



# ESTUDIO SOBRE EL MAL DE PANAMÁ CAUSADO POR *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *CUBENSE* EN CULTIVOS DE PLATANERA DE TENERIFE

Santiago Perera González • Patricia Brito López • David Hernández  
Hernández • Federico Salvador Laich • Felipe Siverio de la Rosa



Se autoriza la reproducción, sin fines comerciales, de este trabajo, citándolo como:

Perera González, S.; Brito López, P.; Hernández Hernández, D.; Laich, F. S. y Siverio de la Rosa, F. 2023. Estudio sobre el mal de Panamá causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* en cultivos de platanera de Tenerife. Informe técnico nº5. GMR Canarias. 56 p.

#### **PUBLICACIÓN FINANCIADA POR**

Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural del Cabildo Insular de Tenerife.

Proyectos: CUARENTAGRI y FRUTTMAC del Programa de Cooperación Transnacional Madeira/Azores/Canarias (PCT-MAC2014-2019-Interreg).

Proyectos CAIA 2019-2020-0001-00 y CAIA 2021-0001-00 de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca del Gobierno de Canarias: “Estrategias agroecológicas para el manejo de sistemas plataneros”. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.

#### **COLECCIÓN INFORME TÉCNICO Nº5**

Autores: Santiago Perera González, Patricia Brito López, David Hernández Hernández, Federico Salvador Laich, Felipe Siverio de la Rosa

Edita: GMR Canarias SAU. S/C de Tenerife

© del texto: Los autores

© de las imágenes: Autores de la publicación y autores citados

Depósito Legal: TF 459-2023

ISSN: 2792-4521

Julio 2023

# ESTUDIO SOBRE EL MAL DE PANAMÁ CAUSADO POR **FUSARIUM OXYSPORUM** F. SP. **CUBENSE** EN CULTIVOS DE PLATANERA DE TENERIFE

Santiago Perera González<sup>1</sup>, Patricia Brito López<sup>2</sup>, David Hernández Hernández<sup>3</sup>, Federico Salvador Laich<sup>4</sup>, Felipe Siverio de la Rosa<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural del Cabildo Insular de Tenerife.

<sup>2</sup>Licenciada en Biología.

<sup>3</sup>Ingeniero Agrícola y del Medio Rural.

<sup>4</sup>Colaborador científico. Unidad de Protección Vegetal. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA).

<sup>5</sup>Investigador. Unidad de Protección Vegetal. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA).

## RESUMEN

El mal de Panamá o veta amarilla es una de las enfermedades más dañinas de la platanera. Ha causado cuantiosas pérdidas en los principales países productores y, en el siglo pasado, su efecto devastador obligó a realizar un cambio total de los cultivares comerciales. El agente causal es el hongo del suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), del que actualmente se reconocen tres razas: R1, R2 y R4. A su vez, la R4, se subdivide en la raza subtropical 4 (RST4) y la raza tropical 4 (RT4), que es la más agresiva y destructiva de todas. En Canarias, y en Tenerife en particular, los registros de la enfermedad datan del primer tercio del siglo XX. Los estudios taxonómicos realizados con posterioridad permitieron identificar a *Foc*-RST4 como el agente causal de la enfermedad. Sin embargo, teniendo en cuenta la alarma creada con los brotes de la RT4 en Colombia, Perú y Venezuela desde el año 2019 hasta la fecha, se consideró necesario actualizar los datos epidemiológicos descriptivos del mal de Panamá en





Canarias. En este trabajo se recogen los resultados de los estudios realizados desde 2020 en Tenerife, destinados a recopilar la siguiente información: a) datos agronómicos de la platanera, b) importancia de los daños causados por el mal de Panamá, y c) identificación taxonómica de las muestras de *Foc* recogidas en las parcelas afectadas. Se visitaron y se recopiló información de 100 parcelas distribuidas por todas las zonas productoras de plátano, lo que representa el 13,8% de la superficie de cultivo de la isla. Se detectaron síntomas de mal de Panamá en el 23% de las parcelas y en todas ellas se ha identificado a *Foc*-RST4 mediante técnicas de biología molecular. Es decir, que en ningún caso se detectó la RT4. En la mayoría de las parcelas la cantidad de plantas afectadas fue baja y no representaba un problema para el cultivo. Solamente se observaron daños de importancia en dos parcelas.



## ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
2.1. Selección de parcelas a encuestar .....	11
2.2. Encuesta .....	14
2.3. Muestreo .....	16
2.4. Preparación de las muestras, aislamiento de hongos e identificación de los aislados .....	18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
3.1. Encuesta .....	19
3.1.1. Parte general .....	19
3.1.2. Apartado de la encuesta relacionado con <i>Foc</i> .....	31
3.2. Aislamiento de hongos e identificación de los aislados .....	39
4. CONCLUSIONES .....	41
5. AGRADECIMIENTOS .....	42
6. BIBLIOGRAFÍA .....	43
7. ANEXO 1. MODELO DE ENCUESTA .....	47



# Estudio sobre el mal de Panamá causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en cultivos de platanera de Tenerife

## 1.-INTRODUCCIÓN

El mal de Panamá o la marchitez por *Fusarium* es la enfermedad de la platanera (*Musa* spp.) provocada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*). Esta enfermedad es considerada como la más dañina entre las que afectan a la platanera por las pérdidas que causó el pasado siglo en los países productores.

La aparición de síntomas depende principalmente de la cantidad de inóculo del patógeno en el suelo, el nivel de resistencia o susceptibilidad de la planta hospedante, y las condiciones ambientales (Pegg y col., 2019). En las plantas afectadas, podemos observar los siguientes síntomas:

**Síntomas externos:** los síntomas comienzan por el amarillamiento de los márgenes de las hojas más viejas. Posteriormente, la decoloración (necrosis) se propaga hacia el pecíolo de la hoja a medida que avanza la enfermedad y comienza a aparecer en las hojas más jóvenes. Eventualmente, las hojas pueden perder rigidez y se marchitan hasta el punto de colapsar en el pecíolo. Si esto ocurre, las hojas cuelgan hacia abajo alrededor de toda la planta. En casos severos, las plantas mueren generalmente antes de la floración y no se produce la piña o el racimo. En ocasiones, también se observa el resquebrajamiento del pseudotallo (**Figura 1**).

**Síntomas internos:** los haces vasculares dispuestos en el anillo que delimita la zona central o medular en el corno de la planta suelen presentar coloraciones pardo amarillentas, rojizas o marrones (necrosis xilemática), observables cuando se corta transversal o longitudinalmente. La amplitud de estos daños depende

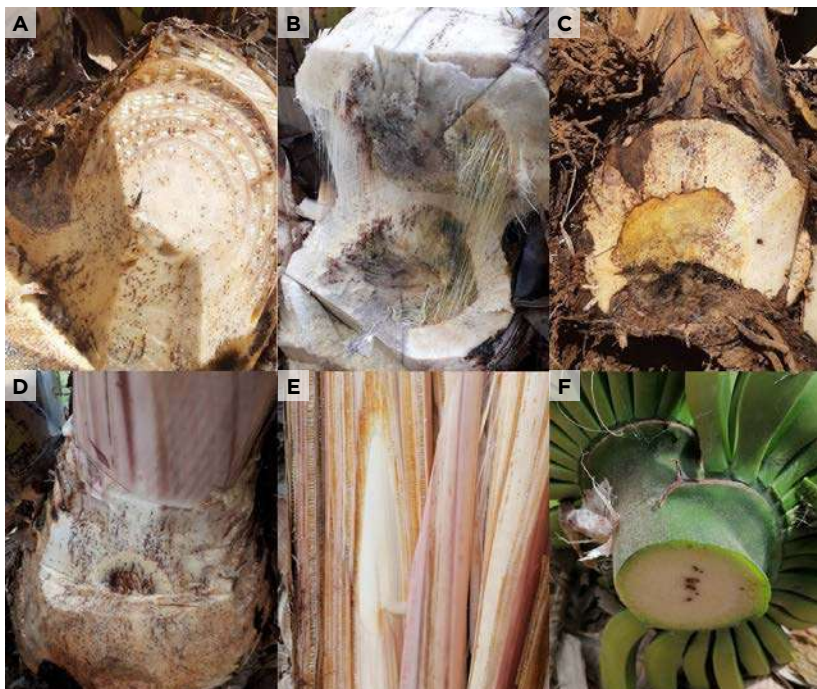




**Figura 1.** Síntomas externos causados por el mal de Panamá en platanera. A y B, vista general de parcelas afectadas; C, amarilleamiento en el borde de las hojas externas más viejas con las hojas jóvenes centrales verdes al inicio de la enfermedad; D, seca del borde de las hojas con franja amarilla en progresión hacia el nervio con los pecíolos más cortos y erectos; E, resquebrajamiento del pseudotallo; F, plantas abrochadas con hojas centrales distorsionadas; G, colapso del pecíolo; y H, planta muerta por mal de Panamá.

del desarrollo del hongo en los haces vasculares. Con frecuencia se puede observar la conexión entre estas zonas de tejido afectado con las raíces infectadas, con la

planta madre o con las yemas de los hijos en formación. En fases avanzadas de la enfermedad, al cortar y abrir el cormo, se observan coloraciones amarillentas de las fibras en las zonas que circundan a los vasos afectados. Estas fibras dan nombre a la enfermedad en Canarias, donde el mal de Panamá es conocido como veta amarilla. También se pueden apreciar vasos necrosados (con coloraciones similares a las indicadas anteriormente para el cormo) avanzando por el interior del pseudotallo hacia la parte superior de la planta (Figura 2).



**Figura 2.** Síntomas internos causados por el mal de Panamá en platanera. A, B, haces vasculares afectados en el rizoma con fibras amarillas (B); C, coloración amarilla característica en la zona afectada; D, cortes desde el exterior para la observación de síntomas en la cabeza; E, haces vasculares afectados en el pseudotallo; F, haces vasculares afectados en el eje del racimo.

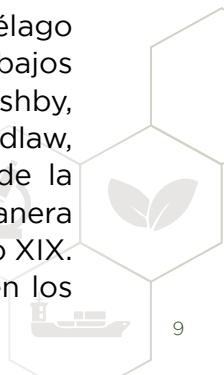
Con respecto al hongo patógeno (*Foc*) se reconocen tres razas de acuerdo a las propiedades patogénicas sobre los diferentes cultivares de plátano: Raza 1 (R1), Raza 2




(R2) y Raza 4 (R4). La R1 causó la epidemia de fusariosis a principios del siglo XX y afecta a un amplio rango de cultivares, entre ellos: Gros Michel (AAA), Silk (AAB) y Pisang Awak (ABB). La R2 se asocia especialmente a los plátanos pertenecientes al subgrupo 'Bluggoe' o 'Topocho' (ABB) (Ploetz, 2006). La R4 es la variante más peligrosa de todas las razas porque afecta a todos estos grupos de plátanos, incluido el clon Cavendish (Stover, 1962; Ploetz, 2015). A su vez, la R4, se divide en la raza subtropical 4 (RST4) y la raza tropical 4 (RT4), siendo esta última la más agresiva y destructiva de todas. Actualmente, la taxonomía basada exclusivamente en las relaciones filogenéticas y evolutivas de las secuencias de ADN de determinados marcadores moleculares, han reclasificado estas dos subrazas a nivel específico, es decir, en dos especies nuevas: la RST4 se denomina *Fusarium phialophorum* y la RT4, *Fusarium odoratissimum* (Maryani y col., 2019).

La propagación de la RT4 ha causado un impacto económico significativo para los productores y exportadores comerciales de plátano en diferentes partes del mundo, desde su aparición en Taiwán a finales de los años 60 del siglo pasado. Recientemente, la detección de esta variante del hongo en Sudamérica (Colombia, 2019; Perú, 2021; Venezuela, 2023), han hecho disparar todas las alarmas y resaltan la importancia de conocer correctamente la diversidad actual del patógeno en Canarias.

Los antecedentes de la enfermedad en el archipiélago canario aparecen por primera vez en diversos trabajos publicados en el primer tercio del siglo pasado (Ashby, 1926; del Cañizo y Rodríguez-Sardiña, 1931; y Wardlaw, 1933), a raíz del que quizá fue el primer brote de la enfermedad después del establecimiento de la platanera como cultivo comercial en las islas a finales del siglo XIX. Dicho brote tuvo lugar en el Valle de la Orotava en los





años 1925-1930 (Rodríguez, 1993; Hernández, 1997). El segundo episodio de la enfermedad se presentó durante los primeros años de la década de 1970, principalmente en Tenerife y con algunos casos en Gran Canaria (Alfaro y Santos, 1972, 1973; Hernández, 1997). El tercer conjunto de casos coincidió con el inicio de la reconversión de las plantaciones de platanera en los primeros años de la década de 1990, que pretendía sustituir al cultivar Pequeña Enana por el cultivar Gran Enana y se promovió el uso de planta de cultivo *in vitro* (Arroyo y col., 1993; Hernández, 1997). El hongo causante del mal de Panamá en Canarias ha sido identificado en todos estos casos como perteneciente a la raza subtropical 4 (*Foc-RST4*).

Hasta ese momento, el mal de Panamá era posiblemente la enfermedad que había generado más trabajos de investigación y la participación del mayor número de investigadores canarios y foráneos, si se comparaba con cualquiera de las que afectaban a otros cultivos de las Islas Canarias (Rodríguez, 1993, Hernández, 1997). Muy poco se ha publicado desde entonces sobre esta grave enfermedad que afecta al principal cultivo de Canarias, y que actualmente ocupa un total de 9098,0 ha, de las cuales 4001,9 ha se encuentran en Tenerife (ISTAC, 2021). Este periodo de estabilidad, sin nuevos episodios graves de veta amarilla, podría verse perturbado en los próximos años. La forma tropical de *Foc* (*Foc-RT4*), ha ampliado en los últimos años su distribución mundial, con citas en África (2013) y en América (2019, 2021, 2022) (IPPC, 2013; García-Bastidas y col., 2019; Aguayo y col., 2021; Acuña y col., 2022; Martínez y col., 2023). Los síntomas causados por *Foc-RT4* no pueden diferenciarse en campo de los causados por *Foc-RST4*, como tampoco hay diferencias en los síntomas causados por las diferentes razas de *Foc* en el género *Musa* (Stover, 1962; Ploetz, 1990; Ploetz y Pegg, 2000; Dita y col., 2013; Pérez Vicente y col., 2014; Maryani y col., 2019). Por tanto, *Foc-RT4* podría afectar a

las plantaciones de platanera de Canarias y sus síntomas pasar desapercibidos como síntomas de *Foc*-RST4.

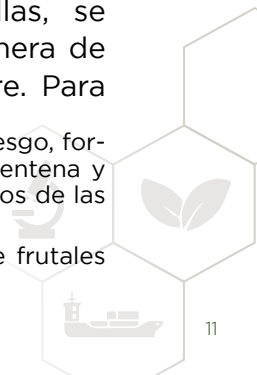
El Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), dentro de los proyectos CUARENTAGRI<sup>1</sup> y FRUTTMAC<sup>2</sup> del Programa de Cooperación Transnacional Madeira/Azores/Canarias (PCT-MAC2014-2019-Interreg), financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), y del proyecto CAIA del ICIA “Estrategias agroecológicas para el manejo de sistemas plataneros”, lleva a cabo estudios relacionados con diferentes aspectos epidemiológicos de plagas y enfermedades de cultivos tropicales como el plátano, en colaboración con el Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural del Cabildo Insular de Tenerife. En este informe se recogen los resultados de los estudios realizados en 2020 en Tenerife, y cuyos objetivos fueron: i) recopilar información general de los cultivos de platanera, ii) valorar la importancia y los daños causados por el mal de Panamá, iii) identificar los aislados fúngicos obtenidos en las muestras recogidas en las parcelas afectadas, descartando la presencia de *Foc*-RT4 de forma fehaciente. Este estudio forma parte de otro más extenso que incluye a las islas del archipiélago productoras de plátano.

## 2.-MATERIALES Y MÉTODOS

**2.1. Selección de parcelas a encuestar.** Con el fin de seleccionar aleatoriamente una muestra representativa en la que valorar la prevalencia de la enfermedad, estimar el porcentaje de plantas afectadas en los cultivos y la gravedad de los daños en ellas, se cuadrículó toda la superficie cultivada de platanera de Tenerife, tanto en invernadero como al aire libre. Para

1 CUARENTAGRI. Investigación, identificación, análisis de riesgo, formación y sensibilización sobre potenciales plagas de cuarentena y plagas reguladas no de cuarentena en los principales cultivos de las regiones de estudio (<https://www.cuarentagri.com/>).

2 FRUTTMAC. Transferencia de I+D+i para el desarrollo de frutales tropicales en la Macaronesia (<https://fruttmac.com/>).





ello se utilizó una cuadrícula de 500 x 500 m, y se seleccionó aleatoriamente un número de recuadros por zona proporcional a la superficie de cultivo. Las zonas de cultivo se establecieron en base a las condiciones agroclimáticas y geográficas de la isla. Se seleccionaron 100 recuadros en toda la isla, aproximadamente uno por cada 40 ha de cultivo, y se escogió dentro de cada recuadro la parcela de mayor superficie (Figura 3).



**Figura 3.** Cuadrículas de 500 m x 500 m sobre el mapa de cultivo de platanera en la zona sur de Tenerife y selección de parcela para la encuesta.

### Zonificación de superficies cultivadas de plátano




**Figura 4.** Distribución de las ocho zonas de producción seleccionadas sobre el mapa de cultivo de plátano.

La **Figura 4** muestra el mapa de cultivo de platanera de Tenerife, indicando las ocho zonas en las que se agruparon para su estudio. La distribución de la superficie de cultivo por cada municipio y el número de encuestas realizadas por zona, se detallan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Distribución de superficies de cultivo por municipio y número de encuestas por zona (ISTAC, 2018)

Zonas <sup>1</sup>	Municipios	Superficie (ha)	Superficie por zona (ha)	Nº encuestas																																																																																			
	Guía de Isora	911,8	959,7	18																																																																																			
	Santiago del Teide	47,9				Arona	748,3	888,3	19	San Miguel de Abona	76,7	Granadilla de Abona	63,3		Los Silos	431,5	830,3	18	Buenavista del Norte	312,6	Garachico	86,2		Adeje	385,4	385,4	11		La Laguna	227,5	250,0	10	Tacoronte	22,5		Puerto de la Cruz	138,5	361,8	10	La Orotava	138,0	Los Realejos	85,3		Icod de los Vinos	99,1	199,6	9	San Juan de la Rambla	10,2	La Guancha	90,3		Güímar	91,8	146,0	5	Arafo	8,6	Candelaria	4,7	Fasnia	1,7	Arico	39,2	La Matanza de Acentejo	8,6	Santa Cruz de Tenerife	1,5	Santa Úrsula	0,1	El Sauzal	0,1	El Rosario	0	El Tanque	0	Tegueste	0	La Victoria de Acentejo	0	Vilaflor de Chasna	0	10,3	0		
	Arona	748,3	888,3	19																																																																																			
	San Miguel de Abona	76,7																																																																																					
	Granadilla de Abona	63,3																																																																																					
	Los Silos	431,5	830,3	18																																																																																			
	Buenavista del Norte	312,6																																																																																					
	Garachico	86,2																																																																																					
	Adeje	385,4	385,4	11																																																																																			
	La Laguna	227,5	250,0	10																																																																																			
	Tacoronte	22,5																																																																																					
	Puerto de la Cruz	138,5	361,8	10																																																																																			
	La Orotava	138,0																																																																																					
	Los Realejos	85,3																																																																																					
	Icod de los Vinos	99,1	199,6	9																																																																																			
	San Juan de la Rambla	10,2																																																																																					
	La Guancha	90,3																																																																																					
	Güímar	91,8	146,0	5																																																																																			
	Arafo	8,6																																																																																					
	Candelaria	4,7																																																																																					
	Fasnia	1,7																																																																																					
	Arico	39,2																																																																																					
	La Matanza de Acentejo	8,6																																																																																					
	Santa Cruz de Tenerife	1,5																																																																																					
	Santa Úrsula	0,1																																																																																					
	El Sauzal	0,1																																																																																					
	El Rosario	0																																																																																					
El Tanque	0																																																																																						
Tegueste	0																																																																																						
La Victoria de Acentejo	0																																																																																						
Vilaflor de Chasna	0	10,3	0																																																																																				
		4031,4	4031,4	100																																																																																			

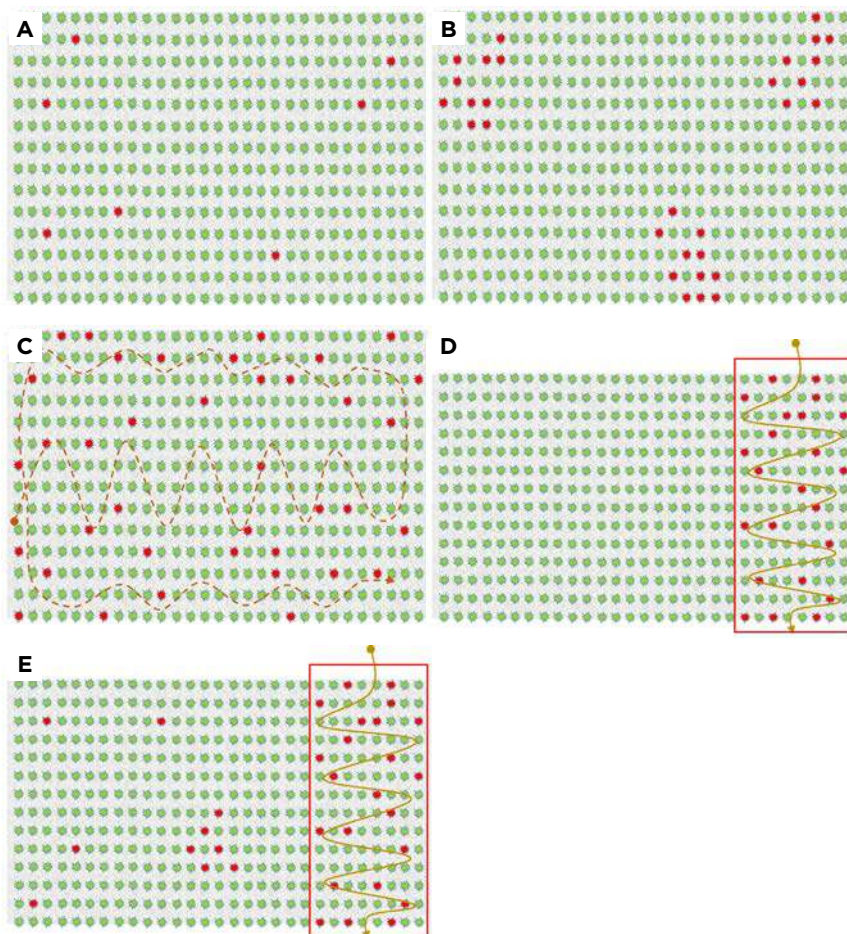
<sup>1</sup> La coloración de las zonas se corresponde con las de la **Figura 4**.



**2.2. Encuesta.** La misma se preparó con el objetivo de recoger información actualizada del cultivo, donde se incluyeron los siguientes datos generales: referencia, código, fecha, nombre de la finca, dirección, municipio, datos catastrales, coordenadas UTM, datos del propietario o encargado, tipo de cultivo (aire libre, invernadero, convencional o ecológico), superficie de cultivo, número de plantas, años con cultivo de platanera en la parcela, edad de la planta del cultivo, cultivares (número de plantas o porcentaje), cultivos asociados, marco de plantación, origen de la planta, procedencia del agua y tipo de riego, manejo del agua de riego, tipo de suelo, fertilización utilizada, enmiendas y frecuencia de aplicación, productos y dosis de la fertilización química, movimientos de suelo, presencia de plagas y enfermedades ordenadas por importancia, productos fitosanitarios utilizados, factores que se consideran limitantes del cultivo y observaciones. Además, se incluyeron las siguientes cuestiones relacionadas con el mal de Panamá: presencia de la enfermedad actual o en el pasado, año de aparición, forma de distribución de las plantas afectadas en la parcela, número de plantas afectadas, índice de intensidad de la enfermedad de las plantas afectadas, síntomas observados, síntomas internos, medidas específicas de control aplicadas y desinfección de herramientas de deshijado. La encuesta utilizada se muestra como contenido adjunto a este informe en el Anexo 1. Los tipos de distribución de las plantas afectadas en las parcelas se esquematizan y explican en la **Figura 5**. Para cuantificar la intensidad o severidad de los daños de la enfermedad en las plantas, se estableció una escala visual o Índice de Intensidad de Enfermedad (IIE) de 0 a 5; en el que 0 se corresponde con una planta sin síntomas y 5 con una planta muerta. Como recurso para determinar dicho índice en las observaciones a campo, se elaboró una lámina con



una imagen de una planta correspondiente a cada IIE acompañada de su descripción (Figura 6).



**Figura 5.** Tipos de distribución del mal de Panamá en las parcelas encuestadas. A, distribución de plantas aisladas. Se contaron todas las plantas afectadas y se estimó la escala visual de síntomas de cada una; B, distribución en rodales. Se contaron todas las plantas con síntomas de los rodales y se estimó su escala visual de síntomas; C, distribución dispersa, si la enfermedad se encuentra distribuida por toda la parcela de forma aislada no contable o en rodales no contables. Se estimó el número de plantas afectadas inspeccionando aleatoriamente en toda la parcela al menos el 10% de las plantas del cultivo. Se calculó el porcentaje de positivas en la porción inspeccionada y se estimó con él el total de plantas de la parcela; D y E, distribución por zonas en superficies amplias. En estos casos se calculó independientemente la zona muy afectada y la menos o nada afectada. El total se calculó sumando los valores obtenidos en cada una de ellas.



**Figura 6.** Índice de intensidad de enfermedad de 0 a 5 utilizado para valