillioides* Sacc. Nirenberg, y el complejo de picudos (*Cosmopolites sordidus* Germar, *Metamasius hemipterus* L. y *Polytus mellerborgii* Boheman). En el área de fitosanidad, también se presentó un estudio sobre alternativas químicas y orgánicas para el control de maleza en banano resaltándose como un problema potencialmente emergente.

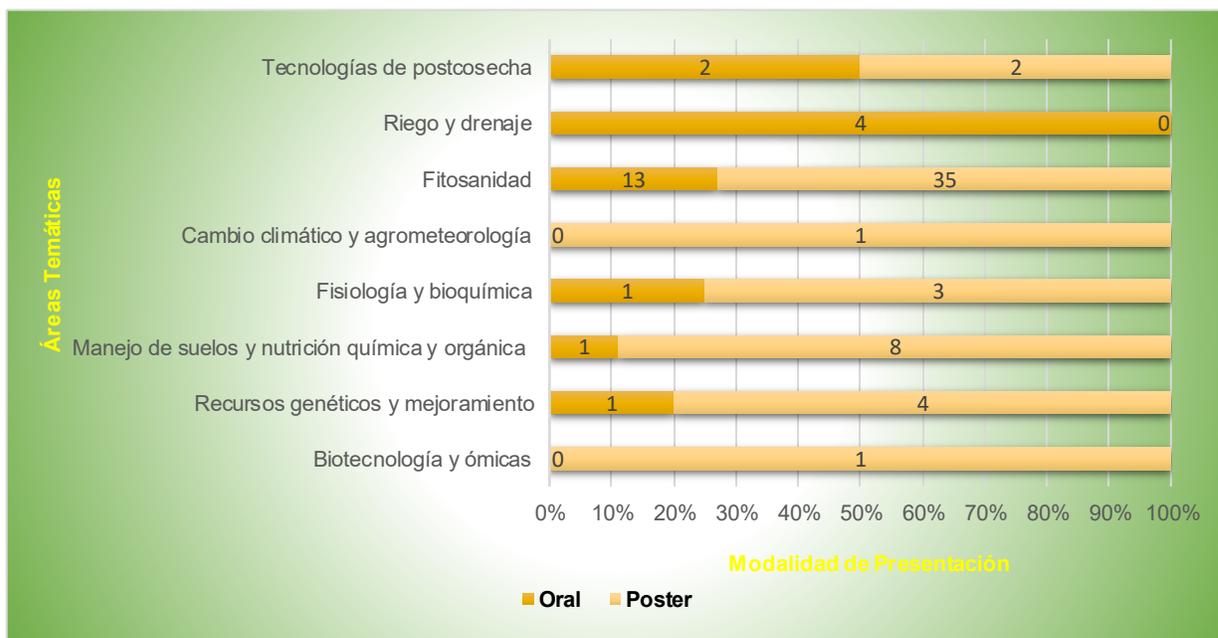


Figura 3. Relación del total de trabajos presentados (76) por áreas temáticas en modalidad oral (22) y póster (54) incluidos en el Programa de la convocatoria abierta de la XXIV Reunión Internacional ACORBAT 2024. La gráfica no incluye un total de 19 conferencias magistrales y especializadas en tres Foros temáticos. Mérida, Yucatán, 23 - 25 de abril. México.

En el área de **Nutrición química y orgánica, y Manejo de suelos** se presentaron 9 trabajos, de los cuales solo uno se seleccionó para exposición oral. Los temas enfatizaron aspectos de gran relevancia productiva como la variabilidad parcelaria de propiedades fisicoquímicas de suelos, efectos de pH en disponibilidad de nutrientes, muestreo nutrimental en raíces, fertilización orgánica y química, fertilización foliar, uso de coberteras vivas y pérdida de suelo. **Recursos y Mejoramiento genético** tuvo una presentación oral y cuatro en póster evidenciando un déficit en un área estratégica para la producción y resistencia a plagas y enfermedades. No obstante, se expuso la situación actual del mejoramiento genético de bananas y plátanos, selección temprana de resistencia a FOC raza 1 en mutantes y la evaluación de la estabilidad de características agronómicas en variedades élite de banano. Interessantemente, se resaltó el esfuerzo colaborativo de Brasil y Colombia por estudiar diversos materiales genéticos en la región con presencia de FOC R4T con tendencias a enfoques integrados de control de la enfermedad. En **Riego y drenaje** se presentaron 4 trabajos orales sobre productividad y huella hídrica, uso eficiente del agua, la influencia de niveles freáticos en el desarrollo del banano y el uso de hidrogeles y materiales de siembra en el cultivo

de plátano. Estos temas muestran el enfoque del sector productivo por responder a las exigencias sociales en material ambiental y conservación de recursos.

Respecto a **Fisiología y bioquímica** se expusieron tres en modalidad póster y uno oral, los cuales versaron sobre factores ecofisiológicos causantes de la aparición del agobio, diferenciación meristemática, programación de cosecha basado en la fisiología de la planta y técnicas de manejo de racimos de banano. En **Tecnologías postcosecha** se tuvieron 4 trabajos, dos en formato oral, los cuales trataron sobre el efecto de coadyuvante a base de almidón de yuca en procesos de maduración y pudrición del banano, propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro* de harinas de bananos de cocción, evaluación de la influencia de productos en el agua de lavado en la severidad de la enfermedad *antracnosis* y calidad de bananos, y valoración de características fisicoquímicas del fruto del banano cultivado en altas densidades de plantación y arreglo poblacional. Es de resaltar que, en estos dos temas, así como en nutrición en general, se tuvieron la mayoría de las exhibiciones en el pabellón comercial con una gran diversidad de oferta de productos e innovaciones para satisfacción de técnicos, productores e investigadores. Finalmente, hubo una presentación en póster sobre **Biotecnología y ómicas** y otra sobre **Cambio climático y agrometeorología**. La primera tuvo como objetivo conocer la patogenicidad en FOC a través de la edición genética y la segunda sobre la determinación del tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona del Urabá, Colombia. Aunque con poca representación dentro de la temática abierta del evento, la inclusión de estos temas en los foros y/o conferencias magistrales claramente indicaron su actualidad dentro de los retos científicos que la industria debe impulsar para la búsqueda de soluciones productivas resilientes.

Conferencias Magistrales y Foros

Con el fin de discutir temas de actualidad y alta prioridad para el sector productivo se presentaron 19 conferencias por invitación de Brasil, Colombia, México, Ecuador, Filipinas, y Costa Rica, las cuales fueron disertadas en modalidad magistral y en tres foros especializados. La conferencia inaugural, “**Desafíos del sector bananero y platanero en el contexto del siglo XXI**”, enfatizó los tres retos actuales del sector productivo implicados en *plagas y enfermedades* que amenazan la producción mundial de las musáceas constituyendo FOC-R4T el mayor riesgo, el *impacto del cambio climático*, y la *situación actual del mercado internacional* de bananos y plátanos. En la conferencia magistral, “**El reto del cambio climático para el sector bananero en América Latina y el Caribe: Arreglos institucionales para enfrentarlo**”, se discutió la necesidad de actuar y tomar decisiones sobre los riesgos asociados al cambio de clima que está afectando el sector bananero en América Latina

y el Caribe, una de las regiones potencialmente más vulnerable junto con África. En las magistrales, “**Buenas prácticas para reducir la huella de carbono**, y **Buenas prácticas para reducir la huella hídrica en la industria bananera**”, se presentó el *proyecto huella de carbono y agua* y una herramienta de medición propuesta por el Foro Mundial Bananero de la FAO como una solución innovadora para la medición automática y precisa del impacto climático de la producción bananera. Así mismo, se discutieron buenas prácticas y uso de fertilizantes para reducir la *huella de carbono* en la industria bananera. En el área de **fitosanidad**, se incluyeron conferencias magistrales respecto a: **1)**. Actualidades en el manejo integrado de sigatoka negra; **2)**. Situación actual y caracterización molecular del moko en musáceas y recomendaciones exitosas para su manejo; **3)**. Amenazas fitosanitarias para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe; y **4)**. Manejo integrado de plagas emergentes en bananos y plátanos. A este respecto, una tendencia entre los ponentes fue la necesidad de aplicar estrategias preventivas con criterios racionales incorporados a programas de manejo integrado como la estrategia más viable de sostenibilidad productiva en el marco de las diversas experiencias internacionales.

Los tres **Foros** concurrentes tuvieron como fin ampliar la discusión en tres ejes estratégicos basados en estudios de casos pragmáticos en la producción de musáceas. El Foro, **Sostenibilidad en bananos**, discutió la necesidad de la *innovación para la sostenibilidad: Una apuesta por la resiliencia de la industria agroalimentaria y retos en la bananicultura*. En este Foro se presentó el estado del arte en el manejo de nutrición, agua y la sostenibilidad productiva de bananos y plátanos. Estos temas se enmarcaron en tres casos exitosos de experiencias desarrolladas en Colombia, Ecuador y México. El Foro, **Marchitez por Fusarium (raza 1 y raza 4 Tropical)** se avocó al tema de gran actualidad por la relativa reciente detección de este hongo en el continente americano. En el marco del foro se expuso el *Plan de acción del gobierno de México ante la amenaza de FOC R4T* y otras enfermedades emergentes de musáceas. También se habló sobre la *experiencia Filipina en el manejo integrado de la Marchitez por Fusarium raza 4 Tropical* y la *experiencia Brasileña sobre manejo integrado de la Marchitez por Fusarium raza 1* (como modelo de manejo). Es de resaltar importantes esfuerzos de integrar agentes de supresión biológica y recursos genéticos para la atención de esta amenaza fitosanitaria.

El Foro, **Mercados y Comercialización**, enfatizó la importancia mundial de la producción y comercialización de musáceas al ocupar el primer lugar entre los frutales a nivel mundial en términos del volumen producido. Se demostró que estos cultivos tienen a su vez un fuerte impacto socioeconómico y nutricional por su producción en más de 100 países y su costo accesible para la población. Se discutió el caso de China

como uno de los mercados emergentes para varios países del continente americano con Ecuador como referente.

Premiación a los mejores trabajos

El Comité Científico Internacional de ACORBAT realizó una evaluación de todos los trabajos presentados en modalidad oral y en póster, con base en criterios de calidad de presentación, apoyos visuales, contenido y estructura del trabajo, así como su aportación al conocimiento de las musáceas. Se reconocieron los siguientes trabajos, interesantemente todos dentro del área de sanidad:

Primer lugar, oral: Simon G, Laurena D, Marie-Odette D, Jérôme SR, Claire G and Luc DL. Effects of different levels of source-sink ratio on yield and susceptibility to crown rot in Cavendish banana plants.

Segundo lugar, oral: Canacuan MFY, Rey VVE, Zapata HS, Morales OJG y Arango IRE. Evaluación de tecnología basada en RNAi para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano.

Primer lugar, póster: Arango-Palacio L, Peláez-Jaramillo CA, García-Pedrajas MD, Cañizares-Nolasco C, Zapata-Henao S y Pinzón-Núñez AM. 2024. Primer reporte de micovirus con actividad de hipovirulencia sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc).

Presentación de ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia

En el marco de la **XXIV Reunión Internacional de ACORBAT 2024** se realizó la presentación y lanzamiento de la revista *ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia* (ACORBAT RTC), ISSN: 3061-7073, la cual fue propuesta por el Comité Científico Local ante la Mesa Directiva ACORBAT con el propósito de divulgar resultados de investigación, innovaciones tecnológicas y diferentes tópicos asociados con la producción de las Musáceas. El fuerte énfasis divulgativo de la revista tiene como objetivo no solo los asociados ACORBAT sino todos los implicados en los diferentes eslabones de la cadena productiva de bananos y plátanos. La visión es que ACORBAT RTC sea efectiva en generar un ecosistema dinámico y creativo entre el sector productivo, empresas de insumos y servicios, y el sector de innovación tecnológica y científica. Esta revista emerge con énfasis en el productor y pretende constituirse en una referencia mundial en la amplia temática que implica la producción de musáceas. ACORBAT RTC es una publicación digital semestral en idioma español, inglés, francés y portugués en concordancia con la internacionalidad de ACORBAT. La revista actualmente está en un plan de mejora digital continua por tres años hasta lograr su consolidación en términos de indicadores de impacto. Meta posible con el apoyo de

asociados de ACORBAT y del sector productivo. Los artículos asociados con presentaciones orales y póster, conferencias magistrales y de Foros referidas en esta reseña de la **XXIV Reunión Internacional de ACORBAT 2024** están publicados en Volumen 1, Número 1 (Enero - Junio 2024) en la plataforma web ACORBAT RTC.

Agradecimientos

Finalmente, los autores de esta **Carta al Editor**, el Presidente de la actual Mesa Directiva ACORBAT y miembros del Comité Científico de ACORBAT, deseamos agradecer a todos los que hicieron posible la realización del **XXIV Reunión Internacional de ACORBAT 2024**: En primer lugar, un agradecimiento especial a la empresa Expoplaza de Ecuador y a su equipo de colaboradores, quienes fueron el pilar de la organización de esta reunión. Asimismo, a todos los Comités de organización y logística, instituciones de investigación, estudiantes, empresas participantes en pabellón comercial, productores, y gobierno local del país anfitrión. Finalmente, agradecer infinitamente a la Mesa Directiva del periodo anterior que contribuyó con su experiencia y visión al éxito del nuestro evento 2024. Estamos seguros de que el evento **ACORBAT 2026** en Mérida, México será otro legado de éxito y orgullo para todos los que enarbolamos las musáceas como razón de ser.

REFERENCIAS

- ACORBAT 2024. Memorias de la XXIV Reunión Internacional de ACORBAT 2024. ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia 1(1):701 p. (<https://www.acorbat-rtc.com/>).
- ACORBAT 2025. <https://acorbatinternacional.com/> (Consulta Febrero y Marzo de 2025).
- Arango-Palacio L, Peláez-Jaramillo CA, García-Pedrajas MD, Cañizares-Nolasco C, Zapata-Henao S y Pinzón-Núñez AM. 2024. Primer reporte de micovirus con actividad de hipovirulencia sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia 1(1):54-<https://doi.org/10.62498/ARTC.2454>
- CanacuánMFY, Rey VVE, ZapataHS, Morales OJG y Arango IRE. 2024. Evaluación de tecnología basada en RNAi para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano. ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 26 <https://doi.org/10.62498/ARTC.2426>
- Sandoval, F.J.A. 2018. ACORBAT: Cincuenta años aportando resultados de investigación científica, desarrollo, tecnología, innovación, cultura, apoyo al productor y perspectivas futuras. Conferencia de apertura. XXII Reunión Internacional de ACORBAT 2018. Miami, FL. EEUU.
- Simon G, Laurena D, Marie-Odette D, Jérôme SR, Claire G and Luc DL. 2024. Effects of different levels of source-sink ratio on yield and susceptibility to crown rot in Cavendish banana plants. ACORBAT Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 63 <https://doi.org/10.62498/ARTC.2463>

Anatomía y morfología de plantas de banano (*Musa* AAA) en fases *in vitro* y aclimatación

Jorge Arturo Sandoval-Fernández^{1*}
¹Investigador independiente, Costa Rica

***Autor de Correspondencia:**
Jorge Arturo Sandoval-
Fernández
jorgeasandoval3@gmail.com

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fisiología y Bioquímica

Recibido:
15 diciembre, 2024

Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Sandoval-Fernández JA. 2025.
Anatomía y morfología de
plantas de banano (*Musa* AAA)
en fases *in vitro* y aclimatación.
*Acorbat Revista de Tecnología
y Ciencia* 2(1): 97
<https://doi.org/10.62498/ARTC.2597>

RESUMEN

Se realizó un estudio morfológico y anatómico comparativo entre plantas de banano cv. Gran enano (*Musa* AAA), en estado de micropropagación y en fase de aclimatación para determinar diferencias en sus estructuras anatómicas y morfológicas. Para tal efecto se procesaron pequeñas muestras de hojas, raíz y cormo en ambos tipos de condición de planta. Para obtener los cortes se usó el método de inmersión en parafina y cortes al micrótopo, para la observación mediante microscopía de luz. Se encontraron diferencias marcadas entre los aspectos analizados en ambos estados. Las hojas de plantas establecidas en cultivo *in vitro*, presentaron una cutícula muy delgada, casi nada de cera epicuticular y el resto de tejidos están aún poco diferenciados. Los estomas en su mayoría no son funcionales. No hay presencia de un pulvínulo propiamente dicho. Se observó un tejido de cormo, con pequeños indicios de yemas laterales, así como hojas envolventes a partir del cormo indicando la formación posterior de un auténtico pseudotallo. Las raíces fueron muy evidentes, de naturaleza adventicia y ocasionalmente con pelos radicales. En contraste en plantas en aclimatación, conforme transcurrió el tiempo, las hojas presentan una cutícula más gruesa, más presencia de cera epicuticular, la formación de parénquima de empalizada con sus respectivos cloroplastos, estomas funcionales, un incipiente pulvínulo y haces vasculares debidamente formados. El cormo presentó evidentes yemas que posteriormente darán formación a los hijos laterales. El pseudotallo cada vez es más diferenciado, así como la formación y el desarrollo también adventicio de las raíces.

Palabras clave: fisiología, crecimiento, desarrollo, micropropagación.

ABSTRACT

A comparative morphological and anatomical study was carried out between banana plants cv. Gran naine (*Musa* AAA), in the micropropagation stage and in the acclimatization phase to determine differences in their anatomic and morphological structures. For this purpose, small samples of leaves, roots and corms were processed in both types of plant condition. To obtain the sections, the paraffin immersion method was used, as well as microtome sections for observation by light microscopy. Marked differences were found between the aspects analyzed in both stages. The leaves of plants established in *in vitro* culture have a very thin cuticle, almost no epicuticular wax and the rest of the tissues are still poorly differentiated. The stomata are mostly non-functional. There is no presence of a pulvinulus per se. A corm tissue was



observed, with small indications of lateral buds, as well as enveloping leaves from the corm indicating the later formation of a true pseudostem. The roots were very evident, adventitious in nature and occasionally with radical hairs. In contrast, in acclimatized plants, as time goes by, the leaves present a thicker cuticle, more presence of epicuticular wax, the formation of palisade parenchyma with its respective chloroplasts, functional stomata, an incipient pulvinulus and properly formed vascular bundles. The corm presents evident buds that will later give rise to the formation of lateral shoots. The pseudostem becomes increasingly more differentiated, as well as the formation and adventitious development of the roots.

Key words: physiology, growth, development, micropropagation.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, estudios sobre la anatomía y la morfología de plantas de banano son poco frecuentes. Asimismo, los existentes fueron realizados hace muchos años (Skuth, 1927, Riopel y Steeves, 1964, Sandoval, 1989). Los análisis ahora se fundamentan mayormente en técnicas celulares y moleculares. La anatomía estudia la parte interna y la morfología la forma externa de las plantas. El conocimiento anatómico y estructural de una planta es un punto fundamental para conocer mejor su funcionamiento y fisiología. Con dicho conocimiento sin duda, es posible tomar mejores decisiones de manejo en la producción de un cultivo (Sandoval *et al.*, 1994; Sandoval y Müller, 1999).

Cualquiera que sea la metodología de micropropagación, el objetivo principal es obtener un gran número de plantas aptas para su trasplante a suelo u otro sustrato (Subrahmanyeswary y Gantait, 2022; Uma *et al.*, 2023). Esta etapa es crítica y se le conoce como la fase de aclimatación o endurecimiento. Frecuentemente, una determinada especie se adapta de manera más favorable que otra. Los factores que influyen se deben investigar para mejorar el establecimiento y manejo de las plantas (Álvarez *et al.*, 2014).

Las plantas producidas *in vitro* crecen en un ambiente aséptico y su desarrollo requiere de una fuente de energía exógena (azúcar), es decir, son plantas heterótrofas, con un aparato fotosintético no diferenciado o ineficiente. Además, se desarrollan a alta humedad relativa y consecuentemente sus hojas carecen de una cutícula gruesa y de una adecuada capa de cera epicuticular. Asimismo, el parénquima en empalizada está poco desarrollado, con grandes espacios intercelulares y generalmente se observa baja densidad estomática. Estas características las hace muy susceptibles a la deshidratación. Así es necesario propiciarles condiciones fisiológicas adecuadas para

que en la etapa de aclimatación no haya mucha pérdida de plántulas (Donnelly y Vidaver, 1984 a; Donnelly y Vidaver, 1984 b; Donnelly *et al.*, 1985).

Por ello, durante la fase inicial de la aclimatación, se mantiene la humedad relativa casi del 100% mediante nebulización. No obstante, se debe tener cuidado para no incrementar el contenido de humedad del sustrato hasta saturación continua, impidiendo niveles convenientes de CO₂ y O₂. En cuartos de humidificación cerrados se mantiene una humedad relativa alta sin saturar al sustrato (Brainerd y Fuchigami, 1981). Las plantas provenientes de cultivo *in vitro* necesitan inicialmente de una intensidad lumínica baja; gradualmente la intensidad debe aumentarse. En el invernadero, la utilización de mallas de sombreo es frecuente; de acuerdo con su densidad, proporcionan determinado porcentaje de sombra (Álvarez *et al.*, 2014).

Las condiciones de cultivo *in vitro* afectan la anatomía de las plantas micropropagadas (Short *et al.*, 1984; Sutter y Langhans, 1979; Wetzstein y Sommer, 1982). Plantas provenientes de cultivo *in vitro* presentaron poca cera epicuticular en las hojas y una ineficiente conexión vascular entre la raíz y el vástago. Consecuentemente fueron vulnerables a marchitarse. Las hojas formadas en cultivo *in vitro* son solamente una forma transicional hasta que las hojas verdaderas hayan emergido.

De acuerdo con Flores (2013), el parénquima en empalizada comúnmente es un tipo especializado de tejido fotosintético, al estar los cloroplastos en una posición favorable con respecto a la luz. La falta de una diferenciación completa del parénquima en empalizada en hojas de plantas *in vitro* sugiere una capacidad fotosintética menor (Wetzstein y Sommer, 1982). Hay aspectos morfológicos y anatómicos que pueden influir positiva o negativamente durante la etapa de aclimatación. Hojas de plantas de *Musa* no micropropagadas mostraron una anatomía característica de la especie (Sandoval *et al.*, 1994).

El objetivo de la presente investigación fue, comparar y determinar diferencias en estructuras anatómicas y morfológicas de plantas de banano, *in vitro*, invernadero y vivero utilizando observaciones con microscopía de luz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas *in vitro*

Para los análisis anatómicos y morfológicos se utilizaron plantas *in vitro* en fase de crecimiento y desarrollo. Estas fueron sacadas del recipiente de cultivo para lavar sus raíces. Posteriormente, fueron colocadas sobre papel absorbente. Cada parte de la planta fue cuidadosamente separada para realizar las observaciones.

Plantas en aclimatación

Varias plantas fueron liberadas de su cultivo aséptico y colocadas en condiciones controladas (temperatura entre los 23 y 25 °C, una humedad relativa del 85 % y un periodo de luz natural de 10 horas). Se sembraron en un sustrato de suelo estéril y fueron nutridas mediante la aplicación foliar semanal con una solución Hoagland (macro y microelementos); más quelato de hierro. Para el análisis histológico se tomaron muestras foliares el día de iniciar la transferencia a condiciones de invernadero y posteriormente cada mes hasta cumplirse un total de cinco meses.

Microscopía de luz

Se obtuvieron cortes y preparaciones microscópicas utilizando un micrótopo para seccionar segmentos de tejido inmersos en bloques de parafina. Se realizaron cortes transversales y longitudinales con un espesor de 15 a 50 micras. Las observaciones se realizaron en un microscopio Carl Zeiss, en diferentes aumentos (32X, 80X, 190X). Luego de seleccionar las mejores preparaciones correspondientes a cada parte de la planta en estudio, se realizó la descripción e interpretación de cada una de ellas. Las estructuras fueron visualizadas y dibujadas a mano, utilizando tinta china y una cámara lúcida (Carl Zeiss).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología y anatomía de raíces de plantas de banano *in vitro*

En las plantas de *Musa* micropropagadas la formación del sistema radical se produce rápidamente en el medio semisólido de Murashige y Skoog (1962) sin reguladores de crecimiento. Esto sugiere que el nivel endógeno de auxina es suficiente para estimular la rizogénesis, ya que la adición de auxinas en esta fase disminuye la formación de raíces y la presencia de citocininas la inhibe (Govená *et al.*, 2018). Las raíces son delgadas, flexibles, con un diámetro de 2 a 3 mm y un largo que puede llegar a medir más de 150 mm. Estas raíces presentaron abundantes formaciones

apendiculares (pelos radicales), que disminuyeron en número o desaparecieron del todo si las raíces se encuentran dentro del agar.

En otras especies se ha observado algo similar e, incluso, ausencia total de pelos radicales, debido probablemente a la alta concentración de agua existente en el gelificante (Álvarez *et al.*, 2014).

Las raíces se originan principalmente de la parte basal del explante, frecuentemente en la zona de las bases de las vainas envolventes del pseudotallo. Casi siempre son de color blanquecino, en algunos casos de color café negruzco, especialmente en aquellas plantas con una permanencia en cultivo más allá de los 3 meses. Los ápices de las raíces son muy visibles; miden aproximadamente 2 mm y presentan una coloración cremosa. Se observa también a cierta distancia del ápice radical la formación de raíces secundarias, con un tamaño que oscila entre los 13 a 20 mm.

Cortes transversales de raíces de plantas *in vitro* permitieron observar que, dependiendo de su madurez, éstas pueden ser tetrarcas, pentarcas y hasta poliarcas (Figura 1). Estos resultados difieren de los encontrados por Riopel y Stevens (1964), quienes mencionaron que las raíces de *Musa* son todas poliarcas, con un número de cordones de xilema que varían desde los 28 a los 34 en las raíces más gruesas. La disposición poliarca es característica de las raíces adventicias en gran parte de las monocotiledóneas (Flores, 2013).

La rizodermis está formada de células pequeñas, con paredes no muy engrosadas. Se presenta a veces, en la parte más vieja, una ligera cutinización. Cortes transversales de raíces gruesas permitieron la observación de aerénquima en la parte de la corteza. Los espacios aeríferos son lisígenos y se sitúan a partir de varios estratos de células del parénquima cortical interno hacia afuera de la endodermis. En raíces jóvenes la endodermis consta de una capa de células muy uniformes, con muy poco engrosamiento, sin cutinización (Figura 1). En la parte interna de la endodermis existe un periciclo uniseriado (Figura 1), con células a veces bastante irregulares en tamaño. El origen de las raíces laterales en *Musa* es a partir del periciclo. El centro de la raíz no muestra engrosamiento de las paredes, como ocurre en raíces muy viejas en plantas de campo.

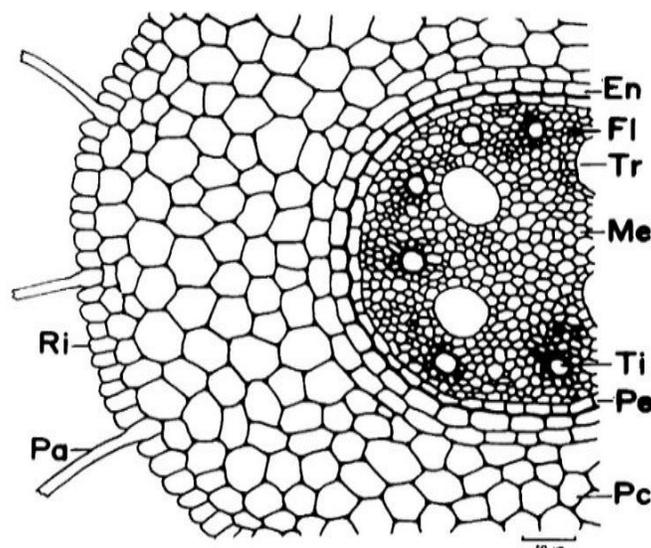


Figura 1. Corte transversal de una raíz poliarca casi madura de una planta in vitro desarrollada en medio semisólido (cv. Gran Enano). En: endodermis. Fl: floema. Me: médula aún sin lignificación. Pa: pelo absorbente. Pc: parénquima cortical. Pe: periciclo. Ri: rizodermis. Ti: traqueida del protoxilema. Tr: tráquea escalariforme del metaxilema en formación. Fuente: Sandoval (1989).

