

Referencia de Materiales
vegetales tolerantes a
Fusarium oxysporum f.
sp. cubense Raza 4
Tropical
(Foc R4T)

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

2023



Actualmente, la obtención y uso de materiales vegetales tolerantes a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T), agente causal de la Marchitez por *Fusarium* en musáceas, es hasta el momento la mejor estrategia para combatir esta plaga (Dita *et al.*, 2011) sin embargo, han determinado que la fuente de resistencia varía entre los distintos materiales, dependiendo si provienen de un mejoramiento genético convencional o selecciones de variaciones somaclonales. De igual forma, consideran que se deben evaluar estos materiales en las condiciones específicas de las zonas afectadas, ya que las interacciones genotipo-ambiente cambian de una región a otra. Adicionalmente, dependiendo de la concentración de inóculo específica, los materiales o variedades pueden variar su condición de resistencia.

El uso de materiales vegetales tolerantes sería una alternativa al manejo de la plaga, tal y como se presentó en los clones del subgrupo Cavendish ante *Fusarium oxysporum* (*Foc*) Raza 1. Sin embargo, el uso de nuevos cultivares resistentes, podrían alterar las características del fruto y afectar las demandas del mercado (Ploetz, 2015; Dita *et al.*, 2018; Martínez Solórzano *et al.*, 2020).

Es importante mencionar que, a la fecha, no existen cultivares **globalmente aceptados** que puedan reemplazar a los clones del **subgrupo Cavendish** y las alternativas para el manejo de la plaga son limitadas (García-Bastidas, 2022).

La búsqueda de nuevos cultivares Cavendish tolerantes a la enfermedad continúa siendo una prioridad. Por otra parte, la mayoría de los estudios de campo carecen de resultados a largo plazo que contribuyan a evaluar la eficacia de los genes *in situ* (Ploetz *et al.*, 2015).

Objetivo

- Ofrecer información sobre los materiales vegetales tolerantes a *Foc* R4T probados en campo, misma que deriva de una revisión de literatura científica.

Materiales tolerantes a *Foc* R4T

A nivel mundial los cultivares de banano del subgrupo Cavendish son considerados los más ampliamente comercializados. En los últimos años, centros de investigación y mejoramiento genético de diferentes lugares del mundo han desarrollado e introducido a los sistemas de producción, cultivares con mejores rendimientos y calidad comercial, adaptados a las condiciones tropicales y subtropicales (Colque, 2018). Entre estos se encuentra el cultivar **GCTCV-218 (formosana)** y **GCTCV-219**, presentan sabor y aspecto similar a Cavendish, y han sido desarrollados en Taiwán, con resistencia intermedia a *Foc* R4T, los cuales son aceptados y consumidos en el mercado regional. **GCTCV-218** ya se planta comercialmente en Taiwán, Mozambique y Filipinas para mitigar las pérdidas causadas por *Foc* R4T.

El cultivar GCTCV 218 fue registrado bajo el nombre de Formosana, es una variación somaclonal Cavendish, representa una alternativa para reemplazar al Cavendish tradicional que conocemos y puede producir hasta un 95% del cultivar William bajo condiciones de buen manejo, tomando en consideración que es más sensible al frío, calor, sequía y exceso de agua. La planta funciona bien **en condiciones de baja incidencia de plaga**, pero las **pérdidas aumentarán en suelos con alta incidencia a *Foc* R4T**. Esta variedad se desarrolla un poco más lenta que las variedades Cavendish como Williams y Grand Naine, y su rendimiento es, por lo tanto, un poco más bajo.

Por otro lado, informan que el cultivar formosana se comercializa por Du Roi Laboratory a África, Oriente Medio, las Islas del Caribe, las Antillas francesas, Centroamérica y Sudamérica. Asimismo, informan que el uso de esta variedad debería formar parte de un enfoque integrado para mitigar la plaga, la gran **ventaja es que la forma y el sabor de las bananas siguen siendo los mismos y, por lo tanto, el producto sigue siendo muy aceptable para el mercado de exportación.**

GCTCV-119 es resistente a *Foc* R4T, sin embargo, es susceptible al virus del cogollo racimoso del banano (BBTV).



Imagen 1. GCTCV-219, Promusa 2017.



Imagen 2. GCTCV-218, Promusa 2017.



Por otra parte, derivado de pruebas de campo en China se identificó que los híbridos **FHIA-01**, **FHIA-02**, FHIA-18, FHIA-25 y FHIA-03, así como los materiales Pisang Jari Buaya, Rose (AA) y GCTCV-119, mostraron resistencia a *Foc* RT4 (Vézina, 2019). En un estudio realizado por Mintoff, *et al.*, 2021 informa que **FHIA-01**, **FHIA-02** son altamente resistentes a *Foc* R4T.



Imagen 3. Híbridos FHIA de banano y plátano. Créditos: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.

