

Artículo de Divulgación

## Consideraciones socioambientales y herramientas biotecnológicas en el estudio y control de la marchitez por *Fusarium* Raza 4 Tropical - Foc R4T, en plantas de cambur y de plátanos

Y. Rangel<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Avanzados (IDEA)

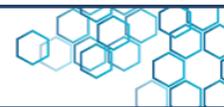
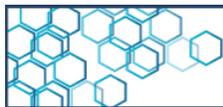
### Resumen



En los sistemas agroalimentarios basados en la producción de musáceas (plantas de cambur, bananas, plátanos), existe una gran preocupación por la situación fitosanitaria debido a la enfermedad de la marchitez causada por el hongo *Fusarium oxysporum* raza cuatro. Debido a la importancia a nivel global del consumo de estos alimentos, se plantea esta revisión sistemática con el objeto de comprender y difundir de qué se trata esta enfermedad, aspectos propios del cultivo, estrategias de control, su importancia en la economía global y su impacto en la seguridad y soberanía alimentaria. Para la revisión se utilizó la base de datos dimensions.ai, así como estudios y legislación nacional relacionados con la salud vegetal hasta el 2023. Se trata de una enfermedad compleja: un microorganismo con capacidad para permanecer en el ecosistema, características propias del cultivo asociadas a la multiplicación y dispersión de semilla asexual, y la actual poca diversidad genética de este rubro en el comercio global. El enfoque de los sistemas socioecológicos contribuye al abordaje del problema y al establecimiento de medidas acertadas para el control de la enfermedad.

**Palabras clave:** musaceae, *Fusarium oxysporum*, phytosanitary, bioinputs.

**Recibido:** 28 de agosto del 2023  
**Aceptado:** 10 de diciembre del 2023  
**Publicado:** 8 de enero del 2023  
**Conflicto de intereses:** los autores declaran que no existen conflictos de intereses.  
**DOI:** 10.5281/zenodo.11040041  
**\*Autor para correspondencia:**  
Yurani Godoy  
**e-mail:**  
[yuranigodoyrangel@gmail.com](mailto:yuranigodoyrangel@gmail.com)



Dissemination article

## Socio-environmental considerations and biotechnological tools in the study and control of *Fusarium* wilt Race 4 Tropical - Foc R4T, in banana and plantain plants

Y. Godoy <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados (IDEA)

### Abstract

In agri-food systems based on the production of musaceae (banana plants, bananas, plantains) there is a great concern about the phytosanitary situation related to the wilt disease caused by the fungus *Fusarium oxysporum* race four. Due to the global importance of the consumption of these foods, this systematic review is proposed with the aim of understanding and disseminating what this disease is about, aspects of cultivation, control strategies, its importance in the global economy, and its impact on food security and sovereignty. For the review, the dimension.ai database was used, as well as studies and national legislation related to plant health until 2023. It is a complex disease: a microorganism with the ability to remain in the ecosystem, characteristics of the crop due to the multiplication and dispersal of asexual seed, and the current low genetic diversity of this sector in global trade. The socio-ecological systems approach contributes to addressing the problem and establishing appropriate measures to control the disease.

**Keywords:** musaceae, *Fusarium oxysporum*, phytosanitary, bioinputs.



**Received:** August 28, 2023  
**Accepted:** December 10, 2023  
**Published:** January 8, 2023  
**Conflict of interest:** the authors declare that there are no conflicts of interest.  
**DOI:** 10.5281/zenodo.11040041  
**\*Corresponding author:**  
Yurani Godoy  
**e-mail:**  
[yuranigodoyrangel@gmail.com](mailto:yuranigodoyrangel@gmail.com)



## 1. Generalidades del cultivo

El género *Musa* agrupa cultivos milenarios de diferentes tipos de bananas o cambures y plátanos en regiones tropicales y subtropicales. El centro de origen de sus especies está ubicado en el sureste asiático, Malasia e Indonesia (Figura 1), posteriormente en el tiempo se distribuyó hacia varias regiones del mundo. Algunas hipótesis plantean que pudo haber llegado a nuestro continente americano antes de la llegada de los conquistadores europeos, a través de las Polinesias en el Pacífico Sur, por Perú y Ecuador.