Secciones longitudinales del ápice de las raíces permitieron corroborar la presencia de una caliptra con un caliptrógeno bien formado (Figura 2). Se notó mucha actividad meristemática en el caliptrógeno, con las células de la caliptra desorganizándose luego hacia afuera. Las células localizadas directamente atrás y encima del caliptrógeno son pequeñas y sin vacúolo (Figura 2). En la caliptra, cerca de la punta, se encuentran células con granos de almidón, cuya función probable es de estatolitos o sensores de gravedad (Figura 2). Estudios en otro tipo de plantas confirman esta interpretación (Flores, 2013). En las raíces que se orientan hacia arriba en el frasco de cultivo (presentan gran cantidad de pelos radicales) también se observó presencia de granos de almidón, pequeños y aglutinados alrededor del núcleo. Debido a la orientación de las raíces en las que se encuentran probablemente no funcionan como estatolitos.

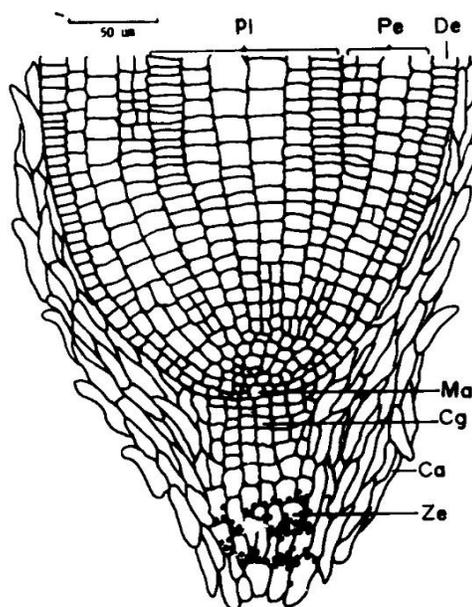


Figura 2. Sección longitudinal del ápice de una raíz de una planta *in vitro* (cv. 'Gran enano'). Ca: caliptra. Cg: caliptrógeno. De: dermatógeno. Ma: meristema. Pe: periblema. Pl: pleroma. Ze: zona de estatolitos. Fuente: Sandoval (1989).

Morfología y anatomía del cormo de plantas de banano en fase *in vitro*

El cormo (tallo subterráneo y órgano de reserva) desarrolla hojas en su parte superior y raíces adventicias en la inferior. El cormo es de color café en su superficie y de color cremoso internamente. Al quitar las vainas foliares circundantes se localiza el ápice vegetativo, de color blanco y de superficie lisa. Su tamaño aproximado es de 0.5 a 1 mm.

Mediante cortes longitudinales y transversales, se notó la región cortical y el cilindro central, donde se observó gran cantidad de granos de almidón dispersos en el tejido parenquimatoso. La visualización del almidón fue evidente al colocar gotas del colorante lugol de tejido fresco. Muy evidente también es el recorrido sinuoso e irregular de los haces vasculares. Esta disposición irregular de haces en el cormo ya ha sido observada por otros investigadores en plantas en condiciones *in vitro* (Soto, 2014). El meristemo apical es típico, con su domo y los respectivos primordios foliares rodeándolo.

Morfología y anatomía de hojas de banano en fase *in vitro*

Plantas con 45 días de permanencia en cultivo, en un medio para crecimiento (Murashigue y Skoog, 1962), presentan un promedio de 5 a 6 hojas. El tamaño de éstas

oscila desde 6 mm en su parte más ancha, hasta 20 mm de largo desde la base hasta su ápice en las hojas más pequeñas. Las hojas más desarrolladas pueden alcanzar unos 15 mm en su parte más ancha y más de 50 mm de largo. El ancho del semilimbo derecho es igual al del semilimbo izquierdo. En general, las hojas son lanceoladas, de color verde, el cual es más acentuado por el haz que, por el envés, que es ligeramente glauco, de superficie brillante. Sin embargo, la forma de la hoja depende mucho de la concentración de citocinina en el medio.

La vena central es conspicua en ambas caras de la hoja, siendo más evidente por la cara abaxial, (semicircular) y casi lisa por el haz. A partir de la nervadura central se inician las venas laterales. Estas, en la base de la hoja, toman una posición curva y ascendente (ángulo 25- 30°) hasta el centro del limbo y luego, a partir de las 2/3 partes hacia el ápice, continúan en forma casi paralela.

El borde de las hojas no presenta cloroplastos, no posee antocianos y mide aproximadamente 1 mm de ancho. La lámina foliar termina en un apéndice filiforme, vivo y persistente, que mide aproximadamente 3 mm de longitud en las hojas más desarrolladas. La parte basal de las hojas es simétrica, indistintamente del genoma. No hay un pecíolo debidamente diferenciado y en consecuencia las láminas foliares tienden a traslaparse con las vainas que forman el incipiente pseudotallo. A 1.5 cm de la base de la planta (cormo), el conjunto de las vainas imbricadas (posterior pseudotallo) posee un diámetro de 4 a 6 mm.

Existe en estas plantas presencia de látex en las vainas y también en los limbos desarrollados, especialmente en la región de la vena central. Cortes transversales de hojas de plantas cultivadas *in vitro* permitieron observar que la anatomía es la típica para una hoja de monocotiledóneas, pero con presencia de ciertas particularidades (Figura 3). La estructura de las hojas *in vitro* es semejante a la presentada por hojas de plántulas provenientes de semilla (*Musa balbisiana*), en sus primeros estadios de desarrollo. La cutícula es muy delgada y casi no presenta cera epicuticular. Resultados similares han sido mencionados por otros autores en otras especies (Grou, 1975; Grou y Astom, 1977; Sutter y Langhans, 1979). No se observó en ninguna hoja la presencia de células correspondientes a una banda pulvinular.

No se observaron bandas de esclerénquima rodeando a los haces vasculares. En general el tamaño de las células en los tejidos *in vitro* es más pequeño que en plantas crecidas en el invernadero y más aún en el campo. Sin embargo, hay que considerar que la permanencia *in vitro* está confiriendo una condición de miniaturización a las

plantas. De acuerdo con lo observado, existe una relación de proporcionalidad en los tejidos presentes.

Las epidermis son uniestratificadas y delgadas. Sus células son sinuosas; a veces irregulares en su tamaño (Figura 3). La orientación de las células epidermales sigue la orientación de las venas laterales. Tanto en el lado abaxial como adaxial están constituidas por células alargadas (Figura 3). La presencia de cristales de diversas formas es evidente en sus células. La hipodermis consta de células más grandes cuya orientación es perpendicular a las epidermales. Encima de los hacesillos vasculares su tamaño es reducido y su forma es cuadrada. El parénquima en empalizada está restringido a una sola capa de células, semiredondas (aproximadamente de 17 μm de diámetro), con abundantes cloroplastos de un diámetro promedio de 8 μm . Este tejido, sin embargo, no está bien diferenciado.

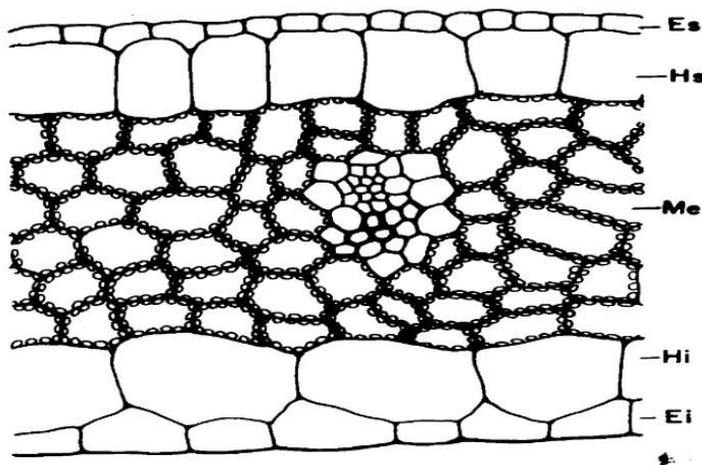


Figura 3. Corte transversal de una hoja completamente desarrollada de una planta *in vitro* (cv. 'Gran enano'). Ei: epidermis inferior. Es: epidermis superior. Hi: hipodermis inferior. Hs: hipodermis superior. Me: mesófilo con parénquima uniforme que no muestra subdivisión en parénquima en empalizada y esponjoso. Fuente: Sandoval (1989).

Las hojas *in vitro* son anfiestomáticas, con una mayor cantidad de estomas en el lado abaxial (Figura 4). El tamaño promedio de las estomas para el cv. 'Gran Enano' en el lado abaxial fue de 38 μm de largo y 15 μm de ancho. Las células oclusivas están rodeadas por un grupo de cuatro células subsidiarias. En su mayoría los estomas presentan su ostiolo parcial o completamente cerrado, lo cual indica poca o ninguna funcionalidad. Los estomas están presentes también sobre la vena central.

Las células parenquimáticas de la vaina poseen inclusiones tipo rafidios. A veces se visualizan dos paquetes de rafidios dentro de un mismo espacio aerífero. Estas inclusiones posiblemente son residuos finales de los procesos metabólicos celulares (Flores, 2013). En *Musa* se ha comprobado que estas inclusiones son en su mayoría de oxalato de calcio (Bruni *et al.*, 1982).

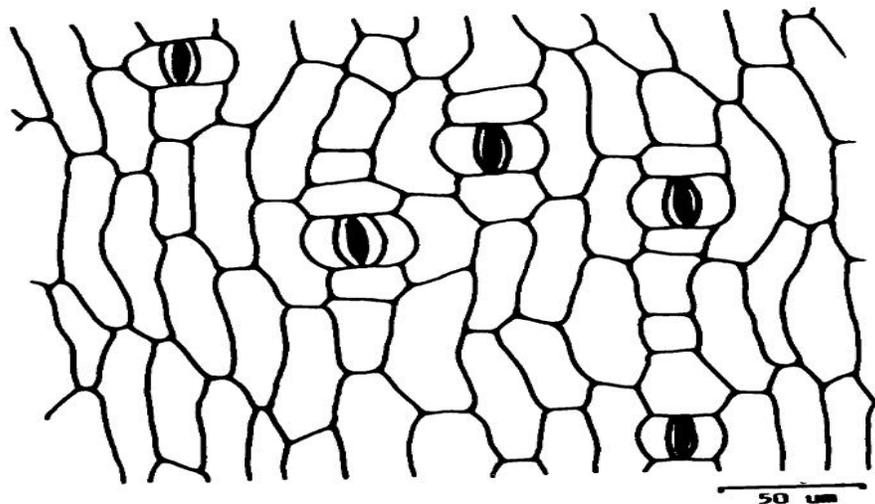


Figura 4. Forma de las células epidermales y distribución de estomas en el envés de una hoja *in vitro* (cv. 'Gran enano'). Fuente: Sandoval (1989).

Morfología y anatomía de raíces en fase de aclimatación

Hay importantes diferencias entre plantas desarrolladas *in vitro* y las que crecen en condiciones de invernadero. En promedio una planta después de permanecer dos meses en aclimatación presenta 7 raíces gruesas, con un diámetro promedio, en su parte proximal, de 4 mm y de 2 mm en su parte distal. Las raíces gruesas tienen menos raíces secundarias en comparación con las más delgadas. Estas, de menor diámetro, conforman la mayor parte del sistema radical y miden de 1 a 2 mm de diámetro en su parte posterior y anterior respectivamente y tienen gran cantidad de raíces secundarias y terciarias. Este tipo de raíces secundarias ramificadas no se observa en plantas *in vitro*. Todas las raíces son adventicias, en forma de cordón, flexibles y blancas cuando están recién formadas. Normalmente algunas adquieren luego una coloración café. Las raíces principales más largas miden aproximadamente 30 cm de largo. Las raíces secundarias miden de 2 a 2.5 cm de largo en raíces gruesas y hasta más de 10 cm de largo en raíces más delgadas; las terciarias ocasionalmente sobrepasan en su largo 1 cm.

El estudio anatómico permitió observar que todas las raíces principales son poliarcas. La endodermis es ligeramente cutinizada y con poco engrosamiento. El periciclo es uniseriado y está constituido por células relativamente grandes, de mayor tamaño que las células de la endodermis. En la corteza son evidentes; espacios aeríferos lisígenos que abarcan una longitud radial de 4 a 6 células.

La caliptra es grande. En las células del ápice se observaron gránulos de almidón que posiblemente tienen función de estatolitos. Al provocar una reacción con yodo, macroscópicamente fue posible determinar una zona de coloración azul morada en la punta del ápice. El espesor de la caliptra, a la altura del meristema, es de unas seis hileras de células alargadas y hialinas. El pleroma consta de unas 30 hileras de células a lo ancho y el periblema unas 25 hileras de células, en diferencia con raíces de plantas *in vitro*, donde el periblema y el pleroma están constituidos por menor número de hileras de células.

Morfología y anatomía del corno en fase de aclimatación

El corno desarrolla en la parte superior follaje. Entre las bases foliares circundantes se localiza el punto vegetativo que en plantas con 2 a 3 meses de aclimatación mide aproximadamente 5 mm de diámetro. En plantas con 5 y 6 meses de aclimatación se empiezan a notar yemas que salen opuestas a la axila de la hoja (vaina). Al realizar un corte longitudinal se distingue la corteza y el cilindro central, lo mismo que cicatrices de haces vasculares. Después de realizar este tipo de cortes se evidenció una rápida oxidación de los polifenoles. Cortes transversales permitieron observar una proporción grande de parénquima amiláceo y el recorrido intrincado de los haces vasculares.

Morfología y anatomía de hojas en fase de aclimatación

Hojas de una planta de *Musa* con 15 días de aclimatación presentan todavía una anatomía similar a hojas *in vitro*. Wardle *et al.* (1983) sugirieron que las hojas formadas *in vitro* podrían tener funcionalidad como órganos de reserva. Estos autores encontraron que hojas de plantas precultivadas *in vitro* se desarrollaron lentamente y luego murieron. En contraste, las hojas formadas *ex vitro* se desarrollaron rápidamente. Las hojas de plantas de *Musa* provenientes de cultivo *in vitro* usualmente no mueren, pero tampoco se desarrollan más. A los 7 días aproximadamente se observa la emergencia de la primera hoja producida en condiciones de aclimatación.

En hojas de plantas de *Musa* con dos meses en aclimatación se observó la presencia de gotas de agua de riego sobre el limbo, sugiriendo la presencia de ceras sobre la superficie de la cutícula. Contrariamente a lo observado en hojas *in vitro* la cera epicuticular es más evidente, sobre todo en la cara abaxial. La cera no presenta una forma definida y está distribuida por toda la superficie. En este caso, la cantidad y la estructura de la cera epicuticular le confiere mayor impermeabilidad a la superficie epidérmica. La presencia de cera epicuticular aumentó en forma gradual según la formación de nuevas hojas. Mientras que en hojas de plantas *in vitro* se observaron pequeños depósitos de cera, ésta fue más notoria en plantas en aclimatación. Estudios anteriores (Freeman y Turner, 1985) mostraron que hojas de plantas de *Musa* desarrolladas en el campo, presentaron un 60 % más de cera epicuticular en comparación con hojas de plantas crecidas en invernadero. Además, la forma y la cantidad de cera varió entre representantes con genoma A y B.

La poca cantidad de cera epicuticular observada en hojas de plantas *in vitro* puede deberse a las condiciones de alta humedad relativa y baja intensidad lumínica. Sutter y Langhans (1979) opinaron que, además de la presencia de reguladores de crecimiento en el medio, las altas temperaturas podrían afectar la producción de cera. Sin embargo, no todas las especies muestran reducida cera epicuticular *in vitro* y en estos casos la supervivencia al trasplante no siempre se correlaciona con el aumento de cera *ex vitro*. Los casos de mortalidad posiblemente se deban a una inefectiva función estomática (Sutter y Langhans, 1979).

La falta de cera epicuticular hace que las plantas, después del trasplante, pierdan agua más rápidamente. Sutter y Langhans (1979), señalaron la importancia de la cera epicuticular en hojas de *Vitis vinifera*, donde ésta fue una efectiva barrera para el movimiento del agua a través de la cutícula, previniendo así la desecación.

En plantas de invernadero la cera epicuticular no obstruye estomas, situación que se observa en hojas de plantas en el campo, lo cual podría afectar negativamente al intercambio gaseoso (Freeman y Turner, 1985). La cera se forma a partir de la región periclinal de la cutícula y su síntesis ocurre en las células epidermales, pasando ésta a través de la cutícula hasta su superficie.

En hojas de *Musa* de plantas con tres meses de permanencia en aclimatación, las hojas todavía son de apariencia lanceolada. Internamente se presentan cordones de esclerénquima localizados alrededor de los haces vasculares. El parénquima en empalizada consta normalmente de un estrato de células alargadas seguido de otro, de

células casi isodiamétricas. En el parénquima esponjoso se observan muchos espacios aeríferos. Sin embargo, todavía no se nota una compartimentalización como es el caso en hojas de plantas crecidas en el campo (Sandoval, 1989).

En *Musa* los estomas en su mayoría están orientados en filas longitudinales secuencia basípeta; hay mayor número en el envés que en la haz. En su mayor parte los estomas son funcionales y tienen cuatro células subsidiarias a su alrededor. Los estomas coinciden con una cavidad subestomática en el mesófilo. En hojas formadas después de 3 a 4 meses de trasplante se nota también el inicio de una compartimentalización en el parénquima. Es notoria la presencia de rafidios y éstos aparecen en hojas con 5 meses de aclimatación debajo de las células del parénquima en empalizada (Figura 5).

A los 5 meses es evidente que las células de la hipodermis son mucho más grandes que las de la epidermis correspondiente. Las paredes de las células epidérmicas no son sinuosas. La cutícula está más desarrollada (Figura 5). Esta diferenciación de la cutícula también ha sido mencionada como una característica importante por otros autores en otras especies (Short *et al.*, 1984; Wetzstein y Sommer, 1982).

El parénquima en empalizada consta en algunos casos de dos estratos de células alargadas (cerca de las venas) y en otros de un estrato de células alargadas, seguido por un segundo de células casi isodiamétricas. Tres tipos de haces vasculares pueden distinguirse: primarios, secundarios y terciarios. Los primarios se extienden hasta las epidermis, pero los secundarios y los terciarios no, al tener una capa de células de clorénquima entre el haz y la hipodermis. En los haces vasculares sencillos el esclerénquima se encuentra en menor cantidad que en haces de mayor tamaño. En los primarios, el esclerénquima está muy bien definido, principalmente en el lado adaxial de la hoja y consta de 6 a 12 células. Las cavidades aeríferas en el centro de la hoja son muy pronunciadas y ya se nota un incipiente pulvínulo. Posteriormente dicho pulvínulo se ubica completamente formado a lo largo de la vena central.

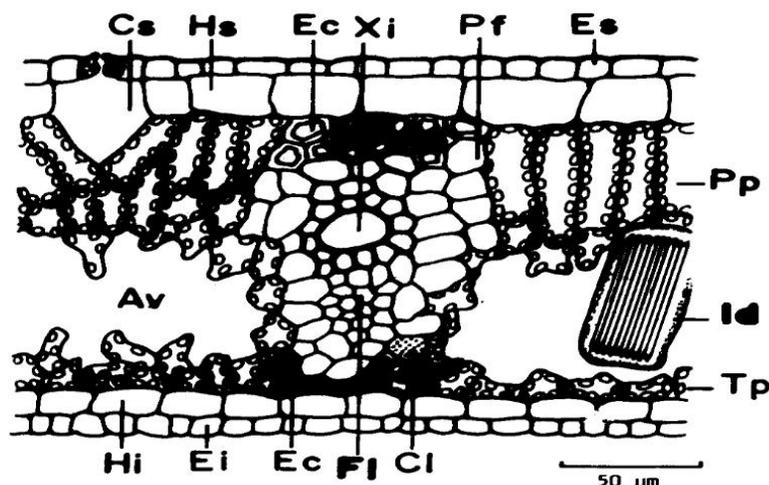


Figura 5. Corte transversal de una hoja en aclimatación con un haz vascular más desarrollado e idioblasto con rafidios. Al: alvéolo. Cl: canal laticífero. Cs: cavidad subestomática. Ei: epidermis inferior. Es: epidermis superior. Ec: esclerenquima. Fl: floema. Hi: hipodermis inferior. Hs: hipodermis superior. Id: idioblasto con rafideos. Pf: parénquima fascicular. Pp: parénquima en empalizada. Tp: tapete de parénquima esponjoso. Xi: xilema. Fuente: Sandoval (1989).

CONCLUSIONES

Las plantas *in vitro* al encontrarse en un cuarto de crecimiento con ambiente controlado (medio de cultivo que suple de nutrimentos y energía, fotoperiodo, temperatura y humedad relativa), hacen que morfológica y anatómicamente sus órganos y tejidos estén presentes y predeterminados, pero son poco o no funcionales. Por tal razón, son factores importantes que considerar, cuando dichos materiales se dispongan a un traslado a condiciones externas en un invernadero o en un vivero.

Durante el período de aclimatación o endurecimiento de las plantas, poco a poco conforme la planta crece y se desarrolla, se van diferenciando anatómicamente sus tejidos y órganos hasta tener la capacidad fisiológica para poder ser trasplantadas a condiciones de campo.

REFERENCIAS

1. Álvarez, A.; Rosales, B. Arredondo, J. 2014. Micropropagación de plantas. M.S.A. Editorial Trillas S. A. 586 p.
2. Brainerd, K.; Fuchigami, L. 1981. Acclimatization of aseptically cultured apple plants to low relative humidity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 106 (4) 515-518.

3. Bruni, A.; Dall'olio, G.; Tosi, B. 1982. Study of the development of raphide forming cells in *Musa paradisiaca* using fluorescence microscopy. *New Phytologist* 92 (4): 581-587.
4. Donnelly, D.; Vidaver, W. (a). 1984. Leaf anatomy of red raspberry transferred from culture to soil. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109:172-176.
5. Donnelly, D.; Vidaver, W. (b). 1984. Pigment content and gas exchange of red raspberry *in vitro* and *ex vitro*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109:177-181.
6. Donnelly, D Vidaver, W.: Lee, K. 1985. The anatomy of tissue cultured red raspberry prior to and after transfer to soil. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 4:43-50.
7. Flores, E. 2013 *La planta estructura y función*; Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 884 p.
8. Freeman, B.; Turner, D.W. 1985. The epicuticular waxes on the organs of different varieties of banana (*Musa* spp.) differ in form, chemistry and concentration. *Australian Journal of Botany*.
9. Govena, M., Hajare, S., Benti, G. 2018. *In vitro* root development system in two popular cultivares of banana. *International Journal of current Microbiology and Applied Sciences*. 7 (1): 3583-3591. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.420>
10. Grout, B.1975. Wax development on leaf surfaces of *Brassica oleracea* var. currawong regenerated from meristem culture. *Plant Science Letters* 5: 401-405.
11. Grout, B.; Aston, M. 1977. Transplanting of cauliflower plants regenerated from meristem culture. I. Waver loss and water transfer related to changes in leaf wax and to xylem regeneration. *Horticultural Resources* 17:1-7.
12. Murashige, T.; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum* 15:473-497.
13. Riopel, J; Steeves, J. 1964. Studies on the roots a. of *Musa acuminata* cv. Gros Michel. 1. the anatomy and development of main roots. *Annals of botany* 28(111): 475-490.
14. Sandoval, J. 1989. Estudio de la anatomía y morfología vegetativas de plantas de *Musa in vitro* en condiciones de aclimatación y en el campo. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Costa Rica. 178 p.
15. Sandoval, J., Müller, L., 1999. Anatomía y morfología de la planta de banano. *CORBANA* 24 (51): 43-60.
16. Sandoval, J., Müller, L., Weberling, F. 1994. Foliar morphology and anatomy of *Musa* cv. Grande Naine (AAA) plants grown *in vitro* and during hardening as compared to field – grown plants. *Fruits* vol 49 (1): 37-46.
17. Short, K; Grout, B; Sumpkins, I. 1984. *In vitro* physiology and acclimatization of aseptically cultured plantlets. In.: *Proceedings Internacional Symposium Plant Tissue and Cell Culture Application to Crop Improvement*. Olomouc. Czechoslovakia (24-29 september). Edited by F.J. Novak, L. Havel, J. Dolezel. Czechoslovak Academy of Sciences. P. 475-486.
18. Skuth, A.F. 1927. Anatomy of leaf of banana, *Musa sapientum* L. var. hort. 'Gros Michel'. *Botanical Gazette* 84:337-339.
19. Soto, M. 2014 *Conceptos básicos. Descripción botánica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. Pp. 45-128.
20. Subrahmanyeswari, T. ; Gantait, S. 2022. Biotechnology of banana (*Musa* spp): multi-dimensional progress and prospect of *in vitro*-mediated system. *Appl Microbiol Biotechnol* 106: 3923-3947. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11973-4>
21. Sutter, E.; Langhans, R. 1979. Epicuticular wax formation on carnation plantlets regenerated from shoot tip culture. *Journal of the American of Society for Horticultural Science* 104 (4): 493-496.

22. Uma, S.; Karhic, R.; Kalpana, S.; Backiyarani, S.; Kumaravel, M.; Saranya, S.; Saraswathi, M.; Durai, P. 2023. An efficient embryogenic cell suspension culture system through secondary somatic embryogenesis and regeneration of true-to-type plants in banana cv. Sabri (silk subgroup AAB). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02570-y>
23. Wardle, K. Dobbs, Short, K. 1983. *In vitro* acclimatization of aseptically cultured plantlets to humidity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108:386-389.
24. Wetzstein, H.; Sommer, H. 1982. Leaf anatomy of tissue cultured *Liquidambar styraciflua* (Hamamelidaceae) during acclimatization. *American Journal of Botany* 69 (10):1579-1586.

Evaluación de volúmenes de fungicidas y un tratamiento de energía UV-C para el control de pudrición de corona en fruta de banano de exportación

Andrés Mauricio Pinzón-Núñez^{1*}; Gloria Marcela Pérez-Ochoa¹; Laura Arango-Palacio²; Sebastián Zapata-Henao¹

¹Centro de investigaciones del banano-Cenibanano. Carepa, Antioquia, Colombia; ²Universidad Politécnica Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Antioquia, Colombia.

*Autor de Correspondencia:
Andrés Mauricio Pinzón-Núñez
andres.pinzonn@unad.com.co

Contribución:
Nota de Investigación

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 diciembre, 2024

Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Pinzón-Núñez AM, Pérez-Ochoa GM, Arango-Palacio L y Zapata-Henao S. 2025. Evaluación de volúmenes de fungicidas y un tratamiento de energía UV-C para el control de pudrición de corona en fruta de banano de exportación. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 2(1): 98 <https://doi.org/10.62498/ARTC.2598>

RESUMEN

El banano es una de las principales frutas de exportación y un pilar fundamental de la economía colombiana. No obstante, aproximadamente el 30% de las pérdidas económicas en postcosecha se deben a problemas fitosanitarios, como la enfermedad de la pudrición de corona. Actualmente, la principal estrategia para el control de enfermedades postcosecha se basa en el uso de moléculas de síntesis química. Sin embargo, no existen fundamentos técnicos sólidos sobre los volúmenes habitualmente utilizados en las cabinas de aspersión o cámaras foggi. Además, las restricciones regulatorias sobre el uso de ciertas moléculas limitan las estrategias disponibles para su manejo, lo que resalta la necesidad de explorar nuevas alternativas. En este contexto, el presente proyecto evaluó el efecto de diferentes volúmenes de fungicidas (150, 120, 90 y 60 cc) y la dosis de energía 40 J m⁻² de UV-C sobre la calidad de la fruta, inoculada artificial y naturalmente con los agentes causales de la pudrición de corona *Fusarium musae* y *Colletotrichum* sp., a una concentración de 5x10⁵ esporas mL⁻¹ cada una. Los resultados mostraron que, en los tratamientos inoculados artificialmente con la suspensión fúngica y bajo diferentes volúmenes de mezcla, no hubo diferencias estadísticamente significativas para las fincas evaluadas. En cuanto a la dosis de energía UV-C, no se observó un control eficiente en comparación con los demás tratamientos.

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

ABSTRACT

Bananas are one of the main export fruits and a fundamental pillar of the national economy. However, approximately 30% of post-harvest economic losses are due to phytosanitary problems, such as crown rot disease. Currently, the main strategy for the control of postharvest diseases is based on the use of chemically synthesized molecules. However, there is no sound technical basis for the volumes commonly used in spray booths or foggi chambers. In addition, regulatory restrictions on the use of certain molecules limit the available strategies for their management, highlighting the need to explore new alternatives. In this context, the present project evaluated the effect of different fungicide volumes (150, 120, 90 and 60 cc) and the energy dose 40 J m⁻² of UV-C on fruit quality, artificially and naturally inoculated with the



causal agents of crown rot *Fusarium* sp. and *Colletotrichum* sp. at a concentration of 5×10^5 spores mL^{-1} , respectively. The results showed that, in the treatments artificially inoculated with the fungal suspension and under different mixing volumes, there were no statistically significant differences for the farms evaluated. As for the UV-C energy dose, no efficient control was observed compared to the other treatments.

Keywords: Postharvest, Musaceae, Regulations, *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp.

INTRODUCCIÓN

Las principales limitaciones en el rendimiento productivo del cultivo de banano están relacionadas con las enfermedades fitosanitarias en pre cosecha; sin embargo, durante la comercialización, el fruto se ve afectado por factores bióticos y abióticos, como las altas precipitaciones y un manejo inadecuado en las actividades periódicas de transporte, empaque y almacenamiento (Sangeetha *et al.*, 2010; Lassois y Lapeyre, 2014). Estos factores provocan pérdidas que oscilan entre el 10 % y el 80 % (FAO, 2019). En este contexto, la pudrición de corona es una de las enfermedades postcosecha que ha generado mayores pérdidas económicas, alcanzando hasta el 30 % (Aguilar-Ancota *et al.*, 2013). Esta situación se debe principalmente a los agentes patógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., que son los prevalentes en la subregión del Urabá Antioqueño (Henaó-Ortiz, 2016).

Actualmente, se emplean diversos ingredientes activos de fungicidas, principalmente, Azoxystrobin y Tiabendazol para el control de enfermedades postcosecha en el cultivo de banano. Para el caso de la región del Urabá, los sistemas de aspersión de fungicidas o cámaras foggi, son sistemas que están implementados en la totalidad de las fincas de banano de exportación. Los volúmenes que son asperjados en dichos sistemas corresponden a 150 cc en mezcla por bandeja, lo que garantiza un control eficiente. Sin embargo, se desconoce cómo fue definido este volumen, lo que podría sugerir que utilizando menos volumen de mezcla probablemente se pueda obtener igual control. Por otra parte, las restricciones impuestas por la Unión Europea, principal destino de más del 70 % de la fruta exportada por Colombia, han planteado nuevos desafíos, especialmente en lo que respecta a la reducción de la carga química, en particular de productos aplicados en la fase final de la cadena de producción. Estos productos tienden a dejar altas trazas de ingredientes activos en la fruta. En ese contexto, el objetivo del presente ensayo fue evaluar diferentes volúmenes de mezclas de fungicidas, inferiores a los comúnmente utilizados en las fincas productoras de banano de exportación del Urabá Antioqueño, así como también, probar la dosis de 40

J m⁻² de energía UV-C, definida previamente en otros ensayos, bajo condiciones naturales e inoculación artificial de agentes causales de la pudrición de corona.

Material vegetal. Los ensayos se llevaron a cabo en dos fincas de la región de Urabá, denominadas finca 1 y finca 2, ubicadas en los municipios de Carepa y Apartadó, respectivamente. Se utilizaron racimos de banano (*Musa* AAA) Cavendish de 11 semanas de crecimiento, cosechados bajo los parámetros estándar para fruta premium y fruta de segunda. Los clústeres fueron previamente depositados en el tanque de desmane y desleche con una solución al 1 % de piedra de alumbre y luego separados antes de la aplicación del tratamiento postcosecha, con el fin de asegurar la aplicación controlada de los productos.

Preparación de suspensiones fúngicas. Los aislados fúngicos *Colletotrichum* sp. y *Fusarium musae* sp., agentes causales de la enfermedad de pudrición de corona fueron obtenidos del cepario de hongos de CENIBANANO. Cada hongo se cultivó en placas Petri en Agar Papa Dextrosa (PDA), suplementado con 150 ppm de sulfato de estreptomina (SE) (Abd-Alla *et al.*, 2014). Las placas se incubaron a 30 °C durante 5 días. Al término de este periodo se prepararon las suspensiones fúngicas con una concentración de 5 x 10⁵ esporas mL⁻¹ de cada microorganismo, utilizando un hematocimetro (Neubauer, Alemania) para medir y ajustar las concentraciones. Posteriormente, se mezclaron las cepas con el objetivo de alcanzar una concentración final de 1 x 10⁶ esporas mL⁻¹.

Evaluación de volúmenes de fungicida y exposición a energía UV-C sobre las suspensiones fúngicas inoculadas artificialmente. Los volúmenes de mezcla de los ingredientes activos Azoxystrobin y Tiabendazol evaluados fueron: 60, 90, 120 y 150 cc, en concentraciones de 300 y 396 ppm respectivamente, los cuales fueron aplicados con bomba manual, siendo este último el volumen convencionalmente utilizado en las cámaras foggi, el cual se consideró como el control positivo (T4). La emisión de energía empleada fue de 40 J m⁻² (T5), utilizando un prototipo desarrollado por Cenibanano en estudios previos. Las bandejas con los clústeres fueron expuestas durante 5 segundos, lo que garantizó la emisión de energía requerida. Los tratamientos se agruparon en dos grupos, bajo el mismo diseño experimental: un primer grupo sin inoculación del patógeno (condiciones de inóculo natural de la finca) y un segundo grupo con inoculación artificial del patógeno. En este último grupo, cada clúster fue inoculado en la corona con 200 µL de la suspensión fúngica antes de la aplicación de los tratamientos. El tratamiento T11 correspondió al control negativo (-), en el cual la fruta se inoculó con la suspensión fúngica sin recibir ningún tratamiento adicional.

Además, se incluyó un control absoluto (T12) en el que se asperjó agua. Los detalles de los tratamientos se encuentran en la Cuadro 1. La aspersión de los tratamientos se realizó mediante una bomba calibrada, con capacidad de 1.5 L.

Variables respuestas. Los tratamientos fueron almacenados en cava con temperatura controlada simulando el transporte. Se realizaron dos evaluaciones: la primera, en estado de "vida verde", a los 16 días de haber ingresado a la cava, y la segunda, en estado de maduración, a los 5 días posteriores a la aplicación de etileno. El grado de daño se evaluó utilizando la escala propuesta por Alvindia (2012), y se cuantificó el índice de severidad.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en coronas de banano Cavendish

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

(IAP) Inoculación Artificial del Patógeno; (I) Intermitente; A + T) Azoxistrobin + Tiabendazol; (-) Control Negativo

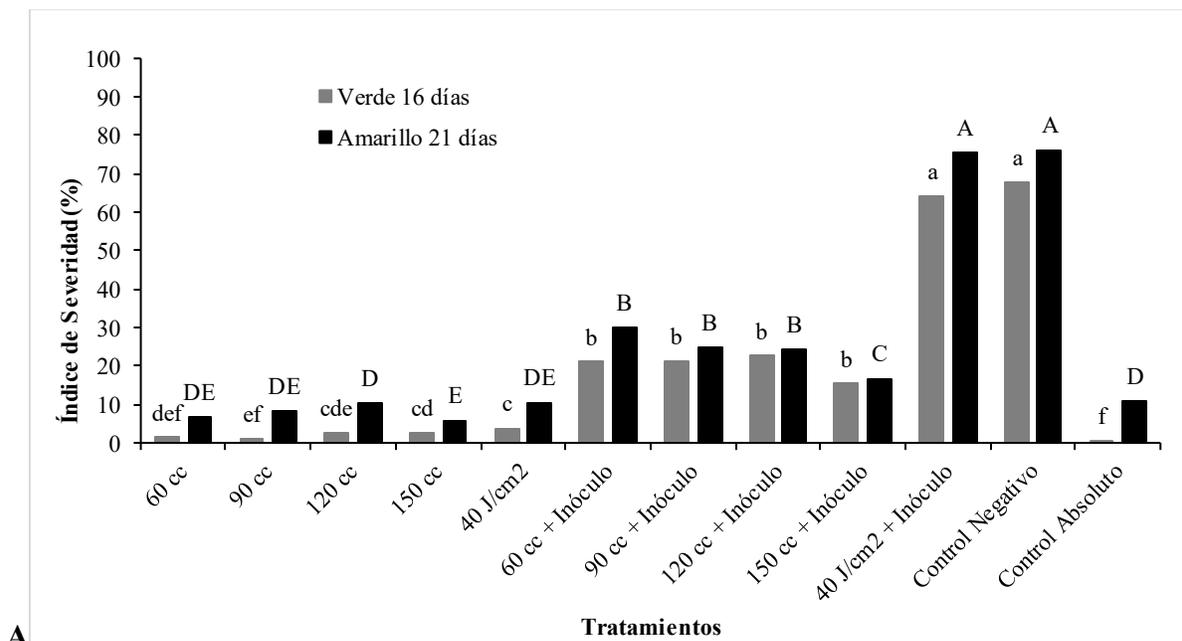
Diseño experimental. Para la evaluación de los volúmenes en cada finca, cada tratamiento consistió en cinco repeticiones, representadas por cajas que contenían 17 clúster de banano, lo que sumo un total de 60 cajas y 1020 pseudorepeticiones. El diseño experimental fue completamente aleatorio, y los resultados se analizaron utilizando el software y lenguaje de programación R project (versión 4.0.5, R coreteam, 2021). Dado que no se cumplieron los supuestos de normalidad, se emplearon pruebas no paramétricas para el análisis de los datos. Los análisis se realizaron mediante la prueba de *Kruskal-Wallis*, con un nivel de significancia de $p = 0.05$.

En el ensayo realizado en la finca 2, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos inoculados con la suspensión fúngica y tratados con los diferentes volúmenes de fungicidas en estado de vida verde. Por su parte en estado de maduración el tratamiento con 150 cc mostró un mayor control respecto a los otros volúmenes aplicados (Figura 1). Por otro lado, los tratamientos en los que no se realizó inoculación artificial mostraron un comportamiento similar al del control absoluto, lo que indica una baja presión del patógeno en las condiciones naturales del campo.

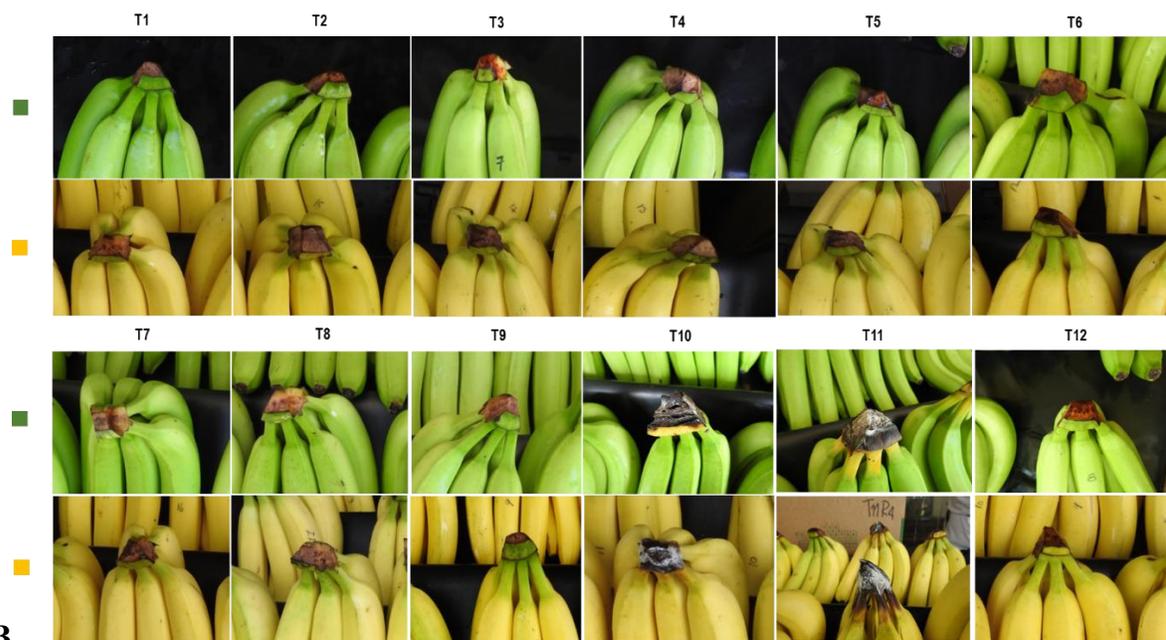
Por otra parte, los resultados obtenidos en el ensayo realizado en la finca 1 fueron consistentes con los de la finca 2. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos inoculados artificialmente con la suspensión fúngica en comparación con el tratamiento control absoluto (Figura 2). Asimismo, se corroboró una baja presión del inóculo bajo las condiciones naturales del campo.

Se observó que la presión de inóculo en condiciones naturales es mínima, lo que hace necesario realizar el ensayo durante épocas en las que históricamente se presenta mayor presión de los patógenos.

Se recomienda diseñar un nuevo ensayo calibrando las cámaras foggi para los diferentes volúmenes evaluados y bajo la misma presión del patógeno. Además, sería pertinente realizar un estudio que incluya el envío de contenedores a diferentes destinos, con el fin de evaluar el impacto distintos tiempos de transporte y las variaciones en las condiciones de refrigeración de contenedores durante el transporte.



A



B

Figura 1 A. Índice de severidad en vida verde y amarillo de clústeres de banano tratados con diferentes volúmenes de mezcla de fungicida y dosis de energía UV-C, con y sin inoculación artificial de los agentes causales de la pudrición de corona en la finca 2. Las letras diferentes en mayúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en amarillo 21 días). Las letras diferentes en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en verde 16 días) **B.** Imágenes de las coronas de los clústeres evaluados a los 16 días (verde) y a los 21 días (amarillo) después de la aplicación de los tratamientos.

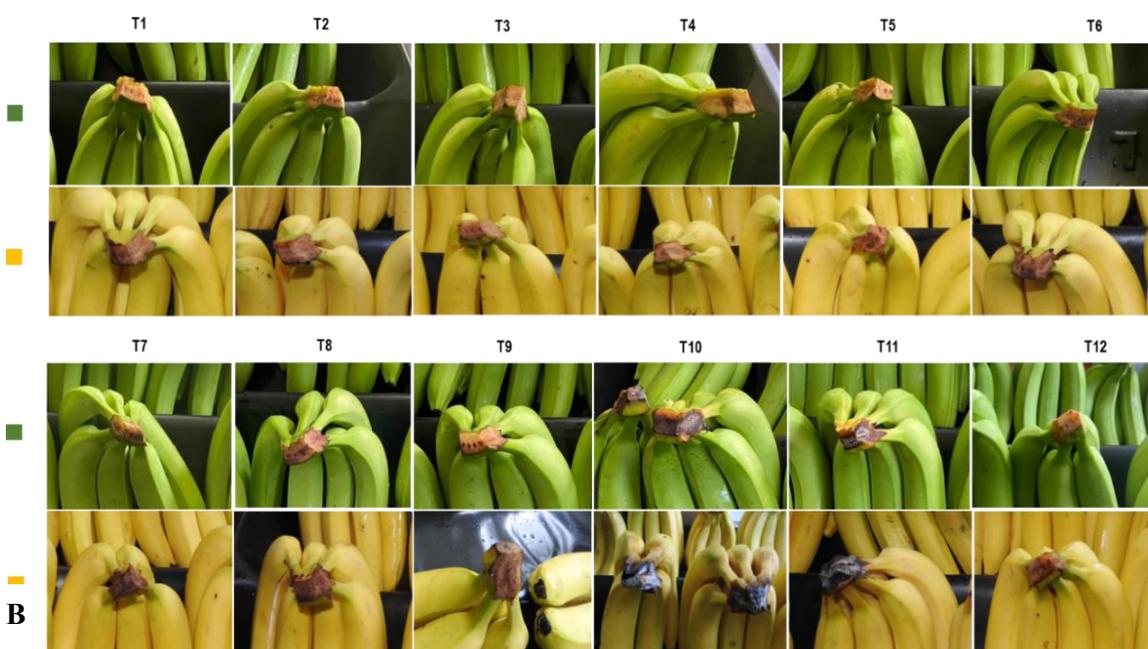
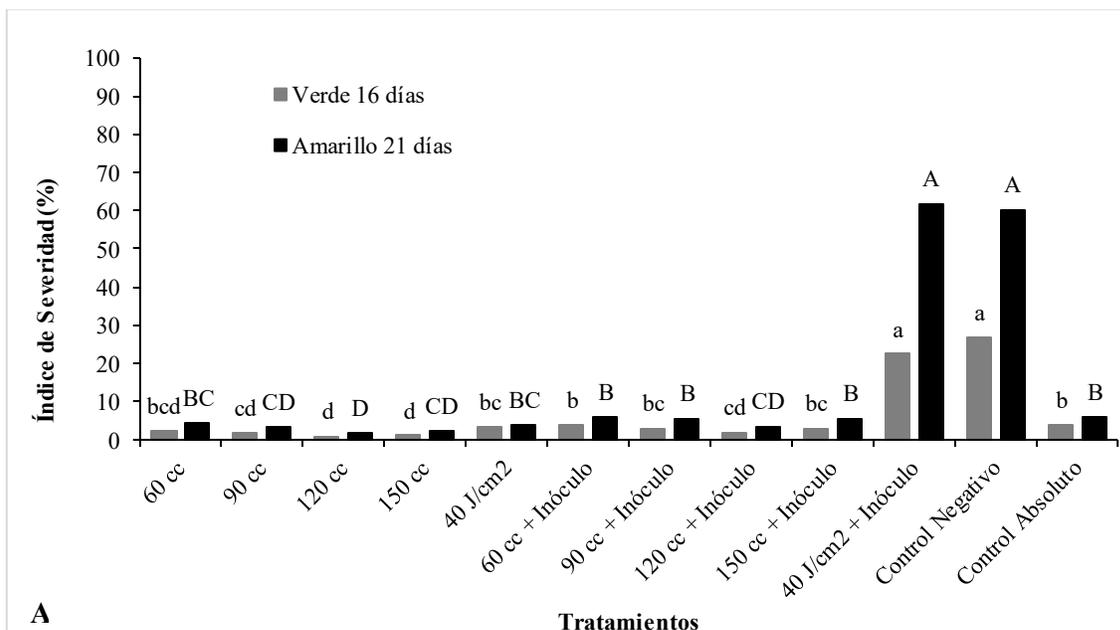


Figura 2 A. Índice de severidad en vida verde y amarillo de clústeres de banano tratados con diferentes volúmenes de mezcla de fungicida y dosis de energía UV-C, con y sin inoculación artificial de los agentes causales de la pudrición de corona en la finca 1. Las letras diferentes en mayúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en amarillo 21 días). Las letras diferentes en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas (evaluación en verde 16 días) **B.** Fotos correspondientes a las coronas de los clústeres evaluados a los 16 días (verde) y a los 21 días (amarillo) después de la aplicación de los tratamientos.

CONCLUSIONES

En los tratamientos en los que se inocularon artificialmente los patógenos, utilizando diferentes volúmenes de mezcla, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la finca 2 en vida verde. En el caso de la finca 1, el tratamiento de 120 cc mostró un mejor control tanto en el estado verde como en amarillo. Sin embargo, los tratamientos de 60 y 90 cc no presentaron diferencias comparado con el tratamiento de 150 cc. En cuanto al tratamiento con dosis de energía UV-C (40 J/cm²), no se observó un control eficaz en comparación con los otros tratamientos.

REFERENCIAS

1. 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. Doi 10.5943/ppq/4/1/1
2. Aguilar Ancocota, R., García Raymundo, R. B., Dulanto Bejarano, J. A., & Maldonado Duque, E. A. 2013. Hongos asociados a la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico (*Musa* spp. L.) en Piura, Perú. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 4(1): p. 81. <https://doi.org/10.22490/21456453.983>.
3. Alvindia, D. G. 2012. Revisiting hot water treatments in controlling crown rot of banana cv. Buñulan. *Crop Protection*, 33:59–64. Doi:10.1016/j.cropro.2011.09.023.
4. FAO. 2019. Food Outlook-Biannual Report on Global Food Markets. Rome. <http://www.fao.org/3/ca6911en/ca6911en.pdf>. Consulta el 26 November 2020.
5. Henao-Ortiz, A. 2016. Recopilado de boletines publicados por la Asociación bananeros de Colombia, AUGURA. (2021).
6. 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.
7. Sangeetha, G., Usharani, S., & Muthukumar, A. 2010. Significance of *Lasiodyplodia 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.

Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. con actividad antagónica contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 en la región de Urabá, Colombia

Kelly Maryori Ortiz Quintero¹, Andrés Mauricio Pinzón Núñez^{2*}, Gloria Marcela Pérez Ochoa², Laura Arango Palacio¹, Sebastián Zapata Henao²

¹Universidad Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Antioquia, Colombia; ²Centro de investigaciones del banano-Cenibanano. Carepa, Antioquia, Colombia.

*Autor de Correspondencia:
Andrés Mauricio Pinzón-Núñez
andres.pinzonn@unad.com.co

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 diciembre, 2024
Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Ortiz QKM, Pinzón NAM,
Pérez OGM, Arango PL y
Zapata HS. 2025. Evaluación
de cepas de *Trichoderma* spp.
con actividad antagónica contra
Fusarium oxysporum f. sp.
cubense Raza 1 en la región de
Urabá, Colombia. *Acorbat*
Revista de Tecnología y
Ciencia 2(1): 99
<https://doi.org/10.62498/ARTC.2599>

RESUMEN

El banano es una de las frutas tropicales más consumidas y comercializadas a nivel mundial. No obstante, su producción enfrenta una grave amenaza debido a la marchitez vascular, una enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), considerada la más devastadora en la historia del cultivo de banano. Este hongo posee una alta variabilidad genética, lo que ha dado lugar a la aparición de diversas razas fisiológicas que afectan a diferentes cultivares de banano. En particular, la llegada de la raza 4 tropical (R4T) a América Latina ha generado gran preocupación, ya que se trata de una de las razas más destructivas, debido a su amplio rango de hospederos y a la falta de medidas eficaces para su erradicación. Esto ha impulsado la implementación de diversas estrategias para contener la enfermedad en las zonas afectadas y prevenir su expansión a regiones libres. Actualmente, las investigaciones se enfocan en el desarrollo de cultivares resistentes y en la aplicación de estrategias biológicas, como el uso de microorganismos antagonistas. En este sentido, *Trichoderma* spp., un hongo cosmopolita, se presenta como uno de los microorganismos más prometedores, debido a su capacidad para actuar mediante diversos mecanismos. El objetivo de este estudio fue evaluar cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas de una finca en la región de Urabá, Colombia, con actividad antagónica frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 (Foc R1), utilizándola como modelo para estudiar su efectividad contra Foc R4T. Los resultados obtenidos demostraron que la cepa TM5L12, aislada del suelo, presentó la mayor actividad antagonista en comparación con las otras cepas.

Palabras clave: Banano, marchitez por *Fusarium*, control biológico, *Trichoderma*, antagonismo

ABSTRACT

Bananas are one of the most consumed and marketed tropical fruits worldwide. However, its production faces a serious threat due to vascular wilt, a disease caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), considered the most devastating in the history of banana cultivation. This fungus possesses high genetic variability, which has led to the emergence of various physiological races that affect different banana cultivars. In particular, the arrival of tropical race 4 (R4T) in Latin America has generated great concern, as it is one of the most



destructive races due to its wide host range and the lack of effective measures for its eradication. This has driven the implementation of various strategies to contain the disease in the affected areas and prevent its spread to free regions. Currently, research is focused on the development of resistant cultivars and the application of biological strategies, such as the use of antagonistic microorganisms. In this sense, *Trichoderma* spp., a cosmopolitan fungus, emerges as one of the most promising microorganisms due to its ability to act through various mechanisms. The objective of this study was to evaluate native strains of *Trichoderma* spp. isolated from a farm in the Urabá region of Colombia, with antagonistic activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Race 1 (Foc R1), using it as a model to study its effectiveness against Foc R4T. The results obtained demonstrated that the TM5L12 strain, isolated from the soil, exhibited the highest antagonistic activity compared to the other strains.

Keywords: Banana, Fusarium wilt, biological control, *Trichoderma*, antagonism

INTRODUCCIÓN

El banano ocupa una posición importante entre los cultivos de mayor relevancia a nivel mundial, junto con el arroz, el trigo y el maíz (Perrier *et al.*, 2011). Colombia es el quinto país con mayor volumen de exportación, lo que convierte al banano en uno de los pilares de su economía. Sin embargo, diversas plagas y enfermedades son los principales factores que limitan su productividad. En ese contexto, la marchitez causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc), un habitante natural del suelo, ha sido la enfermedad más devastadora para la agroindustria bananera hasta la fecha (Catambacan y Cumagun, 2021). Además, este hongo presenta una alta variabilidad genética, producto de procesos evolutivos, lo que ha dado lugar a la aparición de distintas razas fisiológicas, que afectan a diversos cultivares de banano de importancia económica y social. A esto se suma la fácil diseminación de sus estructuras reproductivas, como microconidios, macroconidios y clamidosporas, así mismo, el limitado conocimiento sobre la epidemiología de la enfermedad y la escasez de alternativas de manejo, lo que dificulta aún más su control (Munhoz *et al.*, 2024).

Fusarium oxysporum f.sp. *ubense* raza 4 tropical (Foc R4T) está distribuido a nivel mundial, y su primer caso en América fue reportado en 2019 en Colombia. Posteriormente, se detectó en Perú en 2021 y en Venezuela en 2023. Este brote ha generado gran preocupación en la industria bananera y ha activado diversas estrategias de control y prevención. En este sentido, las investigaciones están enfocadas en obtener material vegetal resistente y en la implementación de estrategias biológicas, mediante

el uso de microorganismos con actividad antagonista, lo cual constituye una alternativa clave en el manejo de la enfermedad (Munhoz *et al.*, 2024).

Los microorganismos benéficos no solo actúan de manera directa sobre el patógeno, sino que también influyen en las condiciones del suelo, interactuando con la microbiota de la rizosfera y generando suelos supresivos frente a *Foc* R4T (Damodaran *et al.*, 2020). Entre los microorganismos más prometedores se encuentra *Trichoderma* spp., un hongo cosmopolita ampliamente estudiado que ha demostrado diversos mecanismos de acción, como micoparasitismo, producción de enzimas que degradan las paredes fúngicas, promoción del crecimiento vegetal y la generación de metabolitos secundarios y compuestos volátiles (Qian *et al.*, 2019; Sánchez-Espinosa *et al.*, 2020). El objetivo de este estudio fue el aislamiento y la caracterización de cepas nativas de *Trichoderma* spp. provenientes de la región de Urabá, la principal zona exportadora de banano en Colombia, con potencial antagonico frente a *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raza 1. El propósito es que esta raza sirva como modelo biológico de investigación y que los resultados se puedan extrapolar a la R4T.

MATERIALES Y MÉTODOS

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 de Urabá, Antioquia (7° 49'25" N 76 ° 38'55" W). En este sitio, se recolectaron muestras de suelo y se distribuyeron trampas de arroz con el fin aislar cepas de *Trichoderma* spp., a partir del sustrato colonizado. Cada uno de los puntos de muestreo fue georreferenciado mediante un GPS (Garmin GPSMAP 66i) (Figura 1).

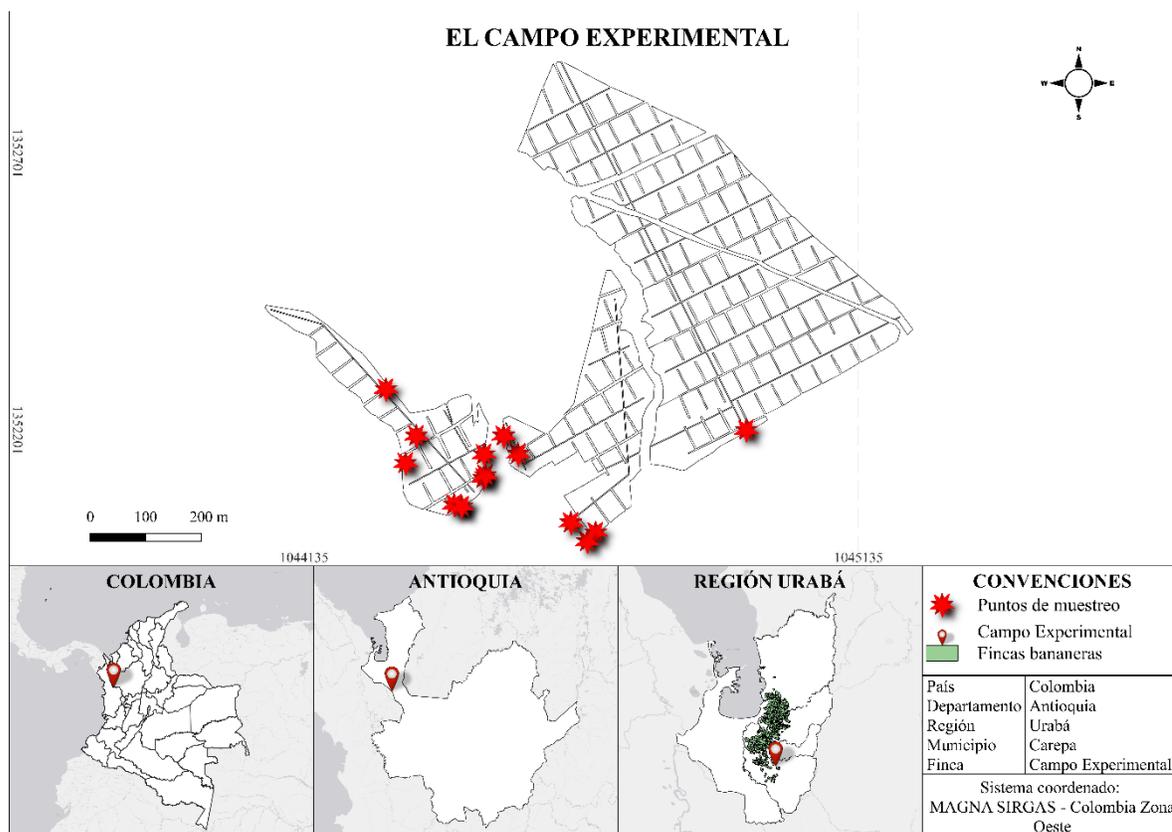


Figura 1. Mapa del campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado en la subregión del Urabá-Antioquia. Los asteriscos en rojo indican la disposición de las trampas de arroz. Los puntos verdes indican las muestras de suelo.

Cepa de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (*Foc*)

Cabe señalar que, debido a las restricciones y al alto riesgo que implica trabajar con la cepa de *Foc* R4T en la región de Urabá, zona declarada libre del patógeno, la presente investigación se llevó a cabo utilizando como modelo biológico una cepa de *Foc* R1, codificada como IB, que forma parte de la colección de hongos del laboratorio de CENIBANANO. Esta cepa fue 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. 76°41'25" W), que tiene un historial de 12 años de presencia de *Foc* R1. Los aislamientos fueron conservados previamente mediante el método de papel filtro. Para su reactivación, se colocó un trozo del papel colonizado en el centro de una caja Petri con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) (Difco™, Becton, Dickinson and company), suplementado con cloranfenicol (Colmed

international ®) a una concentración de 150 ppm para prevenir la contaminación bacteriana. La incubación se realizó durante 7 días a 27 °C.

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

Las muestras de suelo fueron recolectadas de un cultivo establecido de banano Cavendish, en los lotes 7, 8, 9, 11 y 12 del campo experimental, seleccionados según criterios de vigor de las plantas, productividad y proximidad a bosques nativos circundantes. También se muestrearon lotes afectados por otras enfermedades y expuestos a fumigación aérea para el control de la sigatoka negra. Los muestreos se realizaron utilizando un barreno, tomando muestras a 10 cm de profundidad y en la capa superficial del suelo, para un total de 12 muestras. Cada muestra fue depositada en tubos Falcon de 50 mL, debidamente marcados con la identificación del lote muestreado. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de CENIBANANO, donde fueron tamizadas para eliminar partículas de mayor tamaño. A continuación, se pesó 1 g de suelo por muestra y se suspendió en 9 mL de agua destilada estéril (ADE). De esta solución madre se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-5} . Luego, se tomaron 100 μ L de las diluciones 10^{-1} , 10^{-3} y 10^{-5} para sembrarlas en medio PDA (Figura 2), suplementado con cloranfenicol a una concentración de 100 ppm para evitar la contaminación bacteriana. Las cajas Petri fueron incubadas durante 7 días a 27 °C, realizando tres réplicas por dilución para cada muestra de suelo.

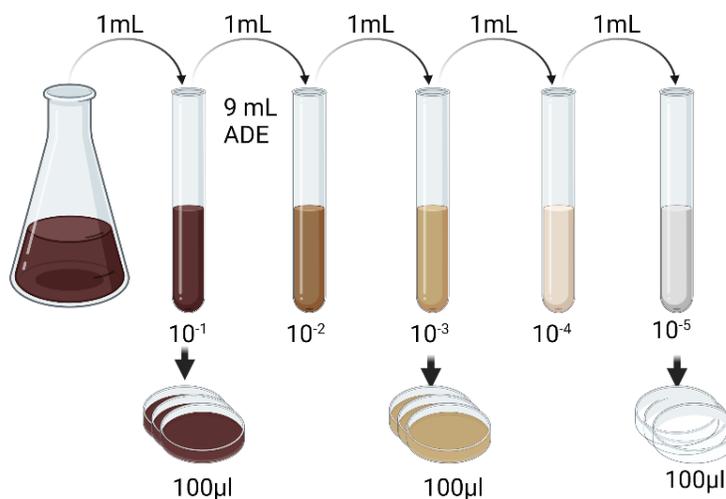


Figura 2. Diluciones seriadas a partir de muestras de suelo.

Transcurrido 5 días se observó el crecimiento presente en las cajas Petri. Se identificaron posibles colonias con características morfológicas de *Trichoderma* spp., como tonalidad verde esmeralda y un olor característico, similar al anisado o al coco. A continuación, se procedió a realizar la purificación de las cepas mediante cultivo monospórico.

Aislamiento de *Trichoderma* spp. a partir de trampas de arroz

Las trampas fueron distribuidas de acuerdo con los criterios previamente mencionados. Para preparar las trampas, en primer lugar, se lavó el arroz tres veces con ADE para hidratarlo. Luego, se calentó agua y se añadió el arroz, que se cocinó durante 20 min, posteriormente, se extrajo y se dejó secar en papel absorbente por 30 min. A continuación, se depositaron 100 gramos de arroz en bandejas de aluminio estéril, los cuales fueron sellados con una capa de gasa. Durante el recorrido, los recipientes se colocaron boca abajo a una profundidad de 10 cm en el suelo, cubriéndose posteriormente con el mismo suelo y residuos vegetales. Estos sitios se marcaron con una banderilla roja (Figura 3).

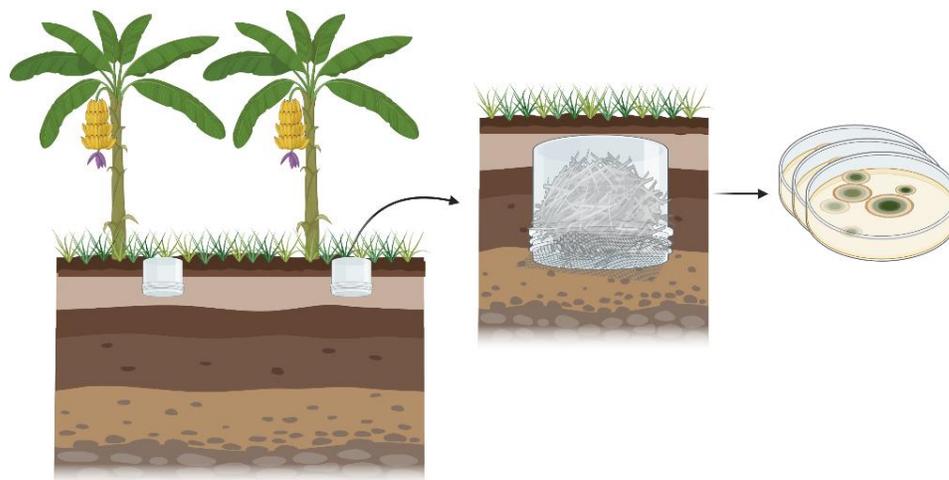


Figura 3. Disposición de trampas para la captura de microorganismos a partir de sustrato de arroz.

Transcurridos ocho días, se procedió a la recolección de las trampas, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su procesamiento y posterior aislamiento. En

primer lugar, se seleccionaron los granos de arroz que presentaban esporulación de color verde esmeralda, los cuales fueron sembrados en medio PDA e incubados durante cinco días a 27 °C. Posteriormente, se seleccionaron las colonias que mostraban características morfológicas similares a las reportadas por Manoharachary *et al.*, (2020), y estas fueron transferidas a nuevas cajas con medio PDA. Tras cinco días adicionales de incubación, se realizó la purificación de las cepas mediante un cultivo monospórico.

Prueba de antagonismo

Para evaluar el antagonismo, se realizaron enfrentamientos duales. En un extremo de cada placa Petri se sembró un disco del biocontrolador y, en el extremo opuesto, un disco del patógeno (*Foc R1*), de manera que ambos discos quedaran a una distancia de 1 cm de los bordes, tal como se muestra Figura 4.

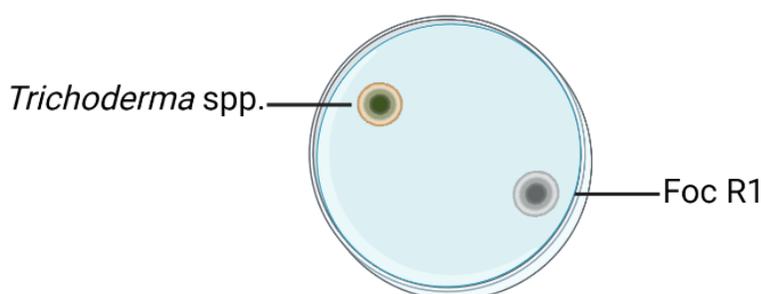


Figura 4. Descripción ilustrativa de prueba de antagonismo *Trichoderma* spp. vs *Foc R1* mediante enfrentamiento dual.

La evaluación del antagonismo consistió en medir el diámetro de crecimiento tanto del antagonista como del patógeno, y calcular el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) utilizando la fórmula de Worasatit *et al.* (1994):

$$PICR = \left[\frac{D_i - D_{ii}}{D_i} \right] * 100$$

Donde:

D_i - Diámetro de la colonia del patógeno libre de antagonista.

D_{ii} - Diámetro de la colonia del patógeno enfrentada con la cepa antagonista.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando un diseño completamente al azar, 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, utilizando la librería stats del software libre R (versión 4.2.2) (R Core Team, 2022). Además, se aplicó la metodología LSD de Fisher para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un total de siete cepas de *Trichoderma* spp., a partir de los diferentes lotes muestreados, de las cuales tres fueron aisladas de muestras de suelo y cuatro de trampas de arroz (Cuadro 1). Los aislados fueron purificados y caracterizados morfológicamente. Inicialmente, presentaron un micelio de color blanco uniforme y esponjoso que posteriormente adoptó una tonalidad verde esmeralda. Además, las colonias presentaron un aroma anisado y a coco característico de algunas especies. En la identificación microscópica, se observó un micelio septado, conidióforos ramificados perpendiculares, fiálides largas y delgadas, conidios citriformes y subglobosos, así como clamidosporas, características que corresponden al género *Trichoderma* según la descripción de Manoharachary *et al.* (2020) (Figura 5).

Cuadro 1. Codificación de las cepas nativas aisladas indicando lote y tipo de muestra.

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

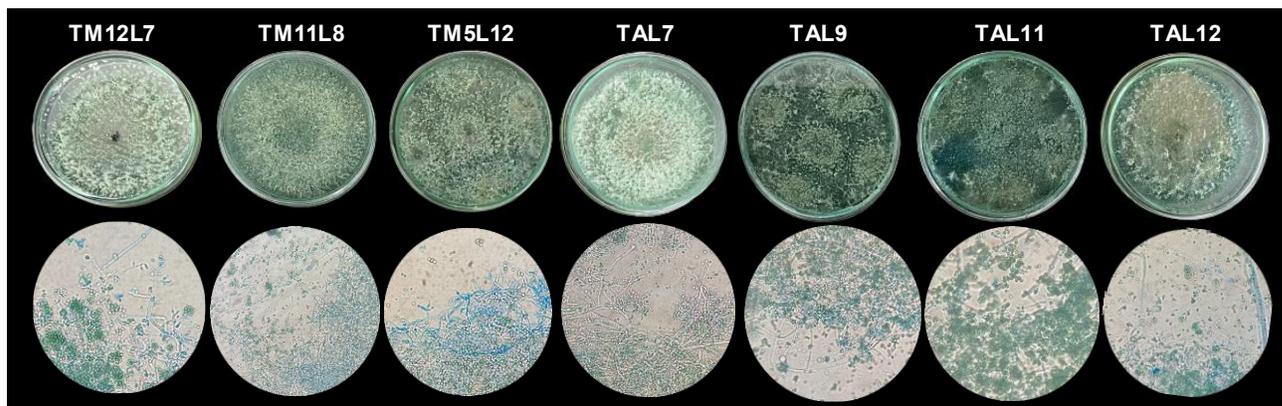


Figura 5. Registro fotográfico de las 7 cepas nativas aisladas de *Trichoderma* spp. caracterizadas macroscópica y microscópicamente.

En relación a las pruebas de antagonismo realizadas con las 7 cepas obtenidas, se observó que todas las cepas evaluadas presentaron un grado variable 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).

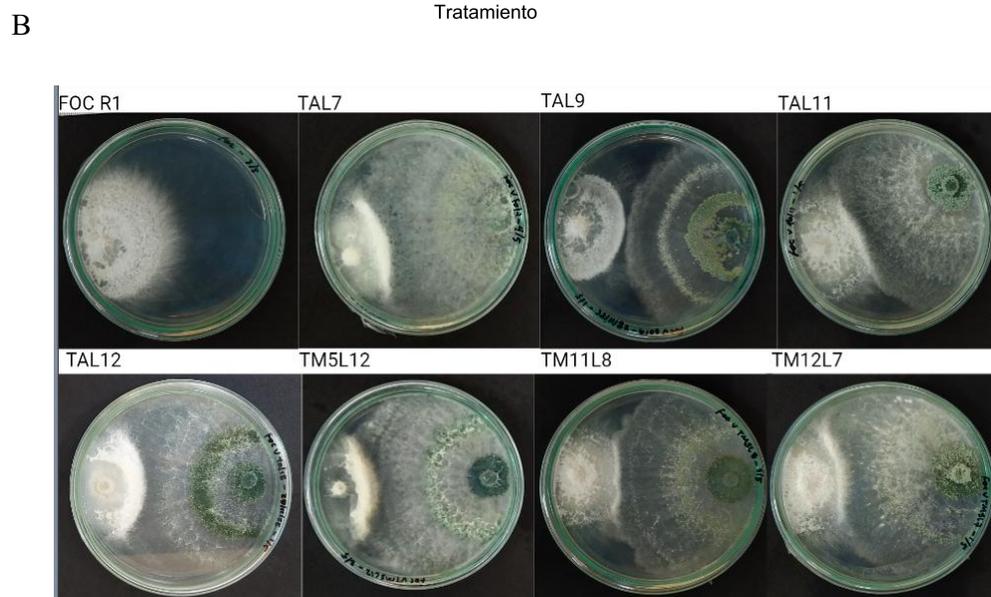
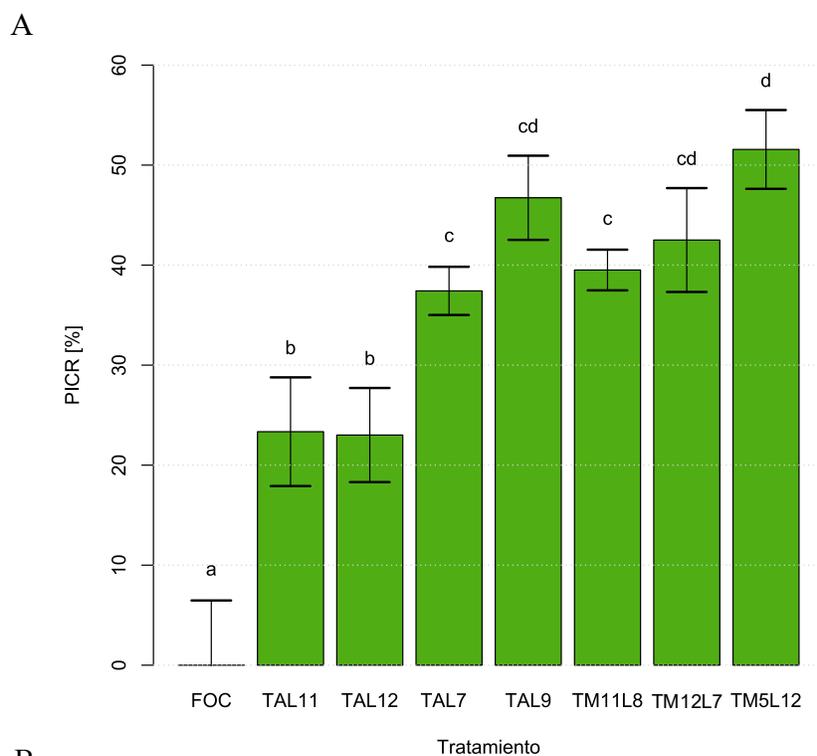


Figura 6. A Inhibición del crecimiento radial (PICR), expresada en porcentaje de las cepas nativas aisladas del campo experimental frente a *Foc R1*. Los valores presentados corresponden a la media \pm SD. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, con un valor $p < 0.01$. **B** Registro fotográfico de los enfrentamientos duales entre las cepas de *Trichoderma* spp. y *Foc R1*.

Las relaciones y sinergias entre los organismos del suelo han sido clave para el desarrollo de estrategias efectivas para el control de enfermedades causadas por fitopatógenos. Muchos microorganismos poseen las capacidades de actuar como controladores biológicos, suprimiendo el desarrollo de los patógenos mediante la producción de compuestos volátiles, metabolitos secundarios, enzimas y la competencia por espacio y nutrientes, lo que crea un ambiente hostil para el patógeno. En este contexto, el control biológico ha cobrado gran relevancia en los últimos años, especialmente en sistemas de cultivo como el del banano, donde se ha trabajado con *Trichoderma* spp, un género de hongos que es habitante natural del suelo y reconocido como uno de los mejores agentes de control biológico (Bubici *et al.*, 2019).

La capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. está ampliamente documentada. Al ser un hongo nativo del suelo, tiene la capacidad proteger las plantas y se ha considerado una alternativa eficaz para el control de enfermedades (Sánchez-Espinosa *et al.*, 2020). Su acción antagónica se basa en el micoparasitismo (Papavizas, 1985; Harman y Kubicek, 2014), debido a su capacidad para generar enzimas que degradan las paredes fúngicas, como quitinasas, glucanasas y proteasas (Qian *et al.*, 2019). Además, *Trichoderma* spp. produce compuestos orgánicos volátiles y antimicrobianos, y actúa indirectamente al inducir la respuesta de defensa de la planta (Bubici *et al.*, 2019; Sudantha, 2021). En ese contexto, la obtención de cepas nativas de *Trichoderma* spp. de plantaciones de banano con potencial antagónico permitirá la evaluación tanto en condiciones de invernadero, como en campo, y facilitará el estudio de las interacciones entre los agentes de biocontrol y los patógenos, así como su impacto en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Por otro lado, al analizar el diámetro radial de *Foc* R1 sin antagonista y en confrontación con las cepas nativas de *Trichoderma* spp., se observó que las cepas con mayor inhibición del crecimiento de *Foc* R1 fueron TM5L12, TAL9 y TM12L7, con porcentajes de 48, 53 y 57 %, respectivamente. Estas fueron seguidas por la cepa TM11L8 (60 %), TAL7 (62 %), TAL11 (76 %) y TAL12 (77 %). Estos resultados coinciden con el análisis inicial, donde la cepa TM5L12 mostró el mejor desempeño frente a *Foc* R1 (Figura 7).

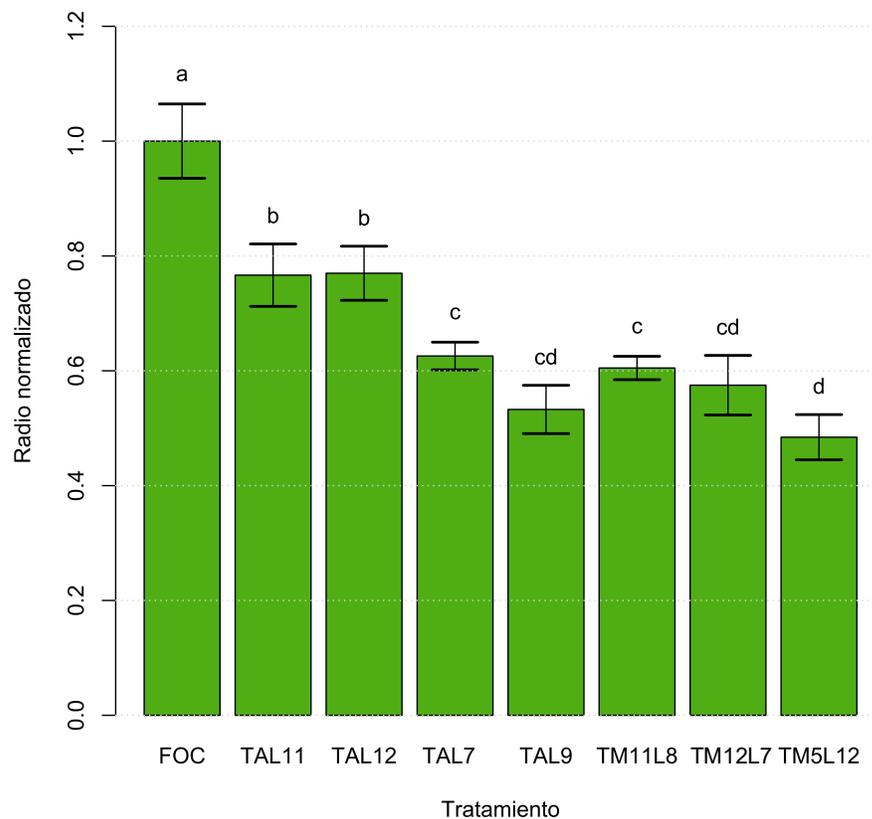


Figura 7. Comparación radial de *Foc* R1 enfrentadas con las cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas del campo experimental.

Samaniego-Fernández *et al.* (2018), demostraron la notable capacidad antagónica de cepas de *Trichoderma* frente a diversos fitopatógenos del suelo, como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp. y *Sclerotium rolfsii*. Por otro lado, Sudantha, (2021), realizó aislamientos de endófitos de *Trichoderma* spp. a partir de plantas de banano, obteniendo cepas eficaces para suprimir el crecimiento del hongo *F. oxysporum* f. sp *ubense*. En un estudio similar, cepas de *Trichoderma* evaluadas contra *Foc* R4T produjeron metabolitos altamente tóxicos con fuerte actividad antagónica, inhibiendo el crecimiento del micelio en un rango de 50-96 % (Al-Ani, 2018). Además, investigaciones de Napitupulu *et al.*, (2019) mostraron que, luego de cinco días de crecimiento de *Trichoderma harzianum*, las estructuras del biocontrolador se superponían entre un 63 y 88 % de la superficie. Estas cepas produjeron metabolitos volátiles con actividad antimicrobiana que tuvieron efectos significativos en el crecimiento y desarrollo del patógeno.

El siguiente paso en esta línea de investigación consiste en enfocar los esfuerzos en la identificación y multiplicación de las cepas que han demostrado el mayor porcentaje de inhibición sobre *Foc* R1 en condiciones de laboratorio. Estas cepas seleccionadas serán evaluadas en ensayos bajo condiciones controladas en invernadero. Esta fase proporcionará información más precisa sobre la interacción entre los aislamientos de *Trichoderma* spp. y las plantas infectadas con *Foc* R1. De esta manera, no solo se podrá determinar su capacidad para reducir la actividad de este patógeno, sino también evaluar su potencial para generar un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como lo sugieren Zin y Badaluddin (2020).

Es fundamental evaluar el crecimiento de las cepas con mejor desempeño en las pruebas de antagonismo, con el objetivo de determinar su capacidad de proliferación para producción a gran escala. Así mismo, es necesario estudiar su adaptación a las condiciones de campo. Estos aspectos son clave para considerar una cepa de *Trichoderma* spp como una opción viable y prometedora en biocontrol.

CONCLUSIONES

La cepa nativa TM5L12 de *Trichoderma* spp. aislada de muestras de suelo, mostró una capacidad antagonica cercana al 50% frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 1 (*Foc* R1) en comparación con otras cepas evaluadas. Este hallazgo permitirá realizar ensayos adicionales con esta cepa en plantas de banano tanto en invernadero como en campo. Además, las cepas nativas TAL9 y TM12L7 de *Trichoderma* spp. aisladas de trampa de arroz y de muestra de suelo respectivamente, también demostraron una notable actividad antagonista frente a *Foc* R1.

REFERENCIAS

1. Al-ani, L. K. T., & Albaayit, S. F. A. 2018. Antagonistic of some *Trichoderma* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (*Foc*TR4). The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics, 2: 35-38.
2. 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>.
3. Damodaran, T., Rajan, S., Muthukumar, M., Ram, G., Yadav, K., Kumar, S., Ahmad, I., Kumari, N., Mishra, V. K., & Jha, S. K. 2020. Biological Management of Banana *Fusarium* Wilt Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 Using Antagonistic Fungal Isolate CSR-T-3 (*Trichoderma reesei*). *Frontiers In Microbiology*, 11. doi: 10.3389/fmicb.2020.595845.

4. 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*, 7 (3), 224. <https://doi.org/10.3390/jof7030224>.
5. Harman, G. E., & Kubicek, C. P. (Eds). 2014. *Trichoderma* And *Gliocladium*: Enzymes, biological control and commercial applications. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482267945>.
6. Manoharachary, C., Singh, H. B., & Varma, A. (Eds.). 2020. *Trichoderma*: Agricultural Applications and Beyond. *Soil Biology*. doi:10.1007/978-3-030-54758-5.
7. Munhoz, T., Vargas, J., Teixeira, L., Staver, C., & Dita, M. 2024. *Fusarium* Tropical Race 4 in Latin America and the Caribbean: status and global research advances towards disease management. *Frontiers In Plant Science*, 15. doi: 10.3389/fpls.2024.1397617.
8. 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.
9. 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>.
10. 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>.
11. 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>.
12. 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. *Revista de Protección Vegetal*. 33(3).
13. 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>.
14. 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>.
15. Worasatit, N., Sivasithampam, 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).
16. Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2020.09.003>.

Evaluación de la productividad del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo bajo alta densidad de siembra

Sérgio Luiz Rodrigues Donato^{1*}; Joel da Silva de Deus²; Marcelo Rocha dos Santos¹; Oscar Eduardo Trujillo Obando³; Denise Moreira Costa¹; Eugenio Ferreira Coelho⁴

¹Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología Baiano, Setor de Agricultura, Guanambi, Bahia, Brasil;

²Mestrando em Produção Vegetal no Semiárido, Universidad Estatal de Montes Claros, Campus de Janaúba, Janaúba,

MG, Brasil; ³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Campus

Palmira, Valle de Cauca, Colombia; ⁴Embrapa Yuca y Fruta, Cruz das Almas, BA - Brasil.

*Autor de Correspondencia:
Sérgio Luiz Rodrigues-Donato
sergio.donato@ifbaiano.edu.br

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Riego y Drenaje

Recibido:
15 diciembre, 2024

Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Rodrigues DSL, da Silva dD J,
Rocha dSM, Trujillo OOE,
Moreira CD y Ferreira CE.
2025. Evaluación de la
productividad del banano ‘Gran
Enano’ irrigado por
microaspersión y goteo bajo
alta densidad de siembra.
*Acorbat Revista de Tecnología
y Ciencia* 2(1): 100
[https://doi.org/10.62498/ARTC
.25100](https://doi.org/10.62498/ARTC.25100)

RESUMEN

El banano presenta una alta exigencia hídrica. A esto se suma la variabilidad climática y la competencia por los usos múltiples del agua, lo que incrementa la crisis de los recursos hídricos. Esto demanda estrategias que contribuyan a aumentar la eficiencia del agua y de la productividad del cultivo, a reducir la huella hídrica, como el uso de sistemas de riego eficientes y cambios en el sistema de producción. Así, el objetivo fue definir qué sistema de riego, microaspersión o goteo, es el más adecuado para el banano ‘Gran Enano’ cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción. Los sistemas de riego de microaspersión y goteo (tratamientos) fueron dispuestos en un diseño completamente al azar, con 12 repeticiones, sumando 24 unidades experimentales, con cuatro plantas útiles en hilera con bordura completa. Se evaluaron, en el momento de la cosecha, características vegetativas y de rendimiento, productividad de manos, productividad del agua de riego y huella hídrica. Los sistemas de riego por goteo y microaspersión proporcionan similitud en las características vegetativas y de rendimiento del banano ‘Gran Enano’. Los sistemas de riego por microaspersión o goteo son adecuados para el cultivo de banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, 4.000 plantas ha⁻¹ en doble surco, con cosecha programada para un ciclo único de producción, como una propuesta de ahorro hídrico avalada por las altas productividades de frutos y de agua y por la reducida huella hídrica.