Investigadores como De la cruz *et al.*, 2018, informan que **FHIA-01** es una variedad consumida como postre, la cual presenta un ligero sabor a manzana, es resistente a las razas 1 y 4 de *Foc*, **FHIA-25** es un híbrido de SH 3648 y SH 3142, de porte bajo y se consume principalmente hervido o frito como papas fritas, el cual también muestra resistencia al Banana bunchy top virus (BBTV) agente causal del Cogollo racimoso del banano y a Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Asimismo, Walduck, G.; Daly, A., 2017, informan que es altamente resistente a *Foc* R4T.

De acuerdo con Mintoff, S.J. *et al.*, 2021 indicaron que las líneas del Centro de Cooperación internacional de Investigación Agronómica para el desarrollo (CIRAD) y la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), mostraron mayor resistencia a *Foc* R4T (Tabla 1); sin embargo el Dr. Jeff Daniells, 2022, indicó que algunas variedades como CIRAD 04, es propenso a fracturar su estructura vegetal, por lo que indicó que es importante que una variedad cuente tanto con la calidad deseada en el mercado, como la resistencia a *Foc* R4T.

Chih-Ping Chao, Shin-Chuang Hwang, 2022 investigador del Instituto de Investigación de Taiwán (TBRI), mencionó que en 2017 se lanzó una variedad mejorada llamada **Pei-Chiao N° 8 (GCTCV-218-3)**, derivado de formosana, que tiene características agronómicas superiores, como cosecha más temprana, menos susceptibilidad a la mancha por madurez fisiológica y por trips hawaiiensis, entre otros factores. Asimismo, indicó que la variedad formosana no es muy aceptada por los productores de Taiwán, debido a que presenta ciclo largo, es susceptible a la plaga del trips hawaiiensis y presenta manchado de frutos por madurez fisiológica.

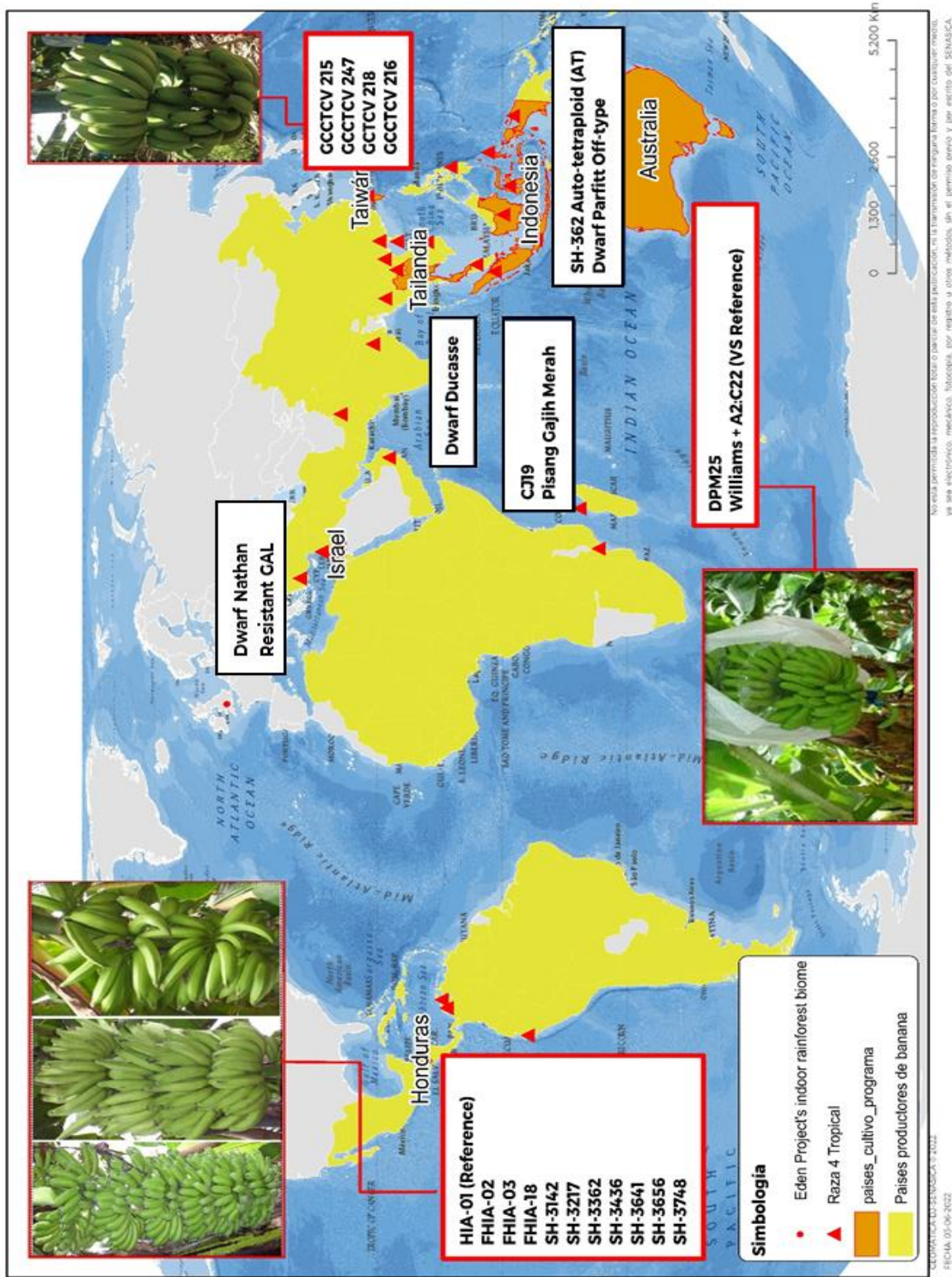


Imagen 4. Distribución Geográfica de materiales vegetales tolerantes a Foc R4T evaluadas en campo
 Créditos: Mintoff, et al., 2021; Bioversity International, 2021; Eli Khayat.



Mintoff, *et al.*, 2021 reportan que mediante una evaluación en campo de variedades resistente a *Foc* R4T en la región **del Territorio del Norte** (ubicado al centro-norte del país de Australia el cual colinda al este con Queensland y al oeste con Australia Occidental) se evaluaron 24 variedades las cuales incluyeron materiales de FHIA, El Instituto de Investigación del Banano de Taiwán (TBRI) y selecciones de Tailandia, Indonesia y Australia fueron evaluadas durante dos ciclos de cultivo, como resultado de lo anterior **9 fueron altamente resistentes:** FHIA-25, FHIA-01, GCTCV 215, FHIA-02, SH-3362 (AT), SH-3362, Pisang Gajih Merah, SH-3142 y SH-3748 (**Tabla 1, Gráfica 1**).

El control **GCTCV 218** fue clasificado con resistencia intermedia dentro del primer ciclo de cultivo y **muy susceptible en el segundo ciclo de cultivo** (producción de retoños) ya que las tasas de infección aumentaron. De acuerdo con lo anterior, informan que la severidad de la plaga puede variar de un año a otro con las condiciones ambientales y el nivel de presión del inóculo presente.

Detallan que los **somaclones de Cavendish, GCTCV 247, CJ19 y GCTCV 215**, demostraron poca o ninguna incidencia de la plaga durante el período de prueba y poseían un mayor nivel de resistencia en comparación con otros cultivares Cavendish como GCTCV 218 y Williams. Asimismo, informan que de acuerdo con los resultados la resistencia en las variedades Cavendish **GCTCV 215 y GCTCV 247** es alentador, ya que estas líneas han mostrado similar resistencia en ensayos previos de campo y en laboratorio cuando se inocula con *Foc* R4T.



Imagen 5. Variedad CTCV-247 Créditos: Crop-diversity, 2022.



Imagen 6. Variedad CTCV-215 Créditos: Crop-diversity, 2022.

Recientemente se reportó, el desarrollo de un nuevo cultivar de banano Cavendish con resistencia completa a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T) llamado Resistant GAL. El trabajo de mejoramiento genético es realizado por la empresa Rahan Meristem, con sede en Israel, en asociación con Banarica Colombia. Informan que, tras más de siete años de trabajo científico, que incluyó ensayos de laboratorio en Israel y Países Bajos, así como pruebas de campo en plantaciones de banano de Filipinas, lograron obtener un cultivar del grupo Cavendish, sin el uso de ingeniería genética. Se precisa que el proceso comenzó con mutaciones aleatorias en plantas producidas mediante cultivos de tejidos, el Israel; luego se propagó una nueva línea de más de 10,000 materiales Cavendish; enseguida, estos últimos se evaluaron en invernadero, en la Universidad de Wageningen, en Países Bajos, y se analizaron para determinar su resistencia/susceptibilidad a *Foc* R4T; posteriormente, se analizaron experimentos con clones seleccionados, en campos de Filipinas infectados. Asimismo, se señala que los mejores clones seleccionados en Filipinas ya se encuentran en cuarentena en Colombia, donde serán cultivados en áreas infectadas con *Foc* R4T, en 2023; y se prevé que el cultivar esté disponible comercialmente a partir de principios de 2024 (Fresh Plaza, 2022).

Resistant GAL, es un cultivar que es tolerante al estrés (agua y calor, excelente rendimiento con aproximadamente 28 kg por racimo, fácil manejo de producción y racimos de alta calidad (Eli Khayat, 2022).



Imagen 7. Resistant GAL (derecha) y el Control (Williams a la izquierda) se cultivaron en un campo altamente infectado con *Foc* R4T durante aproximadamente 4 años. Créditos: Eli Khayat, 2022.