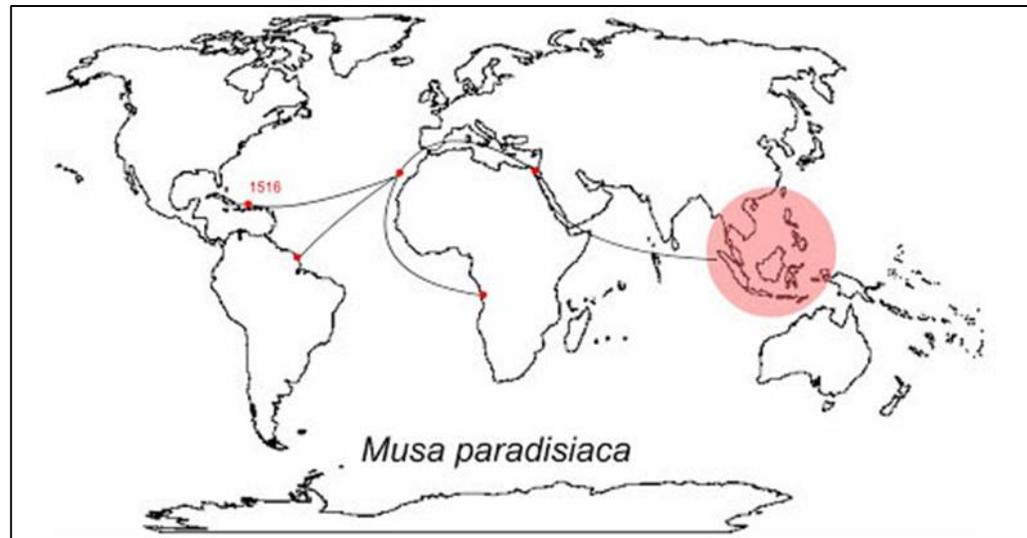
Todos los cultivares sembrados en la actualidad han sido seleccionados de híbridos naturales de esta región sur asiática, por personas que ocuparon esos territorios hace unos diez mil años. De hecho, Norman Simmonds estudioso de la taxonomía de las musáceas, propone que el cambur (denominado banano en el resto del mundo) fue uno de los primeros cultivos domesticados por el ser humano y en consecuencia la agricultura sedentaria primitiva del área en mención [1].

Hoy en día el cambur (banana variedad Cavendish), ocupa el 7mo lugar de las frutas de mayor consumo y comercio a nivel mundial. Incluso países no productores de banana como Rusia han incorporado sustancialmente el consumo de esta fruta en la dieta de la población por las valiosas propiedades nutricionales que posee, de igual manera en la India, China, Estados Unidos y Japón han incrementado su consumo y comercio en las últimas décadas.

En América Latina se estima que la producción de plátanos y bananas la realizan pequeños productores en áreas promedio de 0,47 a 3,5 hectáreas, con un rendimiento de 10 ton/ha. Siendo hoy en día los principales exportadores de plátanos: Guatemala, Ecuador, Colombia, México, Nicaragua, Costa Rica, Brasil, Panamá, Belice y Perú en ese orden; y



exportadores de bananas: Guatemala, Costa Rica, Ecuador, México, Colombia, Honduras, Panamá, Bolivia, Paraguay, Brasil, Perú y Nicaragua, en ese orden [2].



**Figura 1.** Centro de origen del género Musa. Fuente: Herbariumplantasyhongos.es

En general, se considera que la producción de musáceas respalda un ingreso clave para los territorios rurales en áreas remotas y ofrece una ruta para aliviar la pobreza, jugando un papel económico y alimentario importante. En Venezuela, si bien las cifras de exportación de las musáceas son muy discretas, el consumo es alto y su producción es de tipo traspatio y familiar en todo el territorio nacional, en el caso de bananas se ubica principalmente en el estado Miranda, Aragua y Carabobo, y en el caso de la producción de plátanos en el estado Zulia [3].