Palabras clave: *Musa* AAA, cosecha programada, huella hídrica, plantación densa, riego localizado.

ABSTRACT

Bananas have a high water demand. Added to this is the climatic variability and the competition for multiple uses of water, which increases the water resource crisis. This requires strategies that contribute to increasing water efficiency and crop productivity, and to reducing the water footprint, such as the use of irrigation systems with greater efficiency in the application of water and changes in the cultivation system. Thus, the objective was to define which irrigation system, micro-sprinkler or drip, is the most suitable for the ‘Gran Enano’ banana grown at high planting density with harvest scheduled in a single production cycle. The treatments, two irrigation systems, micro-sprinkler and drip, were arranged in a completely random design, with 12 repetitions, totaling 24 experimental units, with four useful plants in a row with a



complete border. Vegetative and yield characteristics, hand productivity, irrigation water productivity and water footprint were evaluated at the time of harvest. Drip and micro-sprinkler irrigation systems provide similarity in vegetative and yield characteristics of the ‘Gran Enano’ banana. Micro-sprinkler or drip irrigation systems are suitable for the cultivation of ‘Gran Enano’ banana under high planting density, 4,000 plants ha⁻¹ in double row, with harvest scheduled for a single production cycle, as a proposal for water saving supported by high fruit and water productivity and by the reduced water footprint.

Keywords: *Musa* AAA, dense planting, scheduled harvest, localized irrigation, water footprint.

INTRODUCCIÓN

El aumento de los riesgos de sequía es resultado de la variabilidad climática natural, el cambio climático inducido por el hombre y el uso insostenible del agua, lo cual repercute negativamente en diferentes actividades humanas (European Commission Joint Research Centre y United Nations Convention to Combat Desertification, 2024). Este aumento de la aridez debido a la combinación de bajas precipitaciones y aumento de temperaturas que incrementan la evapotranspiración constituye la mayor restricción a la producción comercial de banano en el mundo, especialmente en zonas con precipitaciones moderadas a bajas (Panigrahi *et al.*, 2021), como las regiones áridas y regiones semiáridas con mayores impactos en la distribución, magnitud y variabilidad de los recursos hídricos (Giorgi *et al.*, 2019).

Esto refuerza la necesidad de soluciones integradas para aumentar la productividad y la conservación del agua, pues según la European Commission Joint Research Centre y United Nations Convention to Combat Desertification (2024) existe una paradoja, la mayor eficiencia de los sistemas de riego modernos rara vez resulta en la conservación del agua desde un punto de vista global, requiriendo herramientas de política conductual combinadas con soluciones tecnológicas de manejo del riego y estrategias de cultivo climáticamente inteligentes para la conservación del agua. De esa manera, el cultivo de banano que presenta una demanda hídrica elevada y constante debido a las características de la planta (Turner *et al.*, 2007), bajo riego en regiones semiáridas debe priorizar la precisión en el manejo del agua y del cultivo, para mejorar la productividad del agua de riego (Fernández *et al.*, 2020), reducir la huella hídrica y de carbono y aumentar la productividad del cultivo.

Esto implica la implementación de métodos y sistemas de riego más eficientes en la conducción y aplicación de agua, cambios en las configuraciones de los sistemas

de riego, estrategias de riego con aplicación de agua en cantidad menor a la evapotranspiración del cultivo (Almeida *et al.*, 2024), uso de cultivares con mayor tolerancia al déficit hídrico (Coelho *et al.*, 2021), y técnicas de cultivo que privilegien el aumento de la productividad por unidad de agua aplicada, como el incremento en la densidad de siembra (Santos *et al.*, 2019; Magalhães *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2024; Rodrigues *et al.*, 2024) y/o cultivos con cosecha programada para solamente un ciclo de producción, que son menos sujetos a variaciones en las condiciones ambientales en comparación con los ciclos seguidores (Donato *et al.*, 2008).

El banano puede ser irrigado mediante diferentes métodos y sistemas (Coelho *et al.*, 2021), sin embargo, la irrigación localizada con los sistemas de microaspersión, goteo y microjet normalmente proporciona mayor eficiencia potencial en la aplicación del agua. Estudios sobre sistemas de irrigación por microaspersión y goteo en banano han evaluado los niveles de nutrientes en las hojas (Donato *et al.*, 2010), características vegetativas y productividad (Marques *et al.*, 2011), así como distribución del sistema radicular (Sant'Ana *et al.*, 2012). Cambios en la configuración de estos sistemas de irrigación pueden alterar la extracción de agua (Santana Júnior *et al.*, 2021); cuando se combinan con el uso de cobertura vegetal muerta disminuyen la evapotranspiración y aumentan la absorción de agua por las plantas (Campos *et al.*, 2022), y con la fertirrigación, incrementan la productividad, la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes (Souza *et al.*, 2021).

En el semiárido brasileño, los productores han incrementado las plantaciones de alta densidad con cosechas programadas para concentrar la producción en periodos de mejores precios de la fruta en el mercado (Rodrigues *et al.*, 2024). Se presume que la combinación de diferentes estrategias puede modificar las condiciones hídricas del suelo, aumentar el desacoplamiento ambiental (Souza *et al.*, 2019) y, en consecuencia, repercutir en su estado hídrico (Barbosa *et al.*, 2024) e influir en el crecimiento, el desarrollo y la productividad del banano (Rodrigues *et al.*, 2024).

Sin embargo, estudios en condiciones específicas para cada sitio aumentan la fiabilidad de la extrapolación de resultados y en ese contexto, existe una demanda de resultados con cultivares Cavendish, ampliamente cultivados en el semiárido brasileño en la actualidad. Así, el objetivo fue definir qué sistema de riego, microaspersión o goteo, es el más adecuado para el banano 'Gran Enano' cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología Baiano, campus Guanambi, BA, Brasil, en las coordenadas 14°17'38" S de latitud, 42°41'43" W de longitud, y una altitud de 537 msnm. El clima es semiárido, cálido y seco, con una estación seca bien definida en invierno y un periodo lluvioso entre los meses de octubre y marzo. La precipitación media anual es de 671,8 mm, y la temperatura media anual es de 26,1 ° C, considerando los últimos 43 años.

El suelo del área fue clasificado originalmente como Latosolo Vermelho-Amarelo, de textura media, correspondiente a un Oxisol, sin embargo, después de correcciones realizadas durante dos décadas mediante aplicaciones de fertilizantes orgánicos y químicos, junto con la incorporación de residuos de cultivos, se logró construir su fertilidad (Marques *et al.*, 2022). Se realizaron muestreos del suelo en la zona antes de la siembra, durante el periodo de floración y en la cosecha (Cuadro 1).

En el experimento se utilizó la variedad Gran Enano (AAA) del subgrupo Cavendish. Se tomaron muestras de suelo para la caracterización química del área antes de la siembra (Cuadro 1A). El área fue subsolado, arado, rastreado y surcado en un sistema de hileras dobles, con una distancia de 3 m entre ellas. La siembra se realizó en dos líneas equidistantes a 2 m (hileras dobles), con las plantas distribuidas en dichas líneas con un espaciamiento de 1 m, configurando un arreglo de 3 x 2 x 1 m en doble surco, con una densidad de plantío de 4.000 plantas ha⁻¹.

Fueron utilizadas plántulas micropropagadas, la siembra junto con las labores culturales se realizó siguiendo las recomendaciones para el cultivo, según Rodrigues *et al.* (2015), con modificaciones. El cultivo fue conducido durante un ciclo de producción con la filosofía de cultivo programado para cosecha en la época de entresafra. Por lo tanto, todos los brotes fueron debidamente eliminados. Las fertilizaciones con micronutrientes fueron realizadas vía foliar hasta la floración de las plantas.

Los sistemas de riego fueron por microaspersión y goteo, constituyendo los tratamientos. El sistema de microaspersión (Figura 1A) utilizó emisores Amanco® con un caudal de 107 L h⁻¹, presión de 200 kPa, espaciamiento de 3,80 m entre emisores y 5,0 m entre líneas laterales; intensidad de aplicación del emisor de 5,0 mm h⁻¹ y eficiencia de aplicación potencial de 0,85. El sistema de goteo (Figura 1B) estuvo compuesto por dos líneas laterales, con goteros espaciados a 0,50 m para proporcionar una franja mojada continua, caudal unitario de 8 L h⁻¹, presión de 200 kPa y eficiencia de aplicación potencial de 0,90. El agua utilizada para la irrigación provino del embalse

Ceraíma, clasificada como C1S1, con conductividad eléctrica de 0,16 ds m⁻¹, sin restricciones para su uso en el cultivo del banano.

Cuadro 1. Atributos químicos del suelo muestreado antes de la siembra, en la floración y en la cosecha del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo. Guanambi, BA. 2019-2020.

A. Muestreo realizado antes de la implementación del experimento													
Capas	pH ¹	MO ²	P ³	K ³	Na ³	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	T	V	M
		g kg ⁻¹	---mg dm ⁻³ ---	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%----		
0,0-0,2 m	7,6	34,0	328,1	618,0	0,1	5,9	3,1	0,0	0,9	10,7	11,6	92,0	0
Capas		-----mg dm ⁻³ -----							Prem ⁷	EC			
									mg L ⁻¹	ds m ⁻¹			
0,0-0,2 m	-	-	-	B ⁶	Cu ³	Fe ³	Mn ³	Zn ³	45,9	2,2	-	-	-
B. Muestreo realizado en época de floración de la planta													
Capas	pH ¹	MO ²	P ³	K ³	Na ³	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	T	V	M
		g kg ⁻¹	---mg dm ⁻³ ---	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%----		
G 0,0-0,2 m	7,5	2,6	378,3	179	0,1	5,4	2,5	0,0	1,0	8,4	9,5	89	0
G 0,2-0,4 m	7,6	0,9	244,8	173	0,1	4,1	1,8	0,0	0,9	6,4	7,3	87	0
M 0,0-0,2 m	7,6	2,6	522,0	201	0,2	5,6	2,6	0,0	0,9	8,9	9,8	91	0
M 0,2-0,4 m	7,7	1,0	283,5	207	0,1	4,3	1,9	0,0	0,8	6,9	7,7	89	0
Capas		-----mg dm ⁻³ -----							Prem ⁷	EC			
									mg L ⁻¹	ds m ⁻¹			
G 0,0-0,2 m	-	-	-	0,4	1,6	15,4	105,6	65,6	44,7	0,5	-	-	-
G 0,2-0,4 m	-	-	-	0,5	1,5	18,9	47,3	57,4	42,8	0,4	-	-	-
M 0,0-0,2 m	-	-	-	0,6	1,3	22,1	113,6	69,9	44,7	0,6	-	-	-
M 0,2-0,4 m	-	-	-	1,2	1,0	23,0	57,2	49,0	43,7	0,5	-	-	-
C. Muestreo realizado en el momento de la cosecha de la planta													
Capas	pH ¹	MO ²	P ³	K ³	Na ³	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	T	V	M
		g kg ⁻¹	---mg dm ⁻³ ---	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%----		
G 0,0-0,2 m	5,9	2,8	305,0	221	0,1	5,9	2,4	0,0	1,6	8,9	10,6	85	0
M 0,0-0,2 m	7,1	3,1	379,0	188	0,1	5,8	3,1	0,0	1,0	9,5	10,5	90	0
Capas		-----mg dm ⁻³ -----							Prem ⁷	EC			
									mg L ⁻¹	ds m ⁻¹			
G 0,0-0,2 m	-	-	-	0,5	1,2	16,8	100,2	51,6	42,7	0,6	-	-	-
M 0,0-0,2 m	-	-	-	0,7	1,0	19,7	85,3	39,6	48,5	2,0	-	-	-

G: goteo; M: microaspersión. 1/pH en agua; 2/Colorimetría; 3/Extractor: Mehlich⁻¹; 4/Extractor: KCl 1 mol/L; 5/pH SMP; 6/Extractor: CaCl₂; 7/Extractor: Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P en HOAc 2 mol L⁻¹; 8/Solución de equilibrio de P; SB, Suma de bases; t, CTC efectiva = SB; T, CTC a pH 7; V, Saturación por bases; m, Saturación por aluminio; P-rem, Fósforo residual; CE, Conductividad eléctrica. mg dm⁻³ = ppm; cmol_c dm⁻³ = meq 100 cm⁻³.

El manejo de la irrigación fue realizado con base en la evapotranspiración del cultivo (ETc), obtenida considerando la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc). La ETo fue determinada mediante el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), estándar del Boletín 56 de la FAO, utilizando variables meteorológicas registradas durante el periodo experimental en la estación meteorológica automática (Modelo Vantage Pro Integrated Sensor, fabricado por Davis Instruments, Wayward, California, USA), instalada cerca del área del experimento (Figura 2).

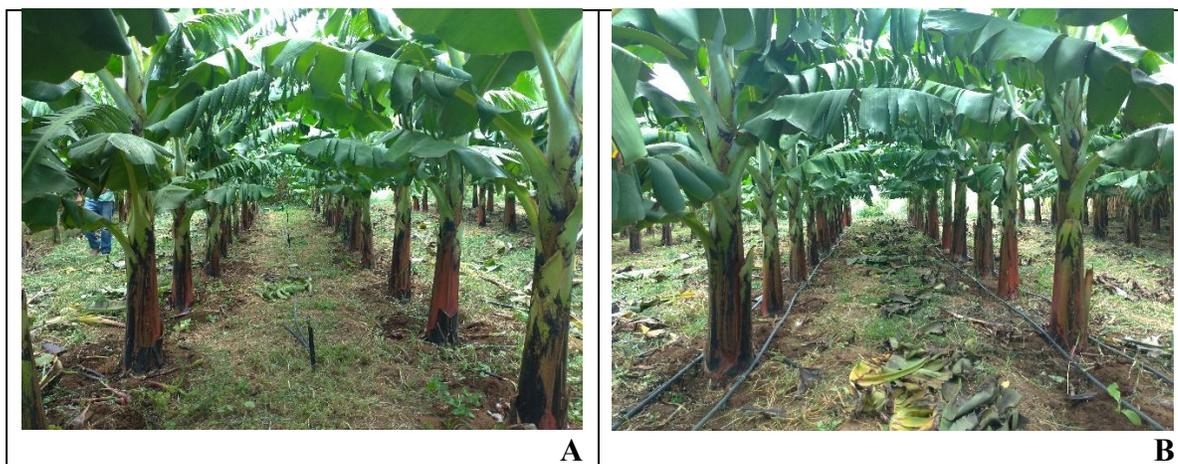


Figura 1. Sistemas de riego utilizados en el experimento con banana ‘Gran Enano’ cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción. Nota: A - Sistema de riego por microaspersión; B - Sistema de riego por goteo. Fotografía tomada 135 días después del trasplante. Créditos: Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Los valores de Kc utilizados en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo durante el manejo de la irrigación siguieron la ecuación descrita por Borges *et al.* (2011) y el tiempo de riego para cada sistema estimado según Coelho *et al.* (2021). En el periodo, la evapotranspiración de referencia fue de 2.457,45 mm y la precipitación fue de 1.021,26 mm, con una lámina aplicada de 2.140,46 mm y 2.015,15 mm en microaspersión y goteo, respectivamente.

Los tratamientos, dos sistemas de irrigación, microaspersión y goteo, se dispusieron en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales, con cuatro plantas útiles en filas con bordes completos.

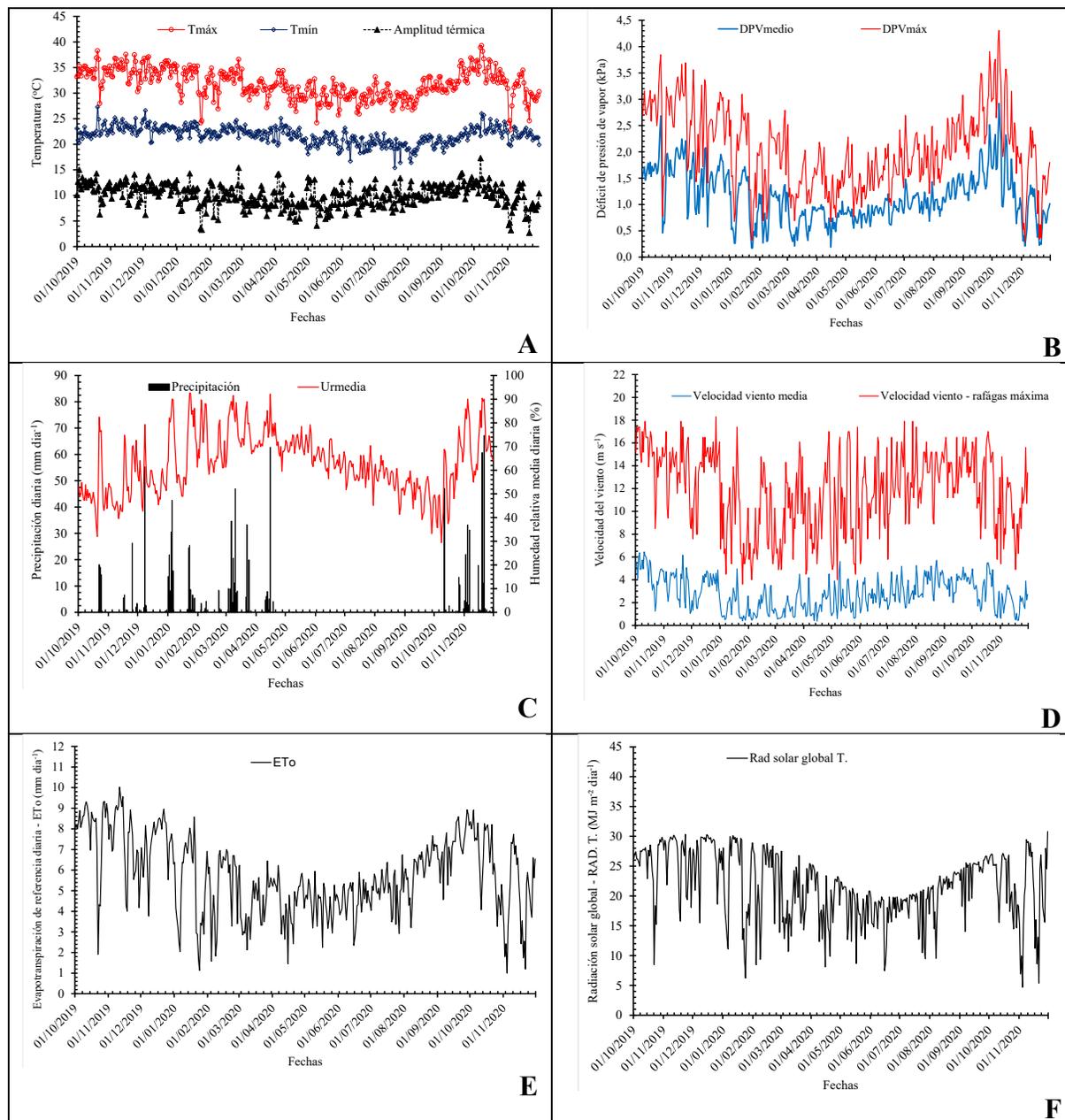


Figura 2. Datos meteorológicos diarios registrados durante el periodo experimental. Guanambi, BA, 01/10/2019-30/11/2020. Nota: A - Temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) y amplitud térmica; B – Precipitación (P) y humedad relativa media (UR); C – Evapotranspiración de referencia (ETo); D – Déficit de presión de vapor máximo (DPVmáx) y medio (DPVmedio); E – velocidad media del viento (Vventomedia) y de ráfaga (Vrajadamaxima); F – Radiación Solar Global (Rad. T.).

Fueron evaluados en la época de la cosecha el número de hojas, requerimiento de número de hojas para la productividad de manos ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), las masa (kg) del racimo,

de las manos y del raquis, número de frutos y de manos por racimo, masa (g), diámetro (mm) y longitud del fruto (cm), población final de plantas cosechadas (plantas ha⁻¹), índice de plantas cosechadas (%), periodo hasta la cosecha (días) y productividad de manos (t ha⁻¹ año⁻¹), calculada considerando la población final de plantas cosechadas. Con base en la productividad de manos (t ha⁻¹) y las láminas aplicadas, fueron calculadas la productividad del agua de riego (kg ha⁻¹ mm⁻¹) y la huella hídrica (L kg⁻¹).

Las características del fruto se midieron en la pieza central de la fila externa de frutos de la segunda mano, utilizando como criterio de cosecha, con un calibre mínimo de 36 mm (Bolfarini *et al.*, 2020). También fue determinada la duración del ciclo de la siembra hasta la cosecha.

Los datos de las características evaluadas fueron sometidos a pruebas de normalidad, homogeneidad y a un análisis de varianza para verificar el efecto del tratamiento mediante la prueba F al 5 % de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características vegetativas y de rendimiento evaluadas en el cultivo de banano ‘Gran Enano’ con alta densidad de siembra y cosecha programada para un único ciclo de producción no fueron influenciadas por los sistemas de irrigación, con excepción del peso del raquis (Cuadro 2). A pesar de que los sistemas de riego por microaspersión y goteo se diferencian en la forma de aplicación del agua sobre la superficie del suelo, la zona de humedecimiento, la uniformidad de distribución de agua en la superficie y en el perfil del suelo y por lo tanto proporcionan diferencias en la distribución horizontal y vertical de las raíces (Sant’Ana *et al.*, 2012), las características evaluadas fueron similares.

Otros autores también han observado similitudes entre los sistemas de riego por goteo y por microaspersión, por ejemplo, en la misma área de este experimento Marques *et al.* (2011) encontraron productividades similares para bananos tipo Prata bajo microaspersión y goteo, aunque constataron menor vigor, expresado en altura y perímetro del pseudotallo bajo riego por goteo, Donato *et al.* (2010) menores contenidos foliares de micronutrientes, mientras Sant’Ana *et al.* (2012) observaron mayor profundidad en la distribución de raíces con el riego por goteo y mayor distribución horizontal con microaspersión en el mismo experimento. Los resultados de Souza *et al.* (2021) demostraron que sistemas de riego por goteo y microaspersión, asociados al uso de mulching, cobertura muerta del propio cultivo de banano, tal como

se utiliza en este trabajo, proporcionan, de forma similar menor evapotranspiración, mayor absorción de agua y mayores productividades en el cultivo de banano ‘BRS Princesa’ en comparación con el riego con estos sistemas en suelos descubiertos. Esto puede contribuir a justificar la similitud proporcionadas por los sistemas de riego.

Cuadro 2. Análisis de varianza con los respectivos cuadrados medios, promedios, desviación estándar y coeficientes de variación de las características vegetativas, de rendimiento, productividad del agua de riego y huella hídrica del cultivo de banano ‘Gran Enano’ irrigada mediante microaspersión y goteo con alta densidad de siembra y cosecha programada para un único ciclo de producción. Guanambi, BA, 2019-2020.

FV	GL	NHC	MMA	MRA	NMA	NFR	MFR	LFR	DFR
Tratamientos	1	2,090567 ^{ns}	2,801097 ^{ns}	0,64357*	0,09375 ^{ns}	106,6114 ^{ns}	17,22685 ^{ns}	0,0234375 ^{ns}	1,715567 ^{ns}
Residuo	22	0,8427767	17,29274	0,105698	0,4873211	442,1706	398,2338	1,656434	5,750289
Total	23								
		(un)	(kg)	(kg)	(un)	(un)	(g)	(cm)	(mm)
Promedio		8,50	28,87	2,13	8,72	156,57	203,81	22,14	37,77
D. estándar		0,92	4,16	0,32	0,69	21,02	19,95	1,28	2,39
CV (%)		10,79	14,40	15,27	8,00	13,43	9,79	5,81	6,34
FV	GL	NDC	REQHMA	POPR	IPC	PROD	PAr	HH	
Tratamientos	1	0,6666667 ^{ns}	0,0012459 ^{ns}	166666,7 ^{ns}	104,1667 ^{ns}	168975,9946 ^{ns}	1,215 ^{ns}	308,3700 ^{ns}	
Residuo	22	36,34954	0,0034336	196969,7	123,1061	451274,3770	118,987	2252,0618	
Total	23								
		(días)	(m ² kg ⁻¹)	(Planta ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	(L kg ⁻¹)	
Promedio		378,39	0,31	3.750,00	93,75	103,49	52,36	199,78	
D. estándar		6,01	0,06	443,62	11,09	21,35	10,90	47,44	
CV (%)		1,59	18,91	11,83	11,83	20,52	20,83	23,75	

Nota: FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; QM: cuadrado medio; D. estándar: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; NHC: número de hojas vivas en la cosecha; MMA: masa de las manos; MRA: masa del raquis o pinzote; NMA: número de manos; NFR: número de frutos; MFR: masa del fruto; LFR: longitud externo del fruto; DFR: diámetro del fruto; NDC: número de días para la cosecha; REQHMA: requerimiento en número de hojas por productividad de manos; POPR: población real al final del experimento; IPC: índice de plantas colectadas; PRODMA: productividad de manos por hectárea año; PAr: productividad del agua de riego; HH: huella hídrica; ^{ns}no significativo, *significativo a 5 %, **significativo a 1 % por la prueba F.

Las características vegetativas, como el número de hojas en la cosecha y el requerimiento en área foliar (REQHMA) constatadas en este trabajo, presentan medias distintas de estudios realizados en el mismo lugar y con el mismo cultivar. Por ejemplo, la media de 8,5 hojas es inferior a las 10,1 registradas por Donato *et al.* (2006) con un espaciamiento de 3,0 x 2,0 m (1.666 plantas ha⁻¹) y riego por aspersión convencional

fija subcopa, mientras que el REQHMA de 0,31 es menor que el valor de 0,53 observado por Donato *et al.* (2023) con un espaciamiento de 3,0 x 2,5 m (1.333 plantas ha⁻¹) bajo microaspersión. Los valores menores registrados en el presente estudio se justifican por la mayor densidad de siembra utilizada, 4.000 plantas ha⁻¹, corroborando a Magalhães *et al.* (2020), ya que estas características están más influenciadas por el manejo y el ambiente y menos por el genotipo (Donato *et al.*, 2008). Esto sugiere que las plantaciones de alta densidad reducen el requerimiento de área foliar para la productividad de frutos en m² por kg, lo que constituye una ventaja competitiva para regiones con altas velocidades del viento de ráfagas (Figura 2D), como la del presente estudio (Donato *et al.*, 2023).

De igual manera, el número de días para la cosecha, una característica de duración del ciclo cuya media fue de 378 días para los sistemas de riego, fue mayor que los 360 días observados por Donato *et al.* (2006), corroborando a Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020), quienes constataron un aumento del ciclo para la cosecha con densidades de siembra más elevadas en Prata. El periodo para la cosecha puede variar con el sistema de riego como lo constatado por Souza *et al.* (2021) mayor precocidad para la cosecha bajo goteo a diferencia de este trabajo.

La masa del raquis del banano ‘Gran Enano’ fue mayor en el sistema de riego por microaspersión (Figura 3), con una media de 2,29 kg, en comparación con la masa del raquis bajo goteo, con una media de 1,96 kg. Una mayor masa del raquis es indeseable al principio, sin embargo, la masa de las manos, que representa la parte comercial sin el raquis, fue similar entre los sistemas de riego con una media de 28,87 kg. Este valor se aproxima a estudios en el mismo lugar y cultivar, con 1.666 plantas ha⁻¹ y riego por aspersión convencional fija subcopa, cuya media fue de 29,28 kg (Donato *et al.*, 2006) y 25,32 kg con 1.333 plantas ha⁻¹ bajo microaspersión (Donato *et al.*, 2023).

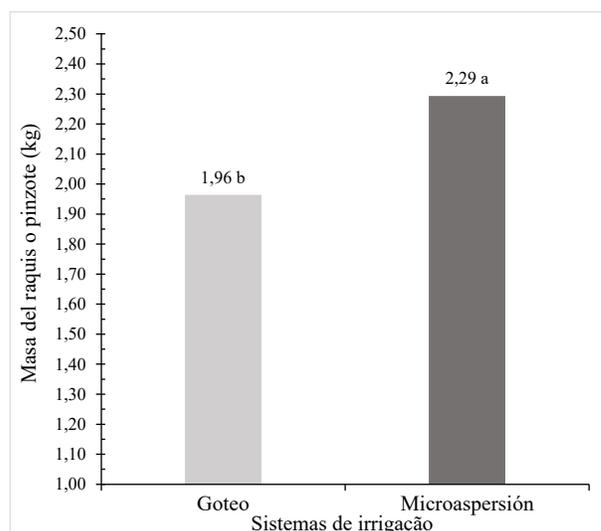


Figura 3. Masa del raquis o pinzote del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo con alta densidad de siembra con cosecha programada para ciclo único. Guanambi, BA, 2019-2020. Las medias seguidas de letras diferentes para los sistemas de riego difieren entre sí al 5 % de significancia mediante la prueba F.

A pesar de las diferencias entre densidades de siembra de 4.000 plantas ha⁻¹ y 1.666 plantas ha⁻¹, la proximidad de los valores de las masas de manos registradas en el primer ciclo refleja la uniformidad del cultivar Gran Enano, un material genético seleccionado a lo largo del tiempo por agricultores y empresas bananeras con un objetivo enfocado principalmente en el aumento del índice de cosecha (Rodrigues Filho *et al.*, 2021), lo que posiblemente confiere mayor heredabilidad y repetibilidad a la mayoría de sus características (Aguilar Morán, 2013; Silva *et al.*, 2013), principalmente las de rendimiento asociadas al racimo (Donato *et al.*, 2008). Además, los cultivares del subgrupo Cavendish son derivados de la ‘Dwarf Cavendish’ (‘Nanica’), es decir, provienen de un único clon, por medio de mutación (Silva *et al.*, 2013). Los cultivares dentro de los subgrupos tienden a ser uniformes en cuanto a los principales caracteres, principalmente cuando poseen un solo genoma, AAA, como es el caso de *Musa acuminata* Cavendish.

Esto se comprueba cuando se comparan los caracteres del fruto más asociados al racimo (Donato *et al.*, 2008), masa (203,81 g), longitud (22,14 cm) y diámetro del fruto (37,71 cm) observados en este trabajo con valores muy próximos a 200,44 g, 23,14 cm y 35,78 mm (Donato *et al.*, 2006). Estos resultados confirman las observaciones de Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020) sobre el mantenimiento de la clasificación comercial de los frutos, con mayor densidad de siembra, incluso para banano Prata (AAB), cultivares menos uniformes genéticamente. Por otro lado, el

número de manos (8,57) y de frutos (156,57) fueron menores cuando comparados 10,02 manos y 182,15 frutos observados en los estudios de Donato *et al.* (2023), comprobando mayor influencia de la densidad de siembra en estas características, como constatado por Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020).

La productividad registrada en el presente trabajo consideró las plantas efectivamente cosechadas, que fueron similares entre los sistemas de riego. La productividad media de 103,49 t ha⁻¹ año⁻¹ es elevada y está en fase con mayores productividades bajo alta densidad de siembra, como se ha comprobado por Rodrigues *et al.* (2024) de 109,30 t ha⁻¹ año⁻¹ con la misma densidad de siembra (4.000 plantas ha⁻¹), mismo cultivar, ‘Gran Enano’, y mismo local, pero independiente de la lámina de riego aplicada. De mismo modo, mayores productividades bajo alta densidad de siembra se ha comprobado para cultivares de diferentes grupos genómicos, AAA, Gran Enano (Mahmoud, 2013), AAAB, BRS Platina (Santos *et al.*, 2019) y AAB, Prata-Anã (Magalhães *et al.*, 2020). Esto concuerda con la práctica de muchos productores del Semiárido brasileño, particularmente de las regiones de Bom Jesus da Lapa, BA y del norte de Minas Gerais, que han aumentado la siembra con altas densidades con cosecha programada para concentrar la producción en periodos de mejor precio de la fruta en el mercado, aunque con densidades de siembra menores que las del presente trabajo.

La similitud en la productividad del banano ‘Gran Enano’ observada en este trabajo entre microaspersión y goteo corrobora los resultados de Donato *et al.* (2010), Marques *et al.* (2011) con bananos tipo Prata y coincide con lo reportado por Coelho *et al.* (2021) que las productividades de la ‘Prata-Anã Gorutuba’ en el sistema de goteo con dos líneas laterales por fila de plantas con emisores distantes 0,50 m entre sí, pueden equipararse a las obtenidas en la microaspersión. Del mismo modo, Souza *et al.* (2021) constataron productividades similares del banano ‘BRS Princesa’ entre microaspersión y goteo con fertirrigación, lo que ratifica que ambos sistemas pueden ser utilizados para diferentes cultivares de banano.

Entretanto, como señalan Coelho *et al.* (2021), el riego por goteo ha sido menos utilizado en el banano que la microaspersión, por ser más adecuado a suelos de textura media a arcillosa, pero es un sistema de mayor eficiencia que la microaspersión, con un 10 % a 15 % menos de gasto de agua. En el presente trabajo, el gasto de agua fue cerca de un 5 % menor en el goteo con una lámina bruta de 2.015,15 mm, mientras que en la microaspersión la lámina bruta aplicada fue en promedio de 2.140,46 mm. La diferencia se debe a la mayor eficiencia de aplicación potencial del goteo, 0,90 frente a 0,85 para la microaspersión. Sin embargo, la elección del sistema de riego también debe considerar otros factores como la calidad del agua, la facilidad de manejo del sistema en términos de bloqueos de emisores y el costo de adquisición. Además, en el

sistema de riego por goteo se corre el riesgo de corte de cintilla (cinta) por las herramientas de cultivo cortantes usadas por los trabajadores, y si la cinta queda entre la planta madre e hijo se bloquea el suministro de agua. Lo que requiere una mayor disciplina para alejarse de las líneas laterales de riego y mantener el sistema. También, la descomposición de los residuos de cultivos después de la cosecha y de la eliminación de las hojas depositados en suelo y su consecuente reciclaje de nutrientes sólo ocurrirán eficientemente durante la temporada de lluvias. Por lo tanto, estas consideraciones constituyen desventajas para el uso del riego por goteo frente a la microaspersión.

Esta pequeña diferencia en el gasto de agua contribuyó a la similitud en la productividad del agua de riego (PAr) y en la huella hídrica (HH) del banano ‘Gran Enano’ bajo microaspersión y goteo. Los valores medios de $52,36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para PAr son los mismos que los observados por Rodrigues *et al.* (2023) en las mismas condiciones de local, densidad de siembra, cultivar y lamina de riego, $51,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, pero los valores de HH fueron poco mayores de $199,78 \text{ L kg}^{-1}$ ante $141,15 \text{ L kg}^{-1}$. En cualquier caso, estos valores de PAr y HH atestiguan la contribución de la alta densidad de siembra para ahorrar agua. Esto corrobora lo observado por otros autores para cultivares de diferentes grupos genómicos, por ejemplo, Santos *et al.* (2019) encontraron mayor productividad del agua de riego con densidad de siembra más elevada y reducción de la lámina de riego aplicada, mientras que Magalhães *et al.* (2020) constataron mayor PAr con la interacción entre mayor densidad de siembra y reducción de la lámina de riego. Sin embargo, los valores de PAr registrados por Santos *et al.* (2019) de $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ y por Magalhães *et al.* (2020) de $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ reflejan el menor potencial productivo de los cultivares tipo Prata comparado con los Cavendish, así como las condiciones de manejo, aunque en el mismo lugar experimental.

Los resultados de este trabajo confirman la posibilidad de uso de microaspersión o goteo para el banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, $4.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ en doble surco, con cosecha programada para ciclo único. Evidencian así esta estrategia de cultivo como una propuesta de ahorro hídrico, lo que está en fase con las soluciones locales ante la crisis de recursos hídricos ampliada por la variabilidad climática y los conflictos entre los usos múltiples del agua.

CONCLUSIONES

Sistemas de riego por goteo y microaspersión proporcionan similitud en las características vegetativas y de rendimiento del banano ‘Gran Enano’ con alta densidad de siembra y cosecha programada para ciclo de producción único.

Sistema de riego por microaspersión o goteo es adecuado para el cultivo del banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, 4,000 plantas ha⁻¹ en doble surco, con cosecha programada para un ciclo de producción único, como propuesta de ahorro hídrico, comprobada por las altas productividades de frutos y de agua y por la reducida huella hídrica.

AGRADECIMENTOS

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y a la Coordinación de perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES).

REFERENCIAS

1. Aguilar Morán, J.F. 2013. Improvement of Cavendish banana cultivars through conventional breeding. *Acta Horticulturae* 986:205-208. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.986.21.
2. Almeida, F.P.d.; Santos, M.R.d.; Coelho, E.F.; Donato, S.L.R.; Oliveira, P.M.d.; Reis, J.B.R.d.S.; Carvalho, L.A.C.d.; Lima, J.C.L.d.; Santos, D.L.; Cunha, F.F.d. 2024. Irrigation of ‘Prata-Anã’ Banana with Partial Root-Zone Drying in a Semi-Arid Environment. *Agronomy*, 14:1820. DOI: 10.3390/agronomy14081820.
3. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome, Italy. 300p. (Irrigation and drainage, 56).
4. Barbosa, L.F.; Donato, S.L.R.; Santos, M.R. dos; Coelho, E.F. 2024. Fruit yield and water productivity of 'Prata Anã' banana under different planting densities and irrigation depths. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 59:e03423. DOI: 10.1590/ S1678-3921.pab2024.v59.03423.
5. Bolfarini, A.C.; Souza, J.M.A.; Silva, M.S.; Ferreira, R.B.; Leonel, M.; Tecchio, M.A.; Leonel, S. 2020. Ideal harvest stage and quality descriptors of 5 banana cultivars based on 5 fruit diameters. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 32:220-228. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i3.2079.
6. Borges, A.L.; Coelho, E.F.; Costa, E.L.; Teixeira, A.H.C. 2011. Irrigação e fertirrigação da bananeira. In: Souza, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M.; Coelho Filho, M.A. (Eds.), *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, Brasil, pp. 369-397.
7. Campos, M.S.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Fernandes, R.D.M.; Cruz, J.L. 2022. Consumptive water use of banana under micro irrigation using a soil-water balance approximation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26:594-601. DOI: 10.590/1807-1929/AGRIAMBI.V26N8P594-601.

8. European Commission Joint Research Centre and United Nations Convention to Combat Desertification, World Drought Atlas [A. Toreti, D. Tsegai, and L. Rossi Eds]. 2024. Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI:10.2760/3842670, JRC 139691. <Disponibile in: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC139691>>
9. Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Donato, S.L.R. 2021. Manejo da irrigação e fertirrigação. In: Donato, S.L.R.; Borém, A.; Rodrigues, M.G.V. (Eds.), Banana: do plantio à colheita. EPAMIG, Belo Horizonte, Brasil, pp. 237-274.
10. Donato, S.L.R.; Arantes, A.M.; Soares, A.S.S.; Santos, M.R.; Rodrigues, M.G.V. 2023. Gas exchange and leaf area requirement for yield in Cavendish and Gros Michel Bananas. Revista Brasileira de Fruticultura 45:e-079. DOI: 10.1590/0100-29452023079.
11. Donato, S.L.R.; Léo, A.A.; Pereira, M.C.T.; Coelho, E.F.; Cotrim, C.E. 2010. Estado nutricional de bananeiras tipo prata sob diferentes sistemas de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira 45:980-988. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000900007.
12. Donato, S.L.R.; Silva, S.O.; Lucca Filho, O.A.; Lima, M.B.; Domingues, H.; Alves, J.S. 2006. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. Revista Brasileira de Fruticultura 28:139-144. DOI: 10.1590/S0100-29452006000100039.
13. Donato, S.L.R.; Siqueira, D.L.; Silva, S.O.; Cecon, P.R.; Silva, J.A.; Salomão, L.C.C. 2008. Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. Pesquisa Agropecuária Brasileira 43:957-969. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000800003.
14. Fernández, J.E.; Alcon, F.; Diaz-Espejo, A.; Hernandez-Santana, V.; Cuevas, M.V. 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. Agricultural Water Management 237:106074. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106074.
15. Giorgi, F.; Raffaele, F.; Coppola, E. 2019. The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. Earth System Dynamics 10:73-89. DOI: 10.5194/esd-10-73-2019.
16. Magalhães, D.B.; Donato, S.L.R.; Santos, M.R.; Brito, C.F.B.; Fonseca, V.A.; Souza, B.S. 2020. Yield 'Prata-Anã' banana plants under water deficit and high plant density. Revista Brasileira de Fruticultura 42:e-046. DOI: 10.1590/0100-29452020046.
17. Mahmoud, H.H. 2013. Effect of different levels of planting distances, irrigation and fertigation on yield characters of main crop cv. Grande Naine. Global Journal of Plant Ecophysiology 3:115-121.
18. Marques, P.R.R.; Donato, S.L.R.; Pereira, M.C.T.; Coelho, E.F.; Arantes, A.M. 2011. Características agrônômicas de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46:852-859. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000800010.
19. Marques, P.R.R.; Donato, S.L.R.; São José, A.R.; Rosa, R.C.C.; Arantes, A.M. 2022. Nutritional status and production of 'Prata-Anã' (AAB) and 'BRS Platina' (AAAB) banana plants with organic fertilization. Nativa 10:60-68. DOI: 10.31413/nativa.v10i1.13160.
20. Panigrahi, N.; Thompson, A.J.; Zobelzu, S.; Knox, J.W. 2021. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae* 276:109735. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109735.
21. Rodrigues D.S.L.; Rocha; D.S.M.; Alves, M.T. Ferreira, C.E.; Trujillo, O.O.E. 2024. y Productividad y huella hídrica del banano 'Gran Enano' bajo niveles de riego y densidades de siembra. Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1):69. DOI: 10.62498.ARTC.2469.

22. Rodrigues Filho, V.A.; Neves, J.C.L.; Donato, S.L.R.; Guimarães, B.V.C. 2021. Universality of Kenworthy and DRIS norms for Prata and Cavendish bananas grown in two environments. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 45:e0200120. DOI: 10.36783/18069657rbcS20200120.
23. Rodrigues, M.G.V.; Donato, S.L.R.; Lichtemberg, L.A.; Dias, M.S.C. 2015. Implantação e manejo do bananal. *Informe Agropecuário* 36:27-44.
24. Sant'Ana, J.A.V.; Coelho, E.F.; Faria, M.A.; Silva, E.L.; Donato, S.L.R. 2012. Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura* 34:124-133. DOI: 10.1590/S0100-29452012000100018.
25. Santana Junior, E.B.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Silva, A.J.P.; Reis, J.B.R.S.; Pereira, B.L.S. 2021. Management of trickle irrigation for banana: Hydrodynamic processes and sensor placement at the root zone. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25:312-318. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p312-318.
26. Santos, M.R.; Donato, S.L.R.; Magalhães, D.B.; Cotrim, M.P. 2019. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths in semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 49:e53036. DOI: 10.1590/1983-40632019v4953036.
27. Silva, S.O.; Amorim, E.P.; Santos-Serejo, J.A.; Ferreira, C.F.; Dita Rodriguez, M.A. 2013. Melhoramento genético da bananeira: estratégias e tecnologias disponíveis. *Revista Brasileira de Fruticultura* 35:919-931. DOI: 10.1590/S0100-29452013000300032.
28. Souza, D.F.; Pinto, J.V.D.N.; Costa, D.L.; Vieira, I.C.D.O.; Silva, T.G.; Souza, P.J. 2019. Controles biofísicos da evapotranspiração em cultivo de feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23:725-732. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p725-732.
29. Souza, E.A.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Melo, D.M. 2021. Desempenho agrônomico da bananeira 'BRS Princesa' sob fertirrigação e cobertura morta. *Semina: Ciências Agrárias* 42:979-998. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n3p979.
30. Turner, D.W.; Fortescue, J.A.; Thomas, D.S. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19:463-484. DOI: 10.1590/S1677-04202007000400013.

Identificación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 1 en banano manzano (*Musa* AAB, subgrupo Silk) en Nayarit, México

Manuel de Jesús Bermúdez-Guzmán^{1*}; Mario Orozco-Santos¹; Karina de la Paz García-Mariscal¹; Francisco Javier Delgado-Virgen²; Raúl Rodríguez-Guerra³; Gilberto-Manzo Sánchez⁴; Luciano Martínez Bolaños⁵

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecomán; ²Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Colima; ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental General Terán; ⁴Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias; ⁵Universidad Autónoma de Chapingo, Centro Académico Regional Sur. Ingeniería en Agricultura Sostenible.

***Autor de Correspondencia:**

Manuel de Jesús Bermúdez-Guzmán
bermudez.manuel@inifap.gob.mx

Contribución:

Nota de Investigación

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 diciembre, 2024

Publicado:

30 abril, 2025

Cita:

Bermúdez-Guzmán MJ, Orozco-Santos M, García-Mariscal K de la P, et al. 2025. Identificación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 1 en banano manzano (*Musa* AAB, subgrupo Silk) en Nayarit, México. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 2(1): 101 <https://doi.org/10.62498/ARTC.25101>

RESUMEN

Los bananos y plátanos (*Musa* spp.) son frutas tropicales de importancia económica para México y de las más importantes a nivel mundial. Dependiendo de los cultivares, son afectados por razas del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (FOC), el cual causa la enfermedad conocida como Marchitez por Fusarium, que genera pérdidas económicas significativas. En México, se han reportado la presencia de FOC raza 1 y 2 afectando a diversas variedades de bananos y plátanos. Este estudio tuvo como objetivo la identificación morfológica y molecular de FOC en banano “Manzano” (*Musa* AAB, subgrupo Silk) en el estado de Nayarit, México. Se obtuvieron aislamientos de FOC de pseudotallos de plantas enfermas en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) con antibióticos. Los aislamientos fueron caracterizados morfológicamente mediante microscopía óptica. La identificación molecular se realizó por PCR y secuenciación de las regiones ITS. Para las pruebas de patogenicidad, la cepa FOCR1Nay01 se cultivó en medio PDA diluido, cuantificándose una suspensión 1×10^6 esporas mL^{-1} , que se inocularon a plantas sanas de banano “manzano” en invernadero. La morfología microscópica mostró abundante producción de microconidias en falsas cabezas sobre monofilídes cortas, así como clamidosporas intercalares y terminales a partir de las cuatro semanas de cultivo. El análisis BLAST mostró una correspondencia con varias cepas de FOC aisladas a partir de diversos cultivares de bananos procedentes de la India, Sri Lanka y Pakistán con los cuales el aislamiento denominado FOCR1Nay01 de este estudio, comparte entre 90.84 a 99.82 % de identidad. El cladograma generado con secuencias ITS evidenció 2 grupos principales, ubicando el aislamiento FOCR1Nay01 en el grupo 2 junto con otros más de la India y Sri Lanka, principalmente. Las pruebas de patogenicidad evidenciaron alta susceptibilidad de banano “Manzano” a este patógeno, el cual fue reaislado de las plantas inoculadas. Todos estos datos indican que el aislamiento de México corresponde a la raza 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*.

Palabras clave: FOC, filogenia, identificación, ITS, microscopía, patogenicidad.

ABSTRACT

Bananas and plantains (*Musa* spp.) are tropical fruits of economic importance for Mexico and one of the most important worldwide. Depending on the cultivars, they are affected by races of the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (FOC), which causes the disease known as Fusarium wilt, leading to significant economic losses. In Mexico, the presence of FOC race 1 and 2 affecting different varieties of bananas and plantains has been reported. This study aimed to identify FOC morphologically and molecularly in “Manzano” banana (*Musa* AAB, Silk subgroup) in the state of Nayarit, Mexico. Isolations of FOC were obtained from pseudostems



of infected plants on Potato Dextrose Agar (PDA) supplemented with antibiotics. The isolations were morphologically characterized by optical microscopy. Molecular identification was performed using PCR and sequencing of the ITS regions. For pathogenicity tests, the FOCR1Nay01 strain was cultured in low-strength potato dextrose agar (LSPDA), achieving a suspension of 1×10^6 spores/mL, which was inoculated into healthy "Manzano" banana plants in a greenhouse. Microscopic morphology revealed abundant production of microconidia in false heads on short monophialides, along with intercalary and terminal chlamydospores beginning four weeks post-cultivation. BLAST analysis showed a match with several strains of FOC isolated from various banana cultivars from India, Sri Lanka, and Pakistan, sharing 90.84% to 99.82% identity with the isolation termed FOCR1Nay01 from this study. The cladogram generated with ITS sequences revealed two main groups, placing the FOCR1Nay01 isolation in group 2 along with others from India and Sri Lanka, primarily. Pathogenicity tests demonstrated a high susceptibility of "Manzano" bananas to this pathogen, which was reisolated from the inoculated plants. All these data indicate that the isolation from Mexico corresponds to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1.

Keywords: FOC, phylogeny, identification, ITS, microscopy, pathogenicity.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de bananos y plátanos representa una fuente fundamental para la seguridad alimentaria a nivel mundial y desempeña un papel importante en la economía de muchos países, incluyendo a México. En este contexto, la identificación y manejo de patógenos que afectan a este cultivo es crucial para prevenir pérdidas económicas significativas. La especie *Fusarium oxysporum* es una de las económicamente más importantes y comprende un amplio rango de aislamientos patogénicos en diversos hospedantes, causando enfermedad en más de 150 plantas (Fourie *et al.*, 2011); sin embargo, cada cepa es patogénica en una o pocas especies hospedantes. Estos aislamientos patogénicos son divididos entonces en formas especiales (f. sp.) de acuerdo a las especies vegetales en las que causan enfermedad, y donde es posible, clasificarlas en razas fisiológicas de acuerdo a la especificidad en diversos cultivares de un mismo hospedante (Meldrum *et al.*, 2012).

En este sentido, a nivel global la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) ha sido histórica, y actualmente es la enfermedad más destructiva que afecta al cultivo de bananos y plátanos. Cuatro razas se han descrito de acuerdo a su especificidad en las variedades de musáceas (Dita *et al.*, 2010). La raza 1 causa enfermedad en la variedad Gros Michel y genotipos con genoma AAB; la raza 2 afecta a la variedad Bluggoe y sus genotipos relacionados (genomas ABB); la raza 3 es patogénica a las especies del género *Heliconia*, por lo tanto, ya no es considerada como parte de la estructura de FOC (Meldrum *et al.*, 2012); finalmente la raza 4 ataca a las

variedades Cavendish y todas aquellos susceptibles a la raza 1 y 2. Así mismo, la raza 4 es dividida en raza 4 tropical (RT4) y raza 4 subtropical (ST4), donde los aislamientos RT4 causan enfermedad en condiciones de trópico y subtrópico, mientras que los aislados de ST4 causan enfermedad únicamente en condiciones subtropicales (Fourie *et al.*, 2011).

En el continente americano, la diseminación de FOC raza 4 se ha reportado en plantaciones de banano de países como Colombia, Perú y recientemente, en el 2023 en Venezuela (Acuña *et al.*, 2022; García-Bastidas *et al.*, 2020; Mejías Herrera *et al.*, 2023). En México, se han reportado las razas 1 y 2 de FOC afectando cultivos de bananos y plátanos (SENASICA, 2022). Aunque hasta la fecha, la raza 4 se ha documentado ausente en el país, se plantea un escenario de alerta y la necesidad de un monitoreo constante (DGSV-DCNRF, 2023). El problema de la presencia y potencial introducción de FOC raza 4 en México es alarmante, dado el riesgo que representa para la industria bananera, donde este cultivo es de vital importancia económica y social. Con base en lo anterior, el riesgo de introducción de FOC raza 4 a México es alto, debido a su fácil diseminación, el cual se propaga en gran medida por suelo contaminado y material vegetativo infectado (Dita *et al.*, 2018; Pegg *et al.*, 2019). El objetivo del estudio fue realizar la identificación morfológica y molecular de FOC en plantas de banano “Manzano” del estado de Nayarit.

Para el año 2023, en el estado de Nayarit, México se reportaron 614 hectáreas de banano “Manzano” (*Musa* AAB, subgrupo Silk) (SIAP, 2024). El principal problema fitosanitario de este cultivar es la marchitez por *Fusarium*, el cual está ampliamente diseminado en todas las zonas productoras de banano de la entidad. A pesar de su importancia económica, existe poca información publicada sobre la raza de FOC afectando este cultivar. En julio del año 2022, se realizó un recorrido en la localidad de Gavilán Grande (georreferencia: 21.79694, -105.28417), perteneciente al municipio de Santiago Ixcuintla en el estado de Nayarit, México con el propósito de obtener muestras de plantas enfermas en una finca con banano “Manzano”. Se cortaron plantas enfermas en varios puntos del predio, buscando la colonización de FOC en los haces vasculares del pseudotallo y se tomaron láminas delgadas de tejido, a partir de las cuales se realizaron los aislamientos utilizando PDA suplementado con cloranfenicol (100 mg L⁻¹) y estreptomycin (50 mg L⁻¹). Los cultivos axénicos fueron caracterizados morfológicamente mediante observación al microscopio óptico.

La caracterización molecular de los aislamientos de FOC se realizó a partir de crecimientos en medio líquido PDB (caldo Dextrosa y Papa), de donde se extrajo el DNA del hongo, utilizando entre 200-300 mg de biomasa de FOC, para ello se usó el método clásico basado en el uso del CTAB (Bermúdez-Guzmán *et al.*, 2016). El DNA

extraído fue cuantificado y se evaluó su pureza con un espectrofotómetro NanoDrop 2000. La integridad del DNA se corroboró mediante electroforesis en gel de agarosa al 1 % con buffer TAE. Se amplificó por PCR la región ITS (Internal Transcribed Spacer) de 3 aislamientos (White *et al.*, 1990) y se envió a un servicio de secuenciación para su posterior análisis bioinformático. A partir de una base de datos local creada con 61 secuencias ITS de FOC descargadas de la base de datos Popset de NCBI (National Center for Biotechnology Information) se realizó un análisis BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) del cual se seleccionaron 25 secuencias con mayor porcentaje de identidad, las cuales fueron alineadas y editadas utilizando el algoritmo ClustalW y se elaboró un cladograma con el método de construcción UPGMA y un análisis de Bootstrap con 1,000 réplicas utilizando una licencia vigente del software CLC Main Workbench 24.0.2.

Para las pruebas de patogenicidad se utilizó la cepa FOCR1Nay01 para la producción masiva de esporas del hongo en medio LSPDA (low-strength potato dextrose agar). Este medio contiene 12.5 g L⁻¹ de agar de dextrosa y papa y 19.5 g L⁻¹ de agar-agar, según lo descrito por Moradi *et al.* (2017). La cuantificación de las esporas se realizó con ayuda de una cámara de Neubauer (hematocitómetro) y un microscopio óptico hasta obtener una concentración de 1x10⁶ esporas mL⁻¹ (Arredondo-Vega y Voltolina, 2007), con la cual se inocularon mediante “drench” (causando heridas en raíz) plantas sanas de banano “Manzano” de 40 días de edad en condiciones de invernadero.

Se obtuvieron tres aislamientos de *Fusarium* sp. procedentes de Nayarit, México. De manera general los aislados presentaron colonias con un diámetro de 8 cm a los 7 días de incubación a 28 °C en Agar Papa Dextrosa (PDA), abarcando la totalidad del medio, con micelio algodonoso, hialino y producción de pigmento violeta en el reverso de la colonia. Microscópicamente, se observó abundante producción de microconidias ovaladas-elípticas, rectas, mayormente unicelulares, en falsas cabezas sobre monofiáldes cortas, así como de clamidosporas intercalares y terminales a partir de las 4 semanas de cultivo (Figura 1), características que concuerdan con lo reportado por Leslie y Sumerell (2006) y Maryani *et al.* (2019) para *Fusarium oxysporum*, que presenta una diversidad morfológica colonial.

Para la extracción del DNA genómico se pulverizó la biomasa de los hongos con

nitrógeno líquido y se utilizó un método clásico basado en el uso del CTAB, comúnmente aplicado para plantas (Bermúdez-Guzmán *et al.*, 2016). Finalmente, para todas las muestras se obtuvo una concentración promedio de $400 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ de DNA con valores de pureza promedio de 2 y 1.7 para las relaciones de absorbancia de 260/280 y 260/230, respectivamente. Los productos de PCR presentaron bandas únicas y fueron secuenciados en Macrogen. La edición y análisis de las secuencias se realizaron con el programa CLC Main Workbench 24.0.2. Las secuencias “Forward” y “Reverse” fueron ensambladas para obtener secuencias consenso, las cuales fueron utilizadas para realizar el análisis BLAST. Para este fin, se descargaron secuencias de regiones ITS de FOC procedentes de PopSet en NCBI para realizar una base de datos local de 61 secuencias.

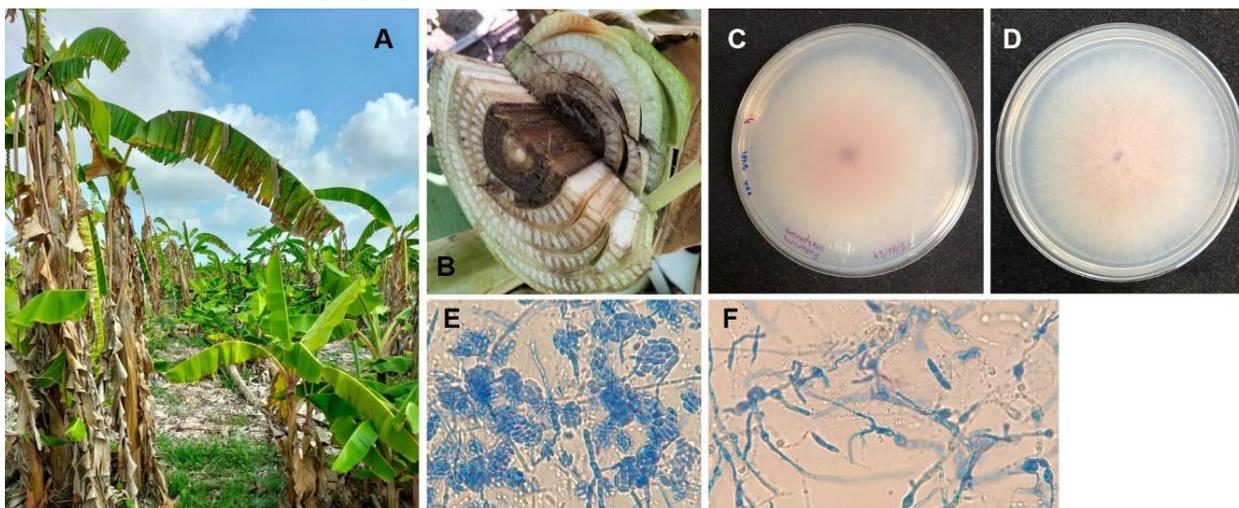


Figura 1. Aislamiento y caracterización morfológica de FOC raza 1 de plantas de banano “Manzano”. A) Plantas de banano “Manzano” con síntomas de marchitez por *Fusarium*. B) Colonización de los haces vasculares por FOC en el pseudotallo. C) y D) Anverso y reverso de cepa purificada de FOC. E) y F) Estructuras de clamidosporas y macroconidias de Foc.

Las secuencias ITS de los tres aislamientos de este estudio fueron homólogas, se trata de secuencias de 559 pb de longitud, por lo que es muy probable se trate del mismo aislamiento, debido también a que los hongos se aislaron de plantas del mismo predio, por tal motivo se consideró solamente como un único aislamiento denominado FOCR1Nay01. De manera similar Muhammad *et al.* (2017) también obtuvieron secuencias homólogas en 3 aislamientos de FOC en banano procedentes de Pakistán.

El análisis BLAST en la base de datos de NCBI de FOCR1Nay01 coincidió con secuencias de regiones ITS de FOC aislados a partir de diversas variedades de plantas

de bananos procedentes de la India, Sri Lanka y Pakistán, con las cuales el aislamiento denominado FOCR1Nay01 de este estudio, comparte entre 90.84 a 99.82 % de identidad. La gran mayoría de información sobre secuencias ITS de FOC en la base de datos de NCBI corresponde a raza 4, debido a la gran amenaza que representa para los bananos y plátanos. En este sentido hay muy poca información en relación a esta región para las razas 1 y 2. La secuencia FOCR1Nay01(NCBI: PQ787221) presentó en una cobertura de 482 nucleótidos un porcentaje de identidad de 99.38 % con la cepa M1 de FOC raza 1 (NCBI: OR617432) aislado de plantas de plátano procedentes de Costa de Marfil.

Para la construcción del cladograma de la Figura 2, se utilizaron secuencias ITS con una cobertura de 427 pb, revelando dos grupos principales que agrupan diversas cepas de FOC procedentes de suelo, cormo y rizoma de plantas de banano y plátano de distintas variedades. El grupo 1 está conformado principalmente por aislamientos de Pakistán, mientras que el grupo 2 incluye aislamientos de FOC principalmente de India y Sri Lanka. El aislamiento de México se ubicó en el grupo 2, y su análisis filogenético sugiere un probable origen a partir de cepas de FOC de estos países asiáticos. Solamente tres cepas de FOC del grupo 2 procedentes de la India (MH454072.1, MH454073.1 y MH454071.1) fueron identificadas a nivel de raza, perteneciendo a la raza 4 tropical, y comparten un 99.77 % de identidad con el aislamiento mexicano. De forma similar, el resto de los aislamientos de FOC del grupo 2 muestran el mismo porcentaje de identidad con el aislamiento mexicano (99.77 %), mientras que las cepas del grupo 1 presentan entre 97.89-99.06 % de identidad con el aislamiento FOCR1Nay01.

Estos datos indican que la región ITS está altamente conservada en FOC. Por lo tanto, es recomendable secuenciar y realizar análisis filogenéticos con otras regiones, como TEF-1 α e IGS (Dita *et al.*, 2010). Alternativamente se puede hacer uso de marcadores específicos para la identificación de razas de FOC, tales como FOCR1F/FOCR1R, FOCR4F/FOCR4R, FOCTR4F/FOCTR4R y FOCSTR4F/FOCSTR4R (Thangavelu *et al.*, 2022). Actualmente, con la reducción de costos en la tecnología de secuenciación de nueva generación (NGS), se pueden analizar los genomas completos de las cepas de FOC para determinar de forma precisa la raza a la que pertenecen (Raman *et al.*, 2021). En un estudio de Muhammad *et al.* (2017) una secuencia parcial de 444 pb del espaciador intergénico del ARN ribosomal 28S-18S, amplificada con oligonucleótidos FOCTR4 F/R, de tres aislados representativos de Pakistán (números de acceso de Genbank: KF270879, KP893342 y KP893343, respectivamente) tuvieron 100 % de identidad entre sí, es decir, son secuencias homólogas, por lo que esta región también está altamente conservada en

FOC. El análisis filogenético con el espaciador intergénico indicó que los aislados paquistaníes pertenecen al linaje V caracterizado previamente (Fourie *et al.*, 2009) de la raza tropical 4 de FOC (Fourie *et al.*, 2009).

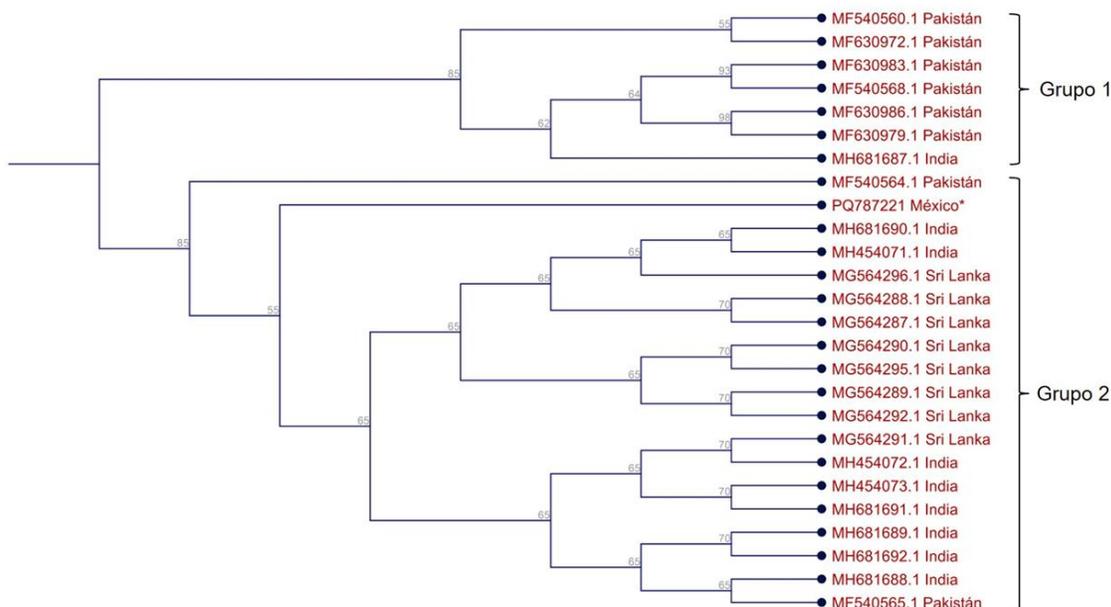


Figura 2. Cladograma de la región ITS de diversos aislamientos de FOC. Se muestra el ID de Genbank seguido del país de origen del aislamiento. La muestra con asterisco corresponde a este estudio. Los números en los nodos corresponden al porcentaje de Bootstrap.

Recientemente, la amplificación por PCR del gen *TEF1-α* produjo fragmentos de ~690 pb en 46 aislados de FOC. A partir de estos datos se generó un árbol filogenético cuyo análisis evidenció dos clados principales denominados A y B. El clado A contiene todos los aislados FOC R1, y el clado B contiene todos los aislados FOC R4, que incluyen los aislados TR4 y STR4 (Thangavelu *et al.*, 2024). Aunque este estudio solo determina el origen geográfico del aislamiento mexicano, la mayoría de las investigaciones actuales se enfoca en identificar las agrupaciones de cepas de FOC basadas en los diferentes genes asociados a las distintas razas a las que pertenecen.

En las pruebas de patogenicidad realizadas con plantas de banano “Manzano” (genotipo AAB), se inocularon cinco plantas con la cepa FOCR1Nay01, mientras que otras cinco plantas sanas, que no fueron inoculadas, fueron consideradas como controles. La manifestación de los síntomas característicos de marchitez por *Fusarium* (amarillamiento y marchitez en hojas) se presentó a los 30 días después de la inoculación. Las plantas permanecieron en malla sombra por 60 días más y

posteriormente fueron cortados los pseudotallos para buscar colonización por FOCR1Nay01 en los haces vasculares, tejido a partir del cual se reisoló el patógeno (Figura 3). La muerte total o parcial de las plantas de banano “Manzano” ocurrió a los 120 días.

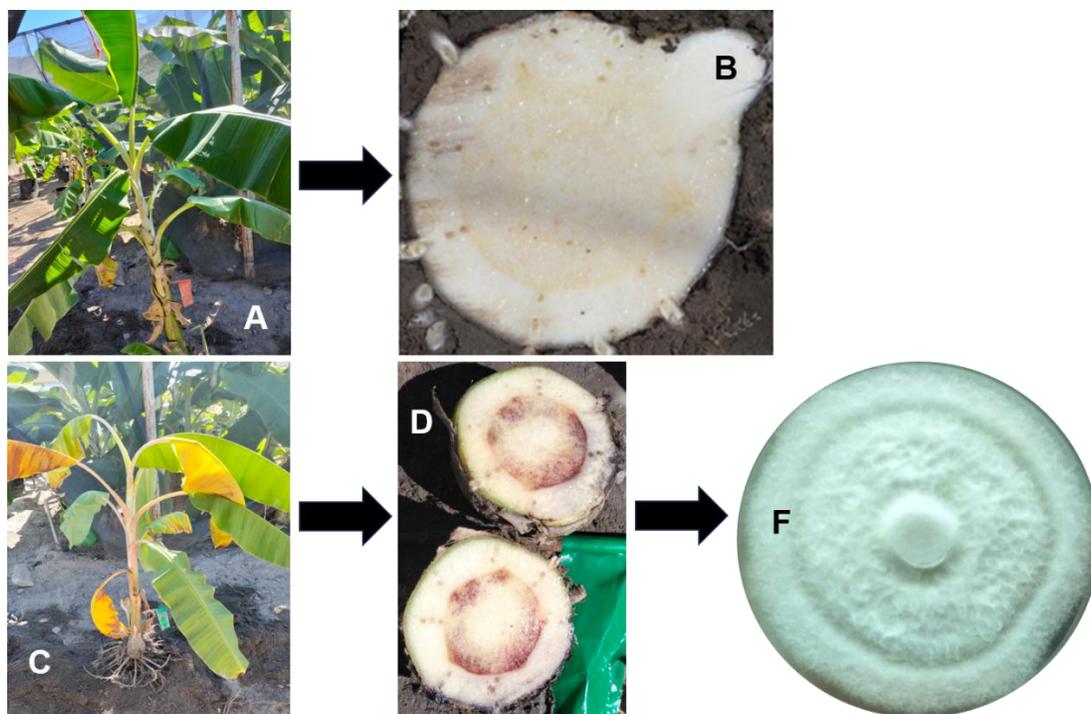


Figura 3. Pruebas de patogenicidad de FOC R1 en banano “Manzano”. A) Planta de banano “Manzano” sana. B) Corte de pseudotallo sin colonización de FOC. C) Planta de banano “Manzano” infectada con la cepa FOCR1Nay01 con síntomas de marchitez por *Fusarium*. D) Corte de pseudotallo con haces vasculares colonizados por FOCR1Nay01. E) Reaislamiento de la cepa FOCR1Nay01 de plantas de banano inoculadas.

Con el fin de llevar a cabo un análisis filogenético más robusto y diagnosticar las distintas razas de FOC, el grupo de trabajo se ha centrado en la identificación de focos de infección por marchitez por *Fusarium* para obtener una colección de aislamientos en diversas zonas plataneras de México. Esto permitirá utilizar marcadores moleculares específicos de las razas, como los descritos recientemente por Thangavelu *et al.* (2022) y, en la medida de lo posible, realizar secuenciación de nueva generación que permita generar información valiosa que contribuya a un análisis más detallado de las diferencias genéticas, facilitando así la elaboración de filogenias y la determinación de razas.

Esta prueba nos indica que el genotipo de banano “Manzano” es altamente susceptible a la cepa FocR1Nay01, por lo que considerando que aún no hay reportes de FOC raza 4 en México y que la raza 2 es patógena para plátanos de cocción como ‘Bluggoe’ (ABB) (Dita *et al.*, 2018; Ploetz y Pegg, 2000), podemos concluir que el aislamiento de este trabajo corresponde a la raza 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

REFERENCIAS

1. Acuña, R., Rouard, M., Leiva, A. M., Marques, C., Olortegui, J. A., Ureta, C., Cabrera-Pintado, R. M., Rojas, J. C., Lopez-Alvarez, D., Cenci, A., Cuellar, W. J., & Dita, M. (2022). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 causing *Fusarium* wilt in Cavendish bananas in Peru. *Plant Disease*, 106(8), 2268. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1951-PDN>
2. Arredondo-Vega, B., & Voltolina, D. (2007). Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. In: Arredondo Vega B. O. y Voltolina D. (Eds.), Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California Sur, México, pp. 17-25.
3. Bermúdez-Guzmán, M. de J., Guzmán-González, S., Orozco-Santos, M., Velázquez-Monreal, J. J., Buenrostro-Nava, M. T., & Michel-López, C. Y. (2016). Optimización de un protocolo para aislamiento de DNA de hojas de *Saccharum officinarum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.263>.
4. DGSV-DCNRF. 2023. Marchitez por *Fusarium*. (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical, Foc R4T). SADER-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Dirección del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha Técnica. Tecámac, Estado de México. 10 p.
5. Dita, M. A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I. W., Souza Jr, M. T., & Kema, G. H. J. (2010). A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen. *Plant Pathology*, 59(2), 348-357. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02221.x>
6. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). *Fusarium* wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>.
7. Fourie, G., Steenkamp, E. T., Gordon, T. R., & Viljoen, A. (2009). Evolutionary relationships among the *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* vegetative compatibility groups. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(14), 4770-4781. <https://doi.org/10.1128/AEM.00370-09>.
8. Fourie, G., Steenkamp, E. T., Ploetz, R. C., Gordon, T. R., & Viljoen, A. (2011). Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* within the *Fusarium oxysporum* complex. *Infection, Genetics and Evolution: Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases*, 11(3), 533-542. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.01.012>.
9. García-Bastidas, F. A., Quintero-Vargas, J. C., Ayala-Vasquez, 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>.
10. Leslie, J. F. and B. A. Summerell. 2006. The *Fusarium* laboratory manual. Wiley- Blackwell Publishing Ames, IA, USA. 388 p.

11. Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y. S., Subandiyah, S., Crous, P. W., & Kema, G. H. J. (2019). Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian center of origin. *Studies in Mycology*, *92*, 155-194. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003>.
12. Mejías Herrera, R., Hernández, Y., Magdama, F., Mostert, D., Bothma, S., Paredes Salgado, E. M., Terán, D., González, E., Angulo, R., Angel, L., Rodríguez, Y., Ortega, R., Viljoen, A., & Marys, E. E. (2023). First report of *Fusarium* wilt of Cavendish bananas caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 in Venezuela. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-23-0781-PDN>.
13. Meldrum, R. A., Fraser-Smith, S., Tran-Nguyen, L. T. T., Daly, A. M., & Aitken, E. A. B. (2012). Presence of putative pathogenicity genes in isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* from Australia. *Australasian Plant Pathology*, *41*, 551-557. <https://doi.org/10.1007/s13313-012-0122-x>.
14. Moradi, M., Dehne, H.-W., Steiner, U., & Oerke, E.-C. (2017). Improved procedure for mass inoculum production of *Fusarium* species in a short period of time. *Applied Entomology and Phytopathology*, *84*, 21-31. <https://doi.org/10.22092/jaep.2017.109009>.
15. 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*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395>.
16. Ploetz, R.C. and Pegg, K.G. 2000. *Fusarium* wilt. In: Abaca and Enset. Jones, D.R. (Ed.), Diseases of banana. Wallingford, UK. CABI. Pp. 143-159.
17. Raman, T., Edwin Raj, E., Muthukathan, G., Loganathan, M., Periyasamy, P., Natesh, M., Manivasakan, P., Kotteeswaran, S., Rajendran, S., & Subbaraya, U. (2021). Comparative whole-genome sequence analyses of *Fusarium* wilt pathogen (foc R1, STR4 and TR4) infecting Cavendish (AAA) bananas in India, with a special emphasis on pathogenicity mechanisms. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, *7*(9), 717. <https://doi.org/10.3390/jof7090717>.
18. SENASICA, 2022. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Protocolo de Diagnóstico: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Marchitez por *Fusarium*) [Versión 2.0]. Tecámac, México: Autor.
19. SIAP, 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consulta el 1 de noviembre del 2024).
20. Thangavelu, R., Amaresh, H., Gopi, M., Loganathan, M., Nithya, B., Ganga Devi, P., Anuradha, C., Thirugnanavel, A., Patil, K. B., Blomme, G., & Selvarajan, R. (2024). Geographical distribution, host range and genetic diversity of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *cubense* causing *Fusarium* wilt of banana in India. *Journal of Fungi*, *10*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/jof10120887>.
21. Thangavelu, R., Edwinraj, E., Gopi, M., Pushpakanth, P., Sharmila, K., Prabakaran, M., Loganathan, M., & Uma, S. (2022). Development of PCR-based race-specific markers for differentiation of Indian *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, the causal agent of *Fusarium* wilt in banana. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, *8*(1), 53. <https://doi.org/10.3390/jof8010053>.
22. White, T., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J., Innis, M., Gelfand, D., & Sninsky, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En *Pcr Protocols: A Guide to Methods and Applications*, (Vol. 31, pp. 315-322).

Estudio ultraestructural del exocarpo de frutos de banano (*Musa AAA*) con presencia de “mancha de madurez”

Jorge Luis Sandoval-Solís^{1*}, Roddy Ortega-Bonilla¹, Ethel Sánchez-Chacón², Jorge Sandoval-Fernández³,
Rafael Segura-Mena¹

¹Dirección de Investigaciones, Eje Relación Suelo-Planta, Corporación Bananera Nacional (CORBANA);

²Investigadora independiente; ³Investigador independiente, Costa Rica.

***Autor de Correspondencia:**

Jorge Luis Sandoval-Solís
jlsandoval@corbana.co.cr

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fisiología y Bioquímica

Recibido:
15 diciembre, 2024

Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Sandoval-Solís JL, Ortega-Bonilla R, Sánchez-Chacón E, Sandoval-Fernández J, Segura-Mena R. 2025. Estudio ultraestructural del exocarpo de frutos de banano (*Musa AAA*) con presencia de “mancha de madurez”. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 2(1): 102 <https://doi.org/10.62498/ARTC.25102>

RESUMEN

La mancha de madurez es un desorden fisiológico observado en la epidermis del fruto de banano asociado con condiciones de estrés y deficiencias nutricionales, principalmente de calcio. No obstante, los factores involucrados continúan en estudio. El objetivo de la investigación fue realizar un estudio ultraestructural del exocarpo del banano, con presencia y ausencia de mancha de madurez, para observar el tipo de lesión anatómica y comprender mejor las consecuencias de esta anomalía en la calidad del fruto. Para tal propósito, secciones del exocarpo fueron analizadas mediante microscopía electrónica de barrido y de transmisión. En frutos sin presencia de mancha de madurez se observaron células normales con paredes primarias de grosor regular, plasmalemas continuas, presencia de organelos y vacuolas normales. Los estomas son funcionales y sin alteración anatómica. El tejido parenquimático y los haces vasculares no presentaron ninguna alteración en su conformación. En contraste, en frutos con presencia de la mancha de madurez, se observaron rupturas de diferente longitud y profundidad en las células epidérmicas, las cuales provocan alteración y desprendimiento en las capas de la cera epicuticular. Los estomas presentaron alteraciones morfológicas debido a la tensión que ejercen las fisuras que le rodean. Se observó un rompimiento de membranas plasmáticas y de organelos, así como la presencia de un material denso, de color oscuro, posiblemente relacionado con presencia y liberación de compuestos fenólicos y/o látex. En algunos casos, fue evidente un colapso total de la integridad de las células. Las características anatómicas y morfológicas observadas son afectadas por factores ambientales, mecánicos y fisiológicos.

Palabras clave: anatomía, deficiencia de calcio, fisiología, microscopía electrónica.

ABSTRACT

The maturity bronzing of banana is a physiological disorder observed in the epidermis of banana fruit associated with stress conditions and nutritional deficiencies, mainly calcium. However, the factors involved are still under investigation. The objective of the research was to conduct an ultrastructural study of the banana exocarp, with and without maturity bronzing to observe the type of anatomical lesion and understand better the consequences of this anomaly on the quality of the fruit. For this purpose, sections of the exocarp were analyzed by scanning and transmission electron microscopy. In fruits without maturity bronzing, normal cells were observed with primary walls of regular thickness, continuous plasmalemmas,



presence of normal organelles and vacuoles. The stomata are functional and without anatomical alteration. The parenchymal tissue and vascular bundles did not present any alteration in their conformation. In contrast, in fruits with the presence of maturity bronzing, anomalies of different lengths and depths were observed in the epidermal cells, which showed detachment of the layers of their epicuticular wax. The stomata presented deep morphological alterations. A rupture of plasma membranes and organelles was observed, as well as the presence of a dense, dark-colored material, possibly related to the presence and release of phenolic compounds and/or latex. In some cases, a total collapse of the integrity of the cells was evident. The anatomical and morphological characteristics observed are impaired by environmental, mechanical and physiological factors.

Keywords: anatomy, calcium deficiency, physiology, electron microscopy.

INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa AAA*, Subgrupo *Cavendish*) es uno de los cultivos tropicales más importantes en términos de exportación y consumo a nivel mundial (Stoorvogel y Segura, 2018). Es una fuente importante de divisas, de empleo y de alimento para una población siempre creciente (Martínez y Rey, 2021). Es un fruto considerado alto en energía, rico en vitaminas, minerales y de corta vida en los anaqueles (Blasco y Gómez, 2014). La obtención de buenas cosechas está limitada por la presencia de plagas, enfermedades y de otros aspectos de índole fisiológica que deben ser adecuadamente manejados para lograr una buena producción (Manzo *et al.*, 2014; Jones, 2019).

La productividad del banano (cajas de exportación producidas por hectárea) se afecta por otros factores como clima, variedad genética, manejo agronómico y otros problemas asociados a nutrición fisiológica. Un problema de naturaleza fisiológico es el denominado mancha de madurez (Díaz *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2013).

En este problema podría estar involucrado el estrés hídrico, uso de fundas protectoras del racimo y relaciones entre elementos minerales usados en la nutrición del cultivo (Campbell y Williams, 1976; 1978; Daniells, 1985; Daniells *et al.*, 1987; Rice, 2007). Investigaciones han concluido que la susceptibilidad del fruto a mancha de madurez está influenciada por aspectos nutricionales relacionados principalmente con calcio y otros como el magnesio, boro y sus relaciones (García y Mora, 2006; Díaz *et al.*, 2006, 2007; Sánchez *et al.*, 2013).

La mancha de madurez puede aparecer cuando existe inadecuada y baja absorción de calcio en épocas secas. Se ha determinado que el calcio es fundamental en la calidad de frutos del banano (Simmonds, 1962; Díaz, 2004; Díaz *et al.*, 2006; García y Mora, 2006). La sintomatología en los frutos se reconoce por la presencia en

el exocarpo de un bronceado color marrón a pardo claro o rojizo (Daniells *et al.*, 1987; Daniells *et al.*, 1992). Los frutos que poseen las características anteriores no clasifican para exportación a mercados internacionales y es rechazada.

Los porcentajes de fruta rechazada son un detrimento de calidad, producción y la economía. En la zona caribe de Costa Rica, este desorden fisiológico aparece estacionalmente provocando hasta un 30 % del desperdicio total del banano (Serrano *et al.*, 2008). En condiciones de Urabá, Colombia, las pérdidas pueden alcanzar hasta un 5 % por hectárea en periodos de baja presencia y hasta un 18 % por ha de la producción en épocas de alta incidencia (Díaz, 2004; Díaz *et al.*, 2007). Esto constituye uno de los factores de mayor importancia económica dentro del esquema de obtención de alta productividad en entornos tropicales (Díaz *et al.*, 2007).

En el cultivo de banano existen estudios relacionados con aspectos anatómicos para explicar la funcionalidad de los órganos u otros aspectos específicos de la planta, pero no son recientes (Sandoval *et al.*, 1994; Shapira *et al.*, 2009). Williams *et al.*, (1988; 1989) realizaron estudios de anatomía mediante el uso de microscopía y observaron que en el fenómeno de mancha de madurez ocurrían cambios a nivel de epidermis y de la cera epicuticular presentes en fruto.

La mancha de madurez se observa en las células epidérmicas de la cáscara del fruto. Al no participar el calcio, las células son susceptibles al rompimiento de sus paredes y a la desintegración de las membranas celulares y del fluido interno de dichas células que se ubica en los espacios intercelulares de la epidermis. El fluido celular al oxidarse produce dopamina, sustancia que es responsable de producir la coloración característica de mancha de madurez (Williams y Campbell, 1976; Williams *et al.*, 1988; Williams *et al.*, 1990; Liu *et al.*, 2020).

El objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio ultraestructural del exocarpo (epidermis del fruto) del banano, con presencia de mancha de madurez y frutos sanos para observar el tipo de lesión anatómica y comprender mejor las consecuencias de esta anomalía desde el punto de vista de calidad de fruto. Asimismo, documentar los resultados debido a que hay poca información actual disponible al respecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de frutos con presencia de mancha de madurez y de frutos normales se colectaron en una plantación comercial de banano (*Musa* AAA), subgrupo Cavendish, variedad 'Gran Enano' ubicada en el cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa

Rica. La fruta con mancha de madurez se identificó por las fisuras presentes en la cara externa y con áreas de color marrón sobre la corteza (Fig. 1). En cambio, la fruta normal no presentaba este tipo de síntomas. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio del Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas (CIEMIC) de la Universidad de Costa Rica, para el procesamiento y análisis mediante microscopía electrónica de barrido y transmisión.

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

A seis frutos verdes de banano, con presencia de mancha de madurez y seis frutos sanos, se les extrajo varias secciones del exocarpo, en la parte externa del fruto de aproximadamente 1.5 cm³ cada una. Se colocaron por 3 horas en frascos debidamente rotulados y conteniendo solución fijadora de Karnovsky (Glutaraldehído 2.5 %, paraformaldehído 2 %, sacarosa 2 % en amortiguador de fosfato de sodio 0.1 M pH 7.4). Seguidamente, se lavaron tres veces en el amortiguador y luego se posfijaron en una solución de tetraóxido de osmio al 1 % por 2 horas, para luego realizar tres lavados con agua destilada, de 15 minutos cada uno. Luego se deshidrataron utilizando un gradiente ascendente de etanol (30 %, 50 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 % y 100 %) por 15 minutos en cada solución. Posteriormente, se efectuaron cuatro cambios de 20 min en terbutanol y luego se procedió a secar por sublimación, utilizando un secador, modelo VF-20. Una vez que las muestras se secaron se procedió a montarlas sobre bases de aluminio, utilizando cinta adhesiva de carbón. Luego se cubrieron con 70 nm de oro para ser observadas con el microscopio electrónico de barrido marca Hitachi, modelo S-570 y se tomaron micrografías con una cámara digital marca Pentax, modelo K 100.

Microscopía electrónica de transmisión

Se tomaron secciones del pericarpio de 6 frutos, 4 con presencia de mancha de madurez y 2 frutos sanos como controles, de aproximadamente de 3 mm² y se fijaron con solución Karnovsky (Glutaraldehído 2.5 % y paraformaldehído 2 % en amortiguador de fosfato de sodio 0.1 M, pH 7.4). Se lavaron con el amortiguador de fosfato de sodio y posfijaron con tetraóxido de osmio al 2 %, se lavaron nuevamente y deshidrataron en un gradiente ascendente de acetona (30 %, 50 %, 70 %, 90 % y 100 %). Seguidamente, las secciones se embebieron en resina Spurr y se polimerizaron a 70 °C. Utilizando una cuchilla de diamante y un ultramicrotomo marca Reichert, se realizaron cortes ultrafinos de aproximadamente 70 nm de grosor. Estos se contrastaron con acetato de uranilo e hidróxido de plomo y se observaron con un microscopio electrónico de transmisión (Hitachi H-7100).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las frutas que presentan síntomas con mancha de madurez, se observan a simple vista una serie de pequeñas fisuras de diferente longitud en la cara externa de las áreas afectadas, cercanas a la unión con el pedicelo del racimo. Además, se observan pequeñas grietas en la cáscara; con presencia de zonas de color marrón. Esta coloración esta probablemente relacionada con liberación de látex y su posterior oxidación (Fig. 1). Estas alteraciones no se observaron en ejemplares de frutos sin mancha de madurez.



Figura 1. Frutos de banano con presencia de la anomalía fisiológica conocida como mancha de madurez. Fotografía: Diana Segura.

Microscopía en frutos con mancha de madurez

En las muestras de frutas con mancha de madurez, analizadas con el microscopio electrónico de barrido, se logró observar una serie de fisuras de diferente longitud y profundidad en el exocarpo de la fruta (Fig. 2A y 2C). Se observó una línea de fractura, que muestra el rompimiento de las paredes celulares. A ambos lados de esta línea se nota la separación de las paredes celulares de las células adyacentes (Fig. 2A). Además, se observó el desprendimiento anormal de las capas de cera epicuticular (Fig. 2C) y se determinó la separación, la desuniformidad y el rompimiento de las paredes celulares (Fig. 2B).

La tensión que separa las paredes celulares causa una marca sobre la pared celular, dejando una huella aserrada, algunas veces muy pronunciada y en otros casos muy leve en las paredes periclinales (paralelas a la epidermis) de las células comprometidas en las fisuras. En estas se observó mayormente la marca aserrada. Se

observaron células epidérmicas totalmente separadas de sus células vecinas, fenómeno que fue común en otras zonas de la epidermis de frutas analizadas.

Los estomas también presentaron alteraciones morfológicas, ya que la mayoría de ellos mostraron un agrietamiento que se inicia entre las células guarda, continuándose hacia las células subsidiarias y otras células de la epidermis (Fig. 2D).

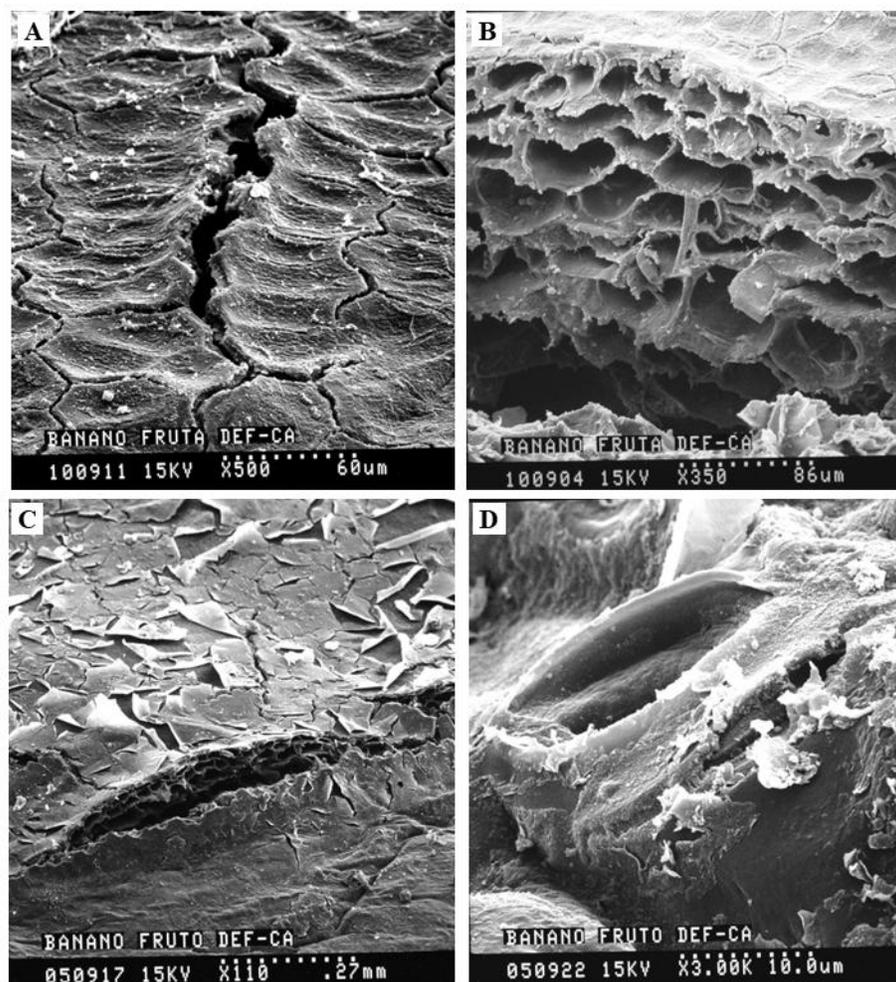


Figura 2. A. Epidermis del fruto mostrando varias fracturas y ruptura celular. B. Corte transversal donde se observan diferentes grados de fracturas de epidermis. C. Fisura epidérmica que evidencia la magnitud del daño. D. Alteración de anatomía normal del estoma causada por la presencia de fisuras profundas en las cercanías de las células guarda.

Microscopía en frutos sin mancha de madurez

Con el microscopio electrónico de barrido, se logró observar la epidermis del exocarpo con células longitudinales de morfología y anatomía normales (Fig. 3A).

Asimismo, la forma hexagonal de las células epidérmicas, la ornamentación de la cera epicuticular en forma de papilas y la presencia de placas de cera epicuticular que cubren diferentes áreas de estas (Fig. 3C).

Los estomas se observaron sin alteración, la mayoría de ellos presentaron ostiolos (poros) semiabiertos, células guarda turgentes y se notó una ornamentación estriada de sus células subsidiarias (Figs. 3B y 3D). En cortes transversales de secciones del fruto, se observaron células epidérmicas, y más hacia el interior el tejido parenquimático e inmerso en éste, los haces vasculares, formados por el xilema, el floema, las fibras y las células de parénquima. No fue evidente ninguna alteración en las células que integran estos tejidos.

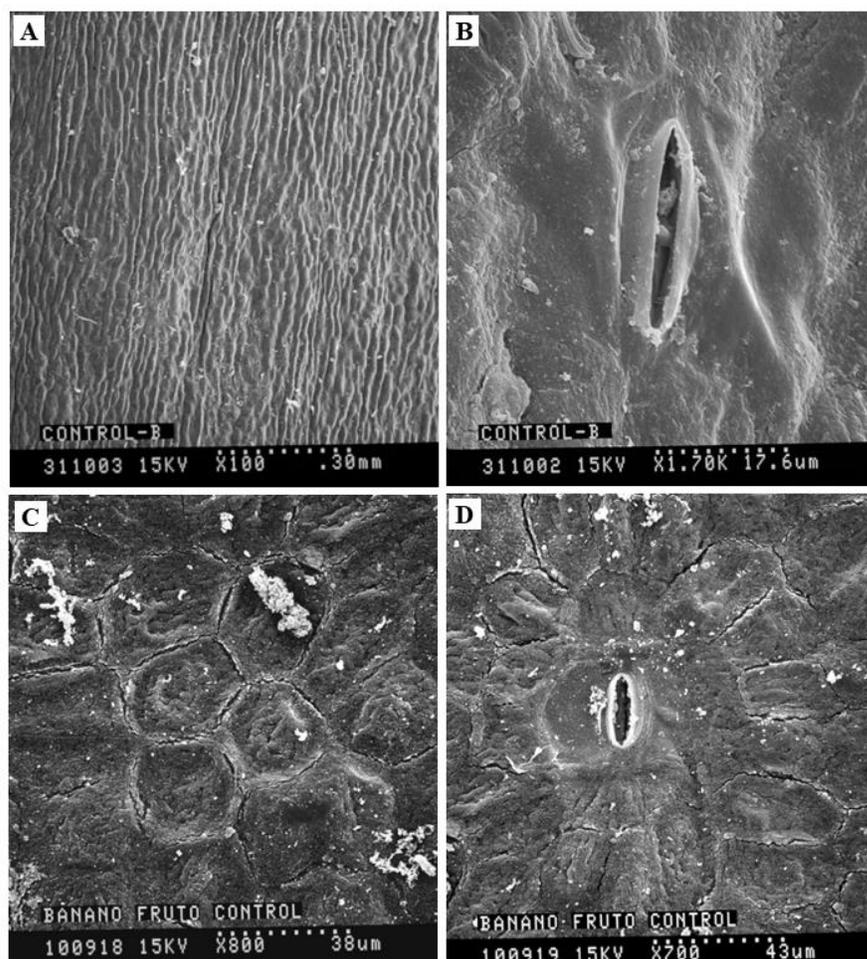


Figura 3. A. Células epidérmicas del exocarpo con anatomía y morfología normal. B. Estoma semiabierto con abundante cera epicuticular. C. Forma de células epidérmicas del fruto, aparentemente hexagonales, con grumos de cera epicuticular. D. Estoma con poro semiabierto, células guarda de aspecto normal y rodeados por sus células subsidiarias.

Microscopía electrónica de transmisión

Se observó con claridad las fracturas de las paredes celulares, el rompimiento de membranas plasmáticas y de organelos. Asimismo, se evidenció un material electrón-denso (muy oscuro) que podría corresponder a la liberación y oxidación del látex del fruto inmaduro (Fig. 4A). Las paredes celulares presentaron zonas con varias fracturas. Al romperse la pared y la membrana plasmática, la célula pierde su integridad y el contenido celular es liberado hacia el exterior (Fig. 4C). También, en algunas células donde las paredes se notaban sin alteraciones aparentes, las membranas se observaron colapsadas y no se pudo distinguir los distintos organelos celulares (Fig. 4B).

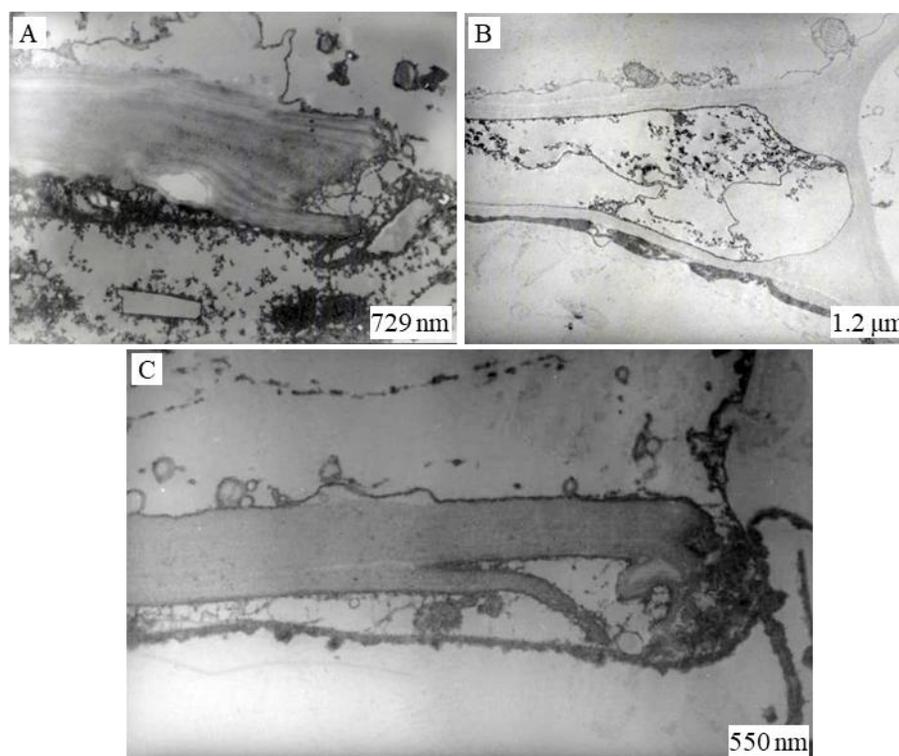


Figura 4. A. Detalle de la fractura de la pared celular de una célula epidérmica. B. Células de parénquima con alteraciones en la membrana plasmática. C. Se muestra una pared celular totalmente fracturada.

Entre los factores que generan estrés fisiológico se incluyen principalmente los provenientes por acción de organismos vivos, por actividad antropogénica como apuntala, deshoja y deshija; cambios en condiciones ambientales, como temperaturas extremas; salinidad excesiva; escasez o exceso de agua; cambios en intensidad lumínica y la deficiencia de nutrientes esenciales en la expresión de este desorden como calcio, boro y magnesio, elementos aparentemente importantes en la expresión

de mancha de madurez. El desbalance con otros nutrientes en células epidérmicas de cáscara del fruto también puede estar implicadas en este problema (Daniells *et al.*, 1987; Diaz *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2013).

El conjunto de estos factores puede inducir la deficiencia de un elemento clave como el calcio y propiciar la presencia de mancha de madurez al producir alteraciones, tanto anatómicas como fisiológicas a células del fruto de banano, características observadas en esta investigación. El calcio es un elemento que participa en gran cantidad de actividades metabólicas de la célula. Es un componente esencial de las membranas y las paredes celulares. Además, la lámina media de estructura amorfa, coloidal, está compuesta esencialmente de pectato de calcio, componente que actúa como una “goma”, muy importante en la unión entre paredes celulares (Flores, 2013). Al existir una deficiencia de este componente, es más fácil que esta estructura, pueda separarse al ocurrir el “llenado del fruto” y al ejercerse una fuerza sobre ella, favorece la separación de las paredes celulares de células adyacentes como se observó en varias de las secciones analizadas en frutos con mancha de madurez.

Es importante destacar que el calcio es un nutrimento de baja movilidad dentro de la planta una vez que ha formado parte de la estructura celular (López y Espinosa, 1995). Esta condición, sumada a factores como el incremento de temperatura y periodos de déficit hídrico pueden influir en el desorden fisiológico debido a disminución en la transpiración por cierre de estomas, lo que provoca disminución en absorción de nutrientes. En especial los de poca movilidad por el floema como el calcio y boro, o de transporte pasivo en planta como el magnesio, siendo estos los principales nutrientes asociados con la mancha de madurez (Sánchez y Mira, 2013).

En frutos de banano Cavendish (*Musa* AAA) la ruta principal de intercambio gaseoso la constituye los estomas (Collin y Folliot, 1990) y se encuentran en menor cantidad respecto a la densidad estomática (cm²) en hojas (Simmonds, 1962). En frutos sin presencia de mancha de madurez, los estomas se observan funcionales, ubicados sobre la superficie lisa de la epidermis, con sus partes estructurales normales. No se observaron estomas ubicados en depresiones como ocurre en frutos de otros tipos de banano y plátanos (Burdon *et al.*, 1994) y en el pseudotallo de la mayoría de las musáceas (Sandoval y Müller, 1999). En frutos con presencia de mancha de madurez, la fuerte laceración de la epidermis ocasiona colapso de estomas.

Pocos reportes relacionan la cera epicuticular en tejidos de banano. Su presencia en cutícula y epidermis de hoja y fruto está relacionada con la absorción de nutrimentos; como barrera mecánica de patógenos; en intercambio gaseoso, y como mecanismo de adaptación al estrés hídrico (Vásquez *et al.*, 1989). Su forma,

composición química y concentración puede variar entre partes de la planta y entre cultivares. En el banano estas características han sido utilizadas para estudios de clasificación taxonómica (Freeman y Turner, 1985). Estos autores encontraron que la cera epicuticular del fruto del banano está compuesta de aldehídos, cetonas, esterés, ácidos fáticos y alcoholes primarios. Los resultados obtenidos comprueban que la morfología de la cera epicuticular del fruto tiene forma de papilas y concuerda con lo observado por Freeman y Turner (1985); siendo diferente para otros órganos de la planta (Freeman y Turner, 1985; Sandoval *et al.*, 1994). En frutos sin presencia de mancha de madurez, se observó alta cantidad de cera epicuticular. Sin embargo, Freeman y Turner (1985) en un estudio específico para análisis de cera epicuticular entre diferentes cultivares, evidenciaron que los frutos del banano (AAA) tienen la mitad de cera epicuticular en comparación con otros tipos de musáceas (AAB, ABB, BBB).

Cualquier daño mecánico, estrés, anomalía fisiológica, efectos ambientales adversos o estrés patológico no favorecen la morfología, anatomía y funcionalidad del fruto, haciéndolo menos eficiente en su intercambio gaseoso y vida verde en detrimento de su calidad (Drury *et al.*, 1999). Consecuentemente, es necesario optimizar las condiciones de manejo e implementar estrategias que permitan optimizar la absorción del calcio y demás nutrientes. Entre las prácticas recomendadas se encuentran el fraccionamiento del fertilizante en complemento con fuentes de calcio según su mayor o menor solubilidad y la colocación del fertilizante al pseudotallo en épocas de baja absorción. Asimismo, la protección del suelo con el uso de coberturas vivas para favorecer la humedad y reducir riesgo de erosión.

La integración de estas prácticas puede permitir mitigar factores de estrés fisiológico, lo que contribuye a mayor rendimiento productivo y fruta con altos estándares de calidad, coadyuvando a sostener la competitividad en la creciente exigencia del consumidor en los mercados internacionales.

CONCLUSIONES

El desorden fisiológico de la mancha de madurez provoca en el exocarpo del fruto del banano una serie de anomalías anatómicas y morfológicas que deterioran su su calidad. Los frutos presentan rupturas de diferente longitud y profundidad en las células epidérmicas, las cuales provocan alteración y desprendimiento en las capas de la cera epicuticular. Los estomas tienen alteraciones morfológicas debido a la tensión que ejercen las fisuras que le rodean. Se observó un rompimiento de membranas plasmáticas y de organelos, así como la presencia de un material denso, de color oscuro, posiblemente relacionado con presencia y liberación de compuestos fenólicos y/o látex.

En algunos casos, fue evidente el colapso total de la integridad de células. Las características anatómicas y morfológicas observadas están influenciadas por factores ambientales, mecánicos y fisiológicos. Frutos sin presencia de mancha de madurez poseen células normales con paredes primarias de grosor regular, plasmalemas continuas, presencia de organelos y vacuolas normales. Los estomas son funcionales y sin alteración anatómica. El tejido parenquimático y haces vasculares no presentaron ninguna alteración en su conformación. Estas tipo de investigaciones anatómicas, a nivel de estructura y ultraestructura de tejidos y órganos, son una herramienta adecuada para comprender los detrimentos fisiológicos.

REFERENCIAS

1. Burdon, J.; Moore, K.; Wainwright, H. 1994. An examination of the stomata of the fruits of plantains (*Musa spp.* AAB group) and cooking bananas (*Musa spp.* ABB group). *Journal of Horticultural Science* 69 (1): 81-88.
2. Blasco, G.; Gómez, F. 2014. Propiedades funcionales del banano (*Musa sp.*). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 14(2), 22-26.
3. Campbell, S.; Williams, W.; 1976. Factor associated with maturity bronzing of banana fruit. *Aust. J. Expt. Agr. Animal Husbandry*, 16: 428-432.
4. Campbell, S.; Williams, W.; 1978. Mineral relationships in maturity bronzing of banana fruit. *Aust. J. Expt. Agr. Animal Husbandry*, 18: 603-608.
5. Collin, M; Folliot, M.; 1990. Caracteristiques anatomiques de l'epiderme de le banane plantain en relation avec les techniques de conservation. *Fruits*, 46: 9-16.
6. Daniells, J.; 1985. The maturity bronzing disorder of banana fruit. *Queensland Agr. J.* 111: 239-240.
7. Daniells, J. Lisle, A; Farrell, P. 1992. Effect of bunch covering methods on maturity bronzing, yield and fruit quality of bananas in North Queensland. *Aust. J. Exp. Agr.* 32: 121-125.
8. Daniells, J.; Watson, B.; Ofarrell P.; Mulder, J.; 1987. Soil water stress at bunch emergence increase maturity bronzing of banana fruit. *Queensland J. Agr. Animal Sci.* 44(2): 97-100.
9. Díaz, A. 2004. Influencia del Ca sobre la mancha de madurez en frutos de banano en la zona de Urabá. *Boletín Técnico Cenibanano* 6: 1-3.
10. Díaz, A.; Mira J.; Cayón, G. 2006. Aplicaciones de calcio para el control de la mancha de madurez en banano. In: XVII Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical (ACORBAT). Memorias. Joinville, Brasil. pp. 310.
11. Diaz, A; Cayón, F; Mira, J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la mancha de madurez del fruto del banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 25(2): 280-287.
12. Drury R; Hörtensteiner, S.; Donninson, I; Bird, C.; Seymour G 1999. Chlorophyll catabolism and gene expression in the peel of ripening banana fruit. *Physiologia Plantarum*, 107: 32-38.
13. Freeman, B.; Turner, D. 1985. The epicuticular waxes on the organs of different varieties of banana (*Musa spp*) differ in form, chemistry and concentration. *Australian Journal of Botany*, 33: 393-408.
14. Flores, E. 2013. La planta. Estructura y función. Editorial tecnológica de Costa Rica. Cuarta edición. Cartago. Costa Rica. 884p.
15. García, J.; Mora I. 2006. Efecto del calcio soluble en rendimiento e incidencia de Sigatoka negra y mancha de madurez en banano. In: XVII Reunión de la Asociación para la Cooperación en

- Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical (ACORBAT). Memorias, Joinville, Brasil. p. 377.
16. Jones, D. 2019. Handbook of disease of banana, abacá and enset. KAB International. UK. 616p.
 17. López, A., Espinosa, J. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. INFOPOS-CORBANA. 82p.
 18. Liu, Q; Gao, T; Liu, W; Liu, Y; Zhao, Y; Liu, Y; Li, W; Ding, K; Ma, F; Li, C. 2020. Functions of dopamine in plants: a review, *Plant Signaling & Behavior*, 15:12.
 19. Manzo, G; Orozco, M; Martínez, L; Garrido, E; Canto, B. 2014. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32: 89- 107.
 20. Martínez, G; Rey, J. 2021. Bananos (*Musa* AAA): importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 1034-1046.
 21. Rice, R. 2007. The physiological role of minerals in the plant. In. Mineral nutrition and plant disease. Datnoff, L.; Elmer, W., Huber, D. (eds). The American phytopathological Society. USA. 9-29.
 22. Sánchez, J; Henao, S; Betancur, G; Leiva, A. 2013. Efecto de la variabilidad climática sobre el desorden fisiológico mancha de madurez del banano. In. XX Reunión de la Asociación para la Cooperación en investigación y desarrollo integral de las musáceas (ACORBAT). Fortaleza. Brasil. 185p.
 23. Sánchez, J., Mira, J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. AUGURA-CENIBANANO. Medellín, Colombia. 236p.
 24. Sandoval, J.; Müller L. Weberling, F. 1994. Foliar morphology and anatomy of *Musa* cv. 'Grande Naine' (AAA) plants grown *in vitro* and during hardening as compared to field-grown plants. *Fruits*, 49 (1): 37-46.
 25. Sandoval, J.; Müller, L. 1999. Anatomía y morfología de la planta de banano. *CORBANA*, 24 (51): 43-60
 26. Serrano, E., Sandoval, J., Guzmán, M., Ortega, R., Segura, R., Rodríguez, W., Arias, F., González, M., Mora, M., Segura, A., González, R. 2008. Deficiencia de Ca en las hojas y en el fruto del cultivo del banano (*Musa* AAA). In. Informe Anual 2007, Dirección de Investigaciones, Corporación Bananera Nacional (CORBANA). 216p.
 27. Shapira, O.; Khadka, S.; Israeli Y.; Shani, U.; Schwartz, A. 2009. Functional anatomy controls ion distribution in banana leaves: significance of Na⁺ exclusion at the leaf margins. *Plant Cell and Environment*, 32: 476-485.
 28. Simmonds, N. 1962. The evolution of the bananas. Longman. London 170 p.
 29. Stoorvogel, J., Segura, R. 2018. Nutrition and soil management in banana cultivation. <https://doi.org/10.19103/as.2017.0020.16>
 30. Vásquez, N.; Tapia, A.; Galindo, J. 1989. Ultrastructural studies of the infection process of *Mycosphaarella fijiensis* on *Musa* cultivars. In. Sigatoka leaf spot diseases of bananas. Fullerton, R.; Stover, R. (eds) INIBAP. San José Pp. 191-200.
 31. Williams W.; Campbell, S.; 1976. Factors associated with maturity bronzing of banana fruit. *Aust. J. Expt. Agr. Animal Husbandry*, 16: 428-432.
 32. Williams, M.; Vesk, M.; Mullins, M. 1988. Characteristics of the surface of banana peel in cultivars susceptible and resistant to maturity bronzing. *Canadian Journal of Botany*, 67: 2154-2160.
 33. Williams, M.; Vesk, M.; Mulling, M. 1989. A scanning electron microscope study of the formation and surface characteristics of the peel of the banana fruit during its development. *Botanical Gazette*, 50: 30-40.
 34. Williams, M; Vesk, M; Mulling, M. 1990. Development of the banana fruit and occurrence of the maturity bronzing disorder. *Annals of Botany*, 65, 9-19.

Comité Editorial

Comité Editorial Internacional

Editores Volumen 1 Número 1 Enero – Junio 2024

Dr. Mario Orozco Santos, INIFAP, México.

M.C. Sebastian Zapata Henao, UNIBAN, Colombia.

Dr. Daniel Gerardo Cayón Salinas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Dr. Jorge A. Sandoval Fernández, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

M.C. Mauricio Guzmán Quesada, Cropland Biosciences, Costa Rica.

Dr. Luc De Lapeyre De Bellaire, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement (CIRAD), Francia.

Dr. Miguel Ángel Dita Rodríguez, Alianza Bioersity-CIAT, Colombia.

Equipo Editorial

Dr. Gustavo Mora Aguilera, Editor Técnico.

M.C. Irma Azucena Zamora Gallegos, Gestión Editorial

M.C. Eduardo Guzmán Hernández, Desarrollo Web

M.C. Oscar Eder Flores Colorado, Desarrollo Web.

Editores Adjuntos Volumen 2, Número 1. Enero - Junio 2025

Dr. José Luis Barrera Violeth. Universidad de Córdoba, Colombia

Dr. Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán, INIFAP, México

Dr. Gilberto Manzo Sánchez, Universidad de Colima, México

Dr. Rafael Segura Mena, CORBANA, Costa Rica

Comité Científico Local ACORBAT 2025

Dr. Gustavo Mora Aguilera, Colegio de Postgraduados, México.

Dr. Gilberto Manzo Sánchez, Universidad de Colima, México.

Dr. Luciano Martínez Bolaños, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Dr. José Guadalupe Florencio Anastasio, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, México.

M.C. Miguel Angel Contreras, Consultor, México.

M.C. José Orozco Romero, Consultor, México.

Ing. Román Pacheco Gómez, Asociación agrícola de productores de plátano del soconusco, México.

Dra. Blondy Canto Canché, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., México.

Ing. Iván Merchant Cruz, Comité Nacional Sistema Producto Plátano A.C., México.