En mayo de 2023, investigadores de la Universidad de Tecnología de Queensland, Australia, dieron a conocer que solicitaron la aprobación del cultivar de banano Cavendish QCAV-4 (genéticamente modificado para resistencia a *Foc* R4T, al portar el gen RGA2), a las autoridades regulatorias de Australia y Nueva Zelanda (New Atlas, 2023).

Formosana en Asia



Bioversity-Asia ha adquirido somaclones seleccionados a partir de cultivo de tejidos de Giant Cavendish (GCTCV) del Instituto de Investigación Bananera de Taiwán (TBRI, por sus siglas en inglés) en el marco del programa de colaboración regional para probar los somaclones en Asia y particularmente en Filipinas, donde los problemas o impactos por la plaga eran más serios. A través de un proceso de selección participativo con agricultores llevado a cabo por TBRI, se seleccionaron plantas sobrevivientes en punto críticos de *Foc* R4T que luego se multiplicaron y sembraron nuevamente para la selección en campo en suelos infestados por *Foc* R4T. Las líneas seleccionadas se sometieron a verificación de campo en cuanto a resistencia, rendimiento y características agronómicas (Molina, 2022).



Imagen 8. Racimo de GCTCV 218 de 11 manos. Créditos: TADECO.

Los estudios de comparación de **GCTCV 119** con cultivares locales de Filipinas (de 2006 a 2009) mostraron que algunas variedades locales como Carba (Saba) (BBB) y Kluai Namwa (AAB) también tenían una buena resistencia contra *Foc* R4T, sin embargo, las características agronómicas del GCTCV 119 demostraron no ser aptas para la comercialización (FAO- Molina, 2022).

Los ensayos de seguimiento se realizaron entre 2012 y 2015 con los GCTCV 218 (Formosana) y 219. Estos estudios demostraron la alta resistencia del 219 y la buena tolerancia del somaclón 218. El **GCTCV 218 mostró buen potencial para ser implementado comercialmente por su productividad y calidad de fruto** y se realizaron ensayos semicomerciales con buenos resultados por parte de empresas como Lapanday, Mauro, Dole y TADECO. Debido a la exitosa implementación del somaclón, en 2014 las empresas comerciales iniciaron la producción en masa de GCTCV 218, para sus programas de rehabilitación-expansión en Filipinas cubriendo casi la totalidad de las áreas de rehabilitación del país. El somaclón ahora está siendo producido y seleccionado por diferentes compañías y recibió diferentes nombres como LFC-75, TDC-7, SF-100, UCL4, entre otros (FAO-Molina, 2022).



Sin embargo, se ha registrado que cuando no está bien seleccionado y bajo un buen manejo, GCTCV218 presenta grandes variaciones en su genotipo, esto se observa principalmente en las zonas de pequeños productores (FAO-Molina, 2022).

Un ejemplo es el GCTCV-218-3 o TC No.8 derivado de Formosana y lanzado en 2017, tiene características agronómicas superiores, como cosecha más temprana, mejor disposición del racimo, menos susceptibilidad a plagas, entre otros factores. Es importante destacar que, la historia de éxito de GCTCV 218, fue el resultado de una asociación a largo plazo entre actores de la industria e institutos de investigación de diferentes países y regiones (FAO-Molina, 2022).

Formosana en el sur de África




Los bananos de cocción son el tipo de banano más importante cultivado en el continente africano. Cavendish cuenta sólo con alrededor del 9 % del banano producido en África, con la mayoría de las plantaciones ubicadas en la región sur, la costa este y África occidental, donde se encuentran las principales plantaciones orientadas a la exportación. Existen varias estrategias para mejorar la resistencia del banano a *Foc* R4T que se pueden dividir en estrategias a corto, mediano y largo plazo. El uso de somaclones como el tipo Formosana Cavendish es una estrategia a corto plazo basada en el cruce de mutaciones que confiere resistencia parcial a la plaga. La ventaja de este método es el corto tiempo requerido y la ausencia de la necesidad de identificación de genes de resistencia (FAO-Viljoen, 2022).



Imagen 9. Racimo de GCTCV 106.
Créditos: @zacsarian.com.

Los ensayos con Formosana comenzaron en África hace casi 20 años, donde se probó la resistencia de una versión anterior de GCTCV-218 a la raza subtropical 4 de *Foc* y, desde entonces, el somaclón se ha desarrollado y plantado en otros países.

Después del brote de la *Foc* R4T en Mozambique, se realizaron ensayos de GCTCV para la resistencia a la plaga en la huerta Matanuska y se llevaron a cabo ensayos agronómicos para los mismos somaclones en la granja Jacaranda (un sitio no contaminado). El estudio analizó diferentes somaclones manejados según los sistemas de producción existentes y en un diseño de bloques completos al azar.