## 2. Diversidad de las musáceas: cultivares que más se siembran en Venezuela

Las musáceas comestibles (cambures o bananas y plátanos) se distinguen y clasifican por su composición genómica: A para los caracteres aportados por *Musa acuminata* y B para los caracteres aportados por *Musa balbisiana*, de ellos, tres grupos con genoma Acuminata (AA, AAA, AAAA) en donde se ubican los frutos frescos bananas y cuatro grupos en los híbridos (AAB, AB, ABB, ABBB) que son los plátanos que se consumen cocidos. Las letras indican su ploidía, siendo común en las variedades comerciales venezolanas y en general de las zonas tropicales del mundo los triploides AAA de cambures Cavendish, AAB de plátanos Harton y ABB de plátanos topochochos (Figura 2) [1,3].



**Figura 2.** Inflorescencia de la planta de plátano (*Musa* Grupo AAB Sub-Grupo Plátano Hartón). FUENTE: [comunidadandina.org/StaticFile](http://comunidadandina.org/StaticFile) 2020



Es necesario resaltar que las variedades de plantas triploides no producen semilla sexual, es por ello que su reproducción es a través de secciones de los tallos subterráneos de estas plantas, conocidos como cormo de las nuevas plantas que nacen alrededor de la principal, conocidos como los hijos. Esta condición es una limitante para el control de enfermedades, debido a la propagación de hongos patógenos persistentes del suelo y raíces que acompañan a estas semillas asexuales facilitando su dispersión. Por otro lado, la triploidía resulta en una limitante para el mejoramiento genético tradicional y obtención de nuevas variedades resistentes a través de nuevos cruzamientos en un corto plazo.

De hecho, de la gran diversidad de variedades, solo unos pocos triploides (AAA, AAB, ABB) son responsables de casi el 75 % de la producción mundial de banano bajo el modelo de monocultivo, siendo esta condición una situación favorable en el impacto y difusión de las enfermedades debido a la escasa diversidad vegetal en los agroecosistemas que contrarreste y pueda resistir la presencia de organismos nocivos como hongos, virus, bacterias, nematodos o insectos plagas.

### 3. Enfermedades y plagas que atacan a las musáceas

La preocupación por las enfermedades y plagas que atacan a las musáceas se debe principalmente por:

- Marchitez por *Fusarium* del Banano o Mal de Panamá (*Fusarium oxisporum* s.f.p. *cubense*, razas 1,2 y 4)
- Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijensis*)
- Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*)
- Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*)



- Moko de plátano (*Ralstonia solanacearum*, raza 2)

### **Enfermedad de la marchitez del banano por *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) Raza tropical 4**

Se trata de un hongo del suelo, descrito por primera vez en el año 1874 en Australia. Debido al intercambio de material de siembra y al movimiento de suelo con esporas, el patógeno se ha propagado y reportado en muchos países del mundo.

Hasta ahora, se han informado de cuatro razas de Foc (R1, R2, R3 y R4), según la caracterización patogénica de diferentes cultivares de banano [1]:

- Foc R1, causó la epidemia de FWB (por sus siglas en inglés, marchitez por *Fusarium* del banano) a principios del siglo XX y afecta a una variedad de cultivares, como los subgrupos Gros Michel, Cavendish (AAA), Silk (AAB) y Pisang Awak (ABB), entre otros.
- Foc R2, afecta a los bananos de cocción (plátanos) pertenecientes al subgrupo Bluggoe (ABB). La raza 3 no afecta a las musáceas comestibles.
- Foc R4, dividido en raza subtropical 4 (SR4) y raza tropical 4 (TR4), afecta a los cultivares de bananas Cavendish (AAA), y eventualmente en plátanos (AAB, ABB), así como bananos susceptibles a Foc R1 y Foc R2.