Los **GCTCV 106, 119, 218, 247** y el **DPM-25** (Dwarf Parfit) fueron enviados por el TBRI y el laboratorio Du Rois, quienes los multiplicaron vía *in vitro* para garantizar materiales libres de plagas. Siendo que, la variedad local de Cavendish Nandi se utilizó como control susceptible (FAO-Viljoen, 2022).

Materiales introducidos en el continente americano



Los materiales resistentes a *Foc R4T* introducidos en Colombia y Ecuador serán: GCTCV218, GCTCV 219, obtenida por variación somaclonal (Hwang & Ko, 2004), DPM 25 obtenido por irradiación (Smith *et al.*, 2006) y RGA2 obtenido en Australia (Dale *et al.*, 2017). De igual modo, se considerarán otros posibles materiales de programas de mejoramiento genético reconocidos a nivel mundial de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), CIRAD, Bioversity y la Universidad de Wageningen.

Asimismo, informan que Ecuador importó 4,620 plantas de banano formosana GCTCV-218, esto como parte de una estrategia de manejo de la plaga y como respuesta a un eventual ingreso de la plaga que aún no llegado al país. Informan que de tener resultados positivos sobre la adaptabilidad de la variedad formosana, esta servirá de soporte a los productores de banano en el país, considerando que, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador tiene una superficie sembrada de 185,000 hectáreas de banano de producción (Nota periodística-bloomberglinea, 2022).

Colaboraciones y avances científicos que se han llevado a cabo a nivel México

En relación de las variedades tolerantes a *Foc R4T* en México la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Campus Mutilus, San Mateo, Esmeraldas, Ecuador y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro han colaborado realizando revisión bibliográfica sobre mejoramiento genético (García-Velasco *et al.*, 2021). Asimismo, el investigador Santy Perez-Echeverria, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, México ha colaborado en una investigación sobre el primer gen de resistencia identificado para *Foc R4T* (James, Dale *et al.*, 2017).



Mejoramiento genético de materiales vegetales tolerantes a *Foc* R4T

García-Velasco *et al.*, 2021, han realizado una revisión de literatura científica de las técnicas biotecnológicas en apoyo al mejoramiento genético tolerantes a *Foc* R4T en banano, con énfasis en la selección *in vitro*, *ex vitro* y en campo para la tolerancia al patógeno. Los resultados presentados en esta revisión evidencian el potencial de la biotecnología y otras herramientas en el campo del mejoramiento genético en el cultivo, los cuales permiten acelerar los programas de mejoramiento genético.

Chen *et al.* (2023), publicaron un estudio en el que identificaron resistencia genética a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T) en *Musa acuminata* ssp. *malaccensis*. La identificación de las regiones cromosómica que confieren resistencia a *Foc* R4T, allana el camino para el desarrollo de herramientas de mejoramiento genético asistido por marcadores.

Así mismo, investigadores de la compañía biotecnológica Elo Life Systems trabajan en la edición genética de bananos del grupo Cavendish, con base en el hallazgo de proteínas y moléculas de aceites esenciales, en tejidos infectados; se indagan los mecanismos que activan su producción. Se precisó que, en experimentos de laboratorio, las plantas ya editadas genéticamente sobrevivieron a altas presiones de inóculo de *Foc* R4T, por lo que próximamente serán evaluadas en viveros y campos de la empresa Dole, ubicados en Centroamérica (Fastcompany, 2023).

En el mismo tenor, la empresa de biotecnología agrícola Tropic, comunicó que está utilizando tecnología de edición de genes para desarrollar materiales de banano resistentes a *Foc* R4T, los cuales podría introducir a Filipinas, pues por ahora, ha conseguido la autorización del gobierno de ese país para que se cultive una variedad de banano que se caracteriza porque los frutos no cambian de color al madurar ("*non-browning bananas*"). Se añade que el marco regulatorio para productos editados genéticamente, establecido por Filipinas, fomentará la inversión e investigación en el sector bananero de ese país (Tropic, 2023).

Bananos Cavendish transgénicos tolerantes a *Foc* R4T

James, Dale *et al.*, 2017, reportaron la identificación de Cavendish transgénico tolerante a *Foc* R4T. La prueba se realizó en campo y se evaluó por 3 años, donde se evaluaron dos líneas de Cavendish transgénico, una transformada con *RGA2*, un gen aislado de un banano diploide resistente a *Foc* R4T, y la otra con un gen



derivado de nematodos, *Ced9*. Como resultado de lo anterior se mostró que el gen *RGA2* está fuertemente correlacionado con el nivel de resistencia a *Foc* R4T. Informan que los protocolos de cribado, orientados y enfocados en el desarrollo de técnicas de identificación y selección eficiente de materiales genéticos, mismos que han sido publicados recientemente, contribuirán a la selección de genotipos de banano tolerantes a *Foc* R4T.

Posteriormente (New Atlas, 2023), los investigadores referidos solicitaron a las autoridades regulatorias de Australia y Nueva Zelanda la aprobación del cultivar de banano Cavendish QCAV-4 (portador del gen *RGA2*, obtenido de un banano silvestre del sureste asiático), tolerante a *Foc* R4T. Se prevé que el proceso de registro tome alrededor de nueve meses, a partir de la fecha de solicitud. De aprobarse, QCAV-4 sería el primer banano genéticamente modificada de Australia y el primer cultivar transgénico del grupo Cavendish, a nivel mundial.



Imagen 10. Banano silvestre (izq.), Cavendish (centro) y QCAV-4 (der.). Créditos: Anthony Weate/QUT.

Proyecto en investigación interregional INT5158 sobre tolerancia a *Foc* R4T

La Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), invitaron a instituciones de investigación a unirse a un nuevo Proyecto Coordinado de Investigación (CRP) sobre tolerancia del banano a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T).

EL actual CRP, a desarrollarse de 2023 a 2027, tiene como objetivo general mejorar la tolerancia a fitopatógenos del banano y desarrollar microorganismos con actividad benéfica aumentada, a través de mutagénesis inducida, para ser utilizados en la prevención y control de *Foc* R4T. Y sus objetivos específicos son:

1. Generar diversidad genética inducida en bananos mediante mutagénesis física, para desarrollar tolerancia a *Foc* R4T.
2. Generar herramientas y metodologías genómicas funcionales utilizando germoplasma disponible, para comprender los mecanismos de resistencia.



3. Desarrollar protocolos de diagnóstico rápidos y confiables, para la detección de *Foc* R4T en campo.

4. Desarrollar protocolos para mutagénesis física de microorganismos benéficos, con potencial para el control de *Foc* R4T (OIEA, 2022).

Con el proyecto, se prevén resultados como: **clones de banano tolerantes a *Foc* R4T generados; tolerancia y características de producción de los mutantes evaluada:** genes asociados con tolerancia al fitopatógeno identificados; protocolos desarrollados para edición de genes, diagnóstico de *Foc* R4T, inducción de mutaciones en microorganismos benéficos y su evaluación; y microorganismos mutantes eficaces contra *Foc* R4T generados (OIEA, 2022).

Consideraciones:

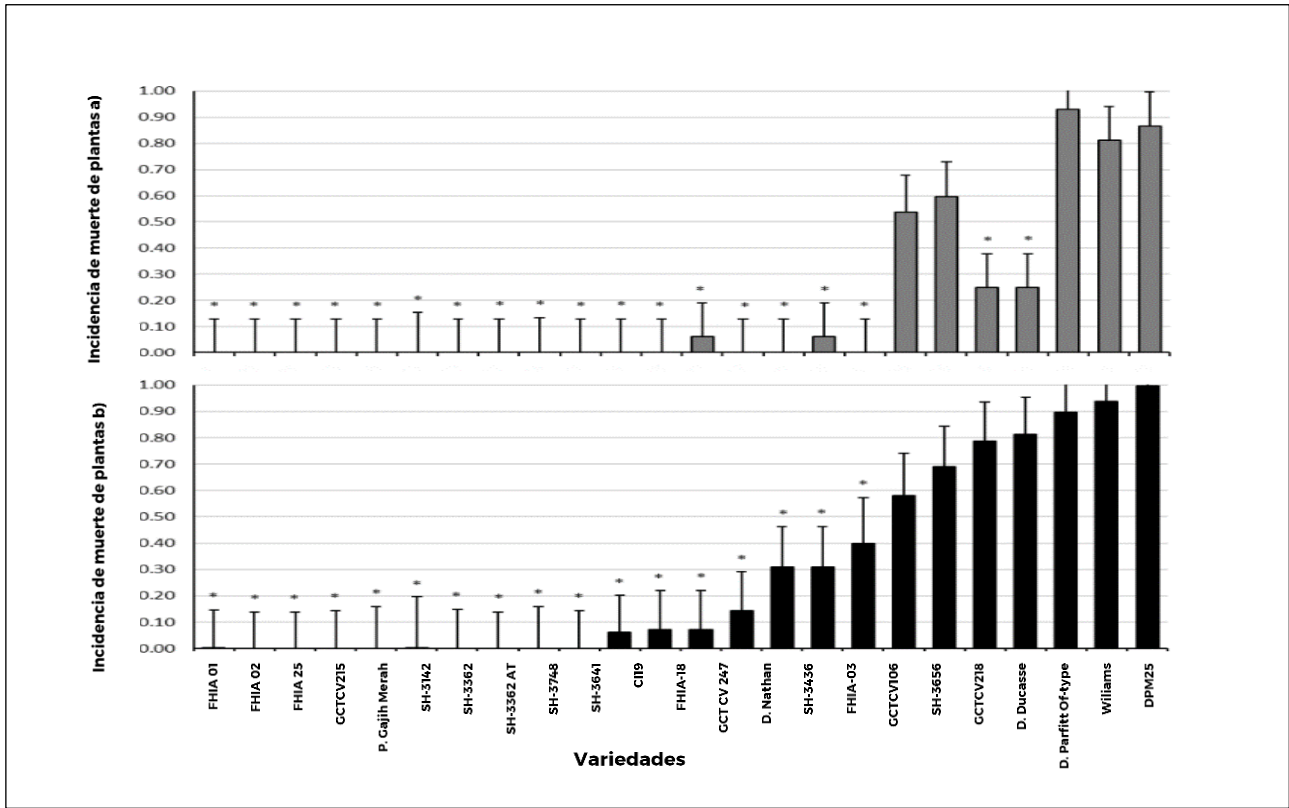
- Se resalta que, de las 24 variedades evaluadas en campo en el territorio del Norte, Australia, se identificó que las variedades FHIA-25, FHIA-01, GCTCV 215, FHIA-02, SH-3362 (AT), SH-3362, Pisang Gajih Merah, SH-3142 y SH-3748 son altamente tolerantes; sin embargo, los cultivares **Cavendish GCTCV 215 (altamente tolerante) y GCTCV 247 (Tolerante)** hasta ahora son las líneas que muestran tolerancia tanto en campo como en laboratorio. Es importante mencionar que la variedad Formosana (**GCTCV 218**) material introducido en países como Ecuador y Colombia, si bien es cierto presenta tolerancia intermedia en el primer ciclo del cultivo, pero para el segundo ciclo de producción se hace susceptible. Por otra parte, en 2018 Investigadores de Taiwán, dieron a conocer una variedad mejorada llamada **Pei-Chiao N° 8 (GCTCV-218-3)**, la cual se obtuvo a partir de formosana, esta variedad presenta tolerancia intermedia, la cual tiene mayores rendimientos y es más aceptada por los productores de Taiwán.
- Por otro lado, es importante conocer cuáles son los materiales vegetales introducidos en el continente americano para mitigar a *Foc* R4T; asimismo conocer su adaptabilidad y si se tienen resultados positivos. Actualmente la variedad formosana se ha introducido a Ecuador, por lo que es importante estar al tanto de los resultados que tiene en ese país y sirva de soporte a los productores de banano.
- Es importante dar seguimiento al desarrollo y comportamiento de la variedad **Resistant GAL**, ya que este es el primer reporte en el que se utiliza el término de **resistencia completa** a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T).

Anexos:

Tabla 1. Puntaje de severidad de Foc R4T y clasificaciones de resistencia de los materiales vegetales evaluados en dos ciclos de cultivo.

Cultivar	Primer ciclo de cultivo		Segundo ciclo (Retoños)	
	Puntuación	Clasificación	Puntuación	Clasificación
FHIA-25	0.00	HR	0.00	HR
FHIA-01	0.00	HR	0.00	HR
GCTCV 215	0.00	HR	0.00	HR
FHIA-02	0.00	HR	0.00	HR
SH-3362 (AT)	0.00	HR	0.00	HR
SH-3362	0.00	HR	0.00	HR
Pisang Gajih Merah	0.00	HR	0.00	HR
SH-3142	0.00	HR	0.00	HR
SH-3748	0.00	HR	0.00	HR
SH-3641	0.00	HR	0.07	R
CJ19	0.00	HR	0.13	R
FHIA-18	0.00	HR	0.14	R
SH-3217	0.00	HR	0.36	I
GCTCV 247	0.19	R	0.21	R
FHIA-03	0.06	R	1.00	I
Dwarf Nathan	0.06	R	0.62	I
SH-3436	0.13	R	0.62	I
GCTCV 218	0.56	I	1.64	VS
GCTCV 106	1.08	S	1.17	S
Dwarf Ducasse	1.19	S	1.81	VS
SH-3656	1.53	VS	1.46	VS
Williams	1.81	VS	1.94	VS
Dwarf Parfitt Off-type	1.93	VS	2.00	VS
DPM25	1.93	VS	2.00	VS

*Puntaje de severidad 0: Muy Resistente (HR), 0.01-0.3: Resistente (R), >0.3-1: Resistencia Intermedia, >1-1.4 (I) Susceptible (S) >1.4-2 Muy susceptible (VS). Las clasificaciones en negrita indican un cambio en la clasificación en comparación con el ciclo de cultivo anterior.



Gráfica 1. Incidencia de muerte de plantas por *Foc* R4T evaluadas en campo a) primer ciclo del cultivo y segundo ciclo de cultivo b) * Las medias de los cultivares marcadas con un asterisco indican que son significativamente diferente al control Williams con un intervalo de confianza del 95%.



Literatura consultada

1. Dale, J., James, A., Paul, J.-Y., Khanna, H., Smith, M., Peraza-Echeverria, S. Harding, R. 2017. Transgenic Cavendish bananas with resistance to Fusarium wilt tropical race 4. *Nature Communications*, 8(1), 1496. (<https://doi.org/10.1038/s41467-017-01670-6>).
2. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S., & Staver, C. P. 2018. Fusarium Wilt of Banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1468.
3. Eli Khayat, 2022 TR4 resistant GAL Induced Mutation Breeding Recuperado de: <https://asbama.com/administrador/img/informes/informes/124.pdf>
4. FAO 2022, Seminario Web Variedades de banano resistentes a Foc R4T: desde la selección hasta la demanda del mercado. Informme de la red Global Foc R4T 2022. (Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb9345es/cb9345es.pdf>).
5. Fastcompany. 2023. Can gene editing help save the banana? Recuperado de: <https://www.fastcompany.com/90849025/can-gene-editing-save-the-banana>
6. Fresh Plaza 2022 New Cavendish banana variety with complete TR4 Panama disease resistance commercially available from early 2024. Recuperado de: <https://www.freshplaza.com/latin-america/article/9467787/new-cavendish-banana-variety-with-complete-tr4-panama-disease-resistance-commercially-available-from-early-2024/>
7. García-Velasco, R., Portal-González, N., Santos-Bermúdez, R., Rodríguez-García, A., & Companioni-González, B. (2021). Mejoramiento genético para la resistencia a marchitez por Fusarium en banano. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(1), 122-146.
8. Hwang, S.-C., & Ko, W.-H. 2004. Cavendish Banana Cultivars Resistant to Fusarium Wilt Acquired through Somaclonal Variation in Taiwan. *Plant Disease*, 88(6), 580-588. doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.6.580.
9. Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. 2020. Marchitez por Fusarium raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259-27.
10. Mintoff, S. J., Nguyen, T. V., Kelly, C., Cullen, S., Hearnden, M., Williams, R., & Tran-Nguyen, L. T. 2021. Banana Cultivar Field Screening for Resistance to Fusarium oxysporum f. sp. cubense Tropical Race 4 in the Northern Territory. *Journal of Fungi*, 7(8), 627.
11. New Atlas. 2023. Genetically modified bananas out to stop Cavendish catastrophe. Recuperado de: <https://newatlas.com/biology/genetically-modified-bananas-cavendish-qcav-4/>
12. Nota periodística bloomberglínea, 2022 Ecuador importa plantas de banano resistentes a la plaga del Fusarium raza 4 (Disponible en: <https://www.bloomberglínea.com/2022/04/11/ecuador-importa-plantas-de-banano-resistentes-a-la-plaga-del-fusarium-raza-4/>).
13. OIEA (International Atomic Energy Agency) 2022. New CRP: An Integrative Approach to Enhance Disease Resistance Against Fusarium Wilt (Foc TR4) in Banana – Phase II (D23033). Recuperado de: <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-crp-an-integrative-approach-to-enhance-disease-resistance-against-fusarium-wilt-foc-tr4-in-banana-phase-ii-d23033>
14. Ploetz, R. C. 2015. Management of Fusarium wilt of banana: a review with special reference to tropical race 4. *Crop Protection*, 73, 7-15.
15. Smith, M. K., Hamill, S. D., Langdon, P. W., Giles, J. E., Doogan, V. J., & Pegg, K. G. 2006. Towards the development of a Cavendish banana resistant to race 4 of fusarium wilt: gamma irradiation of micropropagated Dwarf Parfitt (*Musa* spp., AAA group, Cavendish subgroup). *Australian Journal of Exp.*



16. Tropic. 2023. Tropic's Non-Browning Gene-Edited Banana Cleared for Production in the Philippines. Recuperado de: <https://tropic.bio/tropics-non-browning-gene-edited-banana-cleared-for-production-in-the-philippines/>
17. Vézina, A. 2019. Tropical race 4. ProMusa, Rome, ITA. (Disponible en: <http://www.promusa.org/Tropical+race+4+-+TR4>).
18. Chen, A.; Sol, J.; Martín, G.; Gray, L.-A.; Hříbová, E.; Christelová, P.; Yahiaoui, N.; Rounsley, S.; Lyons, R.; Batley, J.; Chen, N.; Hamill, S.; Rai, S.K.; Moneda, L.; Uwimana, B.; D'Hont, A.; oležel, J.; Edwards, D.; Swennen, R.; Aitken, E.A.B. Identificación de una resistencia mayor que controla el QTL a la raza subtropical 4 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en *Musa acuminata* ssp. *malaccensis*. *Patógenos* 2023, 12, 289. <https://doi.org/10.3390/pathogens12020289>