### Síntomas externos de la enfermedad de marchitez por *Fusarium*

#### bananas:

Como se observa en la Figura 3, externamente las plantas exhiben marchitez progresiva con hojas cloróticas de color amarillo brillante que colapsan junto con un ocasional agrietamiento del pseudotallo. Las plantas infectadas a menudo mueren antes de producir racimos, por lo tanto, la enfermedad reduce significativamente los rendimientos en los campos afectados. Adicionalmente, el patógeno produce clamidosporas que contaminan y persisten en los suelos durante largos periodos de tiempo.



**Figura 3.** Características del daño de la enfermedad por *Fusarium*. A: Síntomas externos con un extenso amarillamiento foliar, así como también el colapso de las hojas alrededor del pseudotallo y agrietamiento del pseudotallo; (B-C) síntomas internos mostrando el enrojecimiento de los haces vasculares en el pseudotallo y el cormo [4].



### **Medidas fitosanitarias:**

Como se muestra en la Figura 4, la enfermedad se distribuyó rápidamente en el continente asiático, reportándose en Suramérica, específicamente en Colombia en el año 2020. Esta situación instó a los diferentes entes encargados de las políticas fitosanitarias tropicales a tomar medidas inmediatas respecto a la propagación de semillas, estudios de identificación molecular, medidas cuarentenaria y de contención entre otras [5].

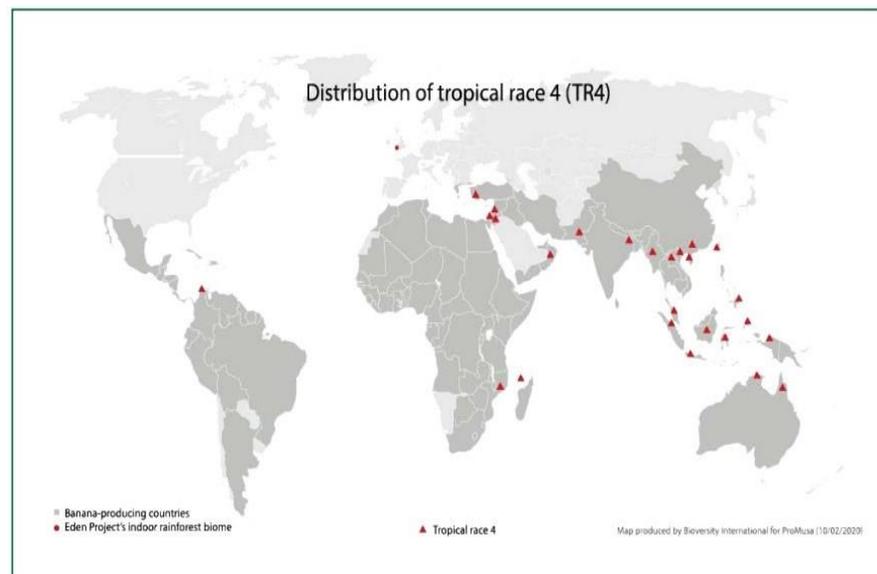
En Venezuela, entre las medidas fitosanitarias que se han tomado se destacan:

- Providencia administrativa del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras, de fecha 12 de septiembre del 2018, mediante la cual se establecen las normas, medidas y procedimientos fitosanitarios para la prevención y contención de la raza 4 tropical *Fusarium oxysporum* F. SP. *cubense* (Foc R4T).
- Comunicado del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral de Venezuela, INSAI, de fecha 21 de agosto del 2019 sobre riesgo fitosanitario transfronterizo ante la declaración de cuarentena fitosanitaria por Foc R4T emitidas por el Instituto Colombiano Agropecuario de fecha 25 de junio del 2019 según Resoluciones N° 00008573 y 00008574.
- Notificación del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral de Venezuela, INSAI, de fecha 17 de octubre del 2023 donde se confirma la presencia de Foc R4T en plantas de plátano (*Musa AAB*) en el sector Mahomo, municipio José Ángel Lamas del estado Aragua, de acuerdo a los resultados obtenidos de estudios realizados en CENIAP, INIA, IVIC y UCV y en ese sentido se decreta emergencia fitosanitaria.



- Estudios basados en biología molecular llevados a cabo por institutos de investigación en Venezuela para la correcta identificación del microorganismo.
- Formación permanente en cuanto a manejo del cultivo y medidas dentro de la finca para evitar la introducción y propagación de la enfermedad.

Al mismo tiempo desde la ciencia y la tecnología se plantean algunos elementos claves que pueden contribuir en conocer el comportamiento y las interacciones de este microorganismo patógeno en el ecosistema, así mismo, aclara algunas limitaciones propias del cultivo en cuanto a características genéticas.



**Figura 4.** Distribución de Fusarium Raza 4 Tropical a junio del 2020. Nótese el reporte de presencia de la enfermedad en Colombia [4].



### **Estrategias de control de la enfermedad:**

El marchitamiento por *Fusarium* del banano es una enfermedad globalmente devastadora y muy difícil de controlar. En general, no se han demostrado opciones eficientes de control químico y físico, los esfuerzos se han centrado en las estrategias de control cultural, de exclusión y cuarentena. El uso de pediluvios como medidas de bioseguridad dentro de la finca han sido muy eficientes. Estos pediluvios se preparan con amonio cuaternario para desactivar las esporas, incluyendo la larga vida de las clamidosporas. De igual manera el control biológico para la desinfección del suelo y semillas con: *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas* sp.

### **Herramientas biotecnológicas basadas en el uso de bioinsumos, caso *Bacillus subtilis*.**

El uso de microorganismos benéficos y antagonicos para el control biológico ofrece un potencial, ambientalmente amigable y efectivo para el control de enfermedades por fusarium y otros patógenos. Los estudios demuestran la eficiencia de microorganismos como *Trichoderma harzianum*, *Streptomyces* y *Bacillus subtilis* e incluso *Fusarium oxysporum* no patógeno para el control de Foc R4T.

*Bacillus subtilis*, es una bacteria Gram positiva que produce una gran cantidad de lipopéptidos, metabolitos primarios o secundarios, con amplio espectro antibiótico que inhiben el crecimiento de los patógenos, promueven la resistencia sistémica de las plantas y el crecimiento. Dichos metabolitos son supresores efectivos de algunos patógenos de plantas



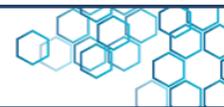
incluyendo especies de *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Septoria*, y *Verticillium*.

En el caso de *Bacillus*, los antibióticos más estudiados que produce son bacillibactina, bacillaene, surfactina, fengicina, iturina y difficidin. Estos lipopéptidos son metabolitos de tipo secundario que representan una importante herramienta en el desarrollo de nuevos productos eficaces contra patógenos de plantas de interés mundial, como es el caso de *Fusarium* sp. [6,7].

### **Conservación de la salud del suelo: uso de cultivos de cobertura**

El sistema de monocultivo resulta en degradación del suelo y agotamiento de los recursos naturales en mediano plazo. La producción convencional de banano, de manera intensiva bajo monocultivos, si bien genera ingresos económicos importantes, con el tiempo ocurre pérdida de nutrientes del suelo, acidificación, compactación, salinización y esto trae como consecuencia el aumento de enfermedades en los cultivos.

La sostenibilidad en los ecosistemas es un tema importante y clave para garantizar la producción de alimentos en el planeta. Los estudios de la diversidad microbiana del suelo se consideran un parámetro clave en la evaluación del suelo y la salud en ecosistemas agrícolas. Una manera de aumentar la diversidad microbiana del suelo en plantaciones agrícolas es aumentar la diversidad de plantas. También la falta de cultivos de cobertura ha contribuido a la degradación del suelo y niveles más altos de enfermedades de la raíz, como la enfermedad del marchitamiento por *Fusarium* del banano. Una de las alternativas que se proponen para monocultivos de bananos es el uso de cultivos de cobertura dentro de los sembradíos, ya que éstos ayudan al suelo a retener la humedad,



incorporan nutrientes en el caso de leguminosas, disminuye la incidencia de microorganismos patógenos debido a las ventajas de la diversidad, ya que los hongos del suelo son sensibles a los factores ambientales, como la humedad, pH, temperatura y la materia orgánica, todo lo cual puede verse afectado por cultivos de cobertura.

Estudios basados en la comparación de la diversidad microbiana presente en suelos con cobertura diversa y suelos sin cobertura, a través de pruebas de ADN genómico total y aislados de microorganismos cultivables, demostró una mayor diversidad y equilibrio entre poblaciones microbianas del suelo con cobertura diversa, que en suelos con un solo tipo de cultivo [8].

Estudios sugieren el cultivo intercalado de banano con una mezcla de leguminosas como *Alysicarpus ovalifolius*, *Paspalum notatum*, *Stylosanthes spp.*, *Neonotonia wightii*, *Pueraria phaseoloides*, *Macroptilium atropurpureum* (Siratro), *Chamaecrista rotundifolia* u otras hierbas como *Brachiaria decumbens*, *Cynodon dactylon* y *Dichondra repens*.

### **Uso de elicitors para inducir resistencia sistémica en plantas: caso del fungicida Isotianil.**

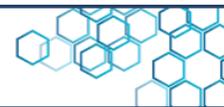
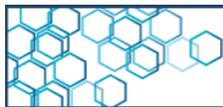
Las plantas son capaces de estimular amplias reacciones de defensa ante la presencia de patógenos en su entorno. Esto ocurre activando elicitors específicos para inducir una respuesta, es decir, actúan como moléculas señalizadoras cuando existe peligro. Activar la resistencia inducida de las plantas es un nuevo tipo de estrategia de control de enfermedades bajo un enfoque sostenible de protección vegetal. Hoy en día se comercializan bacterias, hongos e inductores químicos que impulsan las defensas de las plantas para controlar enfermedades de los cultivos.



La resistencia sistémica puede ocurrir por elicitores abióticos (elementos químicos, temperatura, heridas, UV) o bióticos (hongos, virus, bacterias, insectos, herbivoría, hormonas internas). Según el mecanismo que ocurre a nivel molecular, la resistencia en las plantas puede ser resistencia sistémica adquirida (expresión de genes) y resistencia sistémica inducida (se induce una respuesta a través de sustancias químicas, orgánicas, biológicas).

En ese sentido, desde la biotecnología agrícola, se propone el uso del Isotianil (fungicida usado en el control de enfermedades del arroz y de trigo), como una nueva herramienta para el control enfermedades en el cultivo de musáceas, ya que actúa como elicitador imitando la acción del ácido salicílico [9]. El ácido salicílico está asociado a la resistencia sistémica adquirida en algunas plantas y mejora la expresión de genes relacionados con la patogénia cuyas proteínas tienen actividad antibacteriana fuera de la célula y pueden actuar directamente sobre el patógeno. Una de las respuestas de la planta es la acumulación de almidón en los tejidos, que impiden el paso de las hifas del patógeno hacia los tejidos vasculares, limitando su acción e infección.

En un estudio realizado a nivel de laboratorio con plantas de musa infectadas con Foc R4T, se observó que el Isotianil actúa como un elicitador capaz de inducir la formación de tílides y síntesis de gránulos de almidón en el cormo, e inhibir la difusión del patógeno, a fin de reducir el efecto de la marchitez por *Fusarium*. Se observó que puede activar tres sistemas principales de resistencia sistémica inducida y de resistencia sistémica adquirida a través de las reacciones de la planta con respecto a la acumulación de almidón, la formación de tílides, la expresión de la inducción de resistencia de la planta y genes relacionados con la síntesis de almidón. Convirtiendo a este compuesto como una alternativa en el manejo integrado de la enfermedad de marchitez por *Fusarium*.



## 4. Conclusiones

Si bien la producción de bananos en el mundo representa un factor de la economía muy importante hoy en día, ha sido el movimiento transfronterizo con fines comerciales de semilla infectada de regiones a otras, la razón de la rápida dispersión de la enfermedad, que luego se incorporan a sistemas intensivos. Las medidas fitosanitarias en Venezuela han sido muy oportunas junto con la información, formación y alertas tempranas para que los productores eviten la dispersión del hongo a otros espacios y dentro de la propia finca, así como, en la agricultura familiar y de traspatio, ya que este rubro es una fuente nutricional muy importante dentro de la dieta venezolana. Desde los espacios de investigación y desarrollo continúa la búsqueda de alternativas para el control de la enfermedad. Los estudios citados en este artículo demuestran que en los agroecosistemas diversos los microorganismos del suelo tienden a un mayor equilibrio en la tríada microorganismos-plantas-ecosistema, a diferencia de las plantaciones intensivas comerciales de bananos que tienden debilitamiento de la salud y calidad del suelo, favoreciendo el desarrollo de enfermedades emergentes. Se presentó también como estrategias eficientes el uso de cultivos de cobertura entre las hileras de la plantación incluyendo leguminosas, el uso de *Bacillus subtilis* y el Isotianil como elicitor en el mecanismo de resistencia sistémica de las plantas.

## 5. Bibliografía

[1] Pant, B.; Bai, T.; Du, C.; Baidya, S.; Magar, P.B.; Manandhar, S.; Shrestha, J.; Dita, M.; Rouard, M.; Fu, G.; et al. Molecular Diagnosis and Vegetative



Compatibility Group Analysis of Fusarium Wilt of Banana in Nepal. *Journal of Fungi* 2023, 9, 208. <https://doi.org/10.3390/jof9020208>

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estadísticas anuales de producción actualizadas al 2021. [Consultado en noviembre del 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>

[3] Martínez-Solórzano G E., Rey-Brina J C., Pargas-Pichardo R E., Enrique-Manzanilla E. Marchitez por Fusarium raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía mesoamericana*. 2020; Volumen 31(1):259-276. Disponible en: <http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso>.

[4] García-Bastidas F, et al. Guía andina para el diagnóstico de Fusarium Raza 4 Tropical (R4T) *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (syn. *Fusarium odoratissimum*) agente causal de la marchitez por Fusarium en musáceas (plátanos y bananos). 2020. Editado por: Secretaría General de la CAN. Primera edición, junio de 2020.

[5] Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral, INSAI. Comunicado transfronterizo sobre Foc-R4T. Disponible en: [www.insai.gob.ve](http://www.insai.gob.ve)

[6] Fan H, Li S, Zeng L, He P, Xu S, Bai T, Huang Y, Guo Z, Zheng S J. Biological Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Using Natively Isolated *Bacillus* spp. YN0904 and YN1419. *J. Fungi* 2021, 7, 795. <https://doi.org/10.3390/jof7100795>

[7] He P, Li S, Xu S, Fan H, Wang Y, Zhou W, Fu G, Han G, Wang Y-Y and Zheng S-J. Monitoring Tritrophic Biocontrol Interactions Between *Bacillus* spp., *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Tropical Race 4, and Banana Plants in vivo Based on Fluorescent Transformation System. *Front. Microbiol.* 12:754918. doi: 10.3389/fmicb.2021.754918.

[8] Yongfen W, Wenlong Z, Paul H. G, Sijun Z, 4, Li X, Shengtao X. Effect of natural weed and siratro cover crop on soil fungal diversity in a banana cropping system in southwestern China. *Frontiers in Microbiology*. 2023.



[9] Zhou G-D, He P, Tian L, Xu S, Yang B, Liu L, Wang Y, Bai T, Li X, Li S y Zheng S-J. Disentangling the resistant mechanism of Fusarium wilt TR4 interactions with different cultivars and its elicitor application. *Front. Plant Sci.* 2023. 14:1145837. doi: 10.3389/fpls.2023.1145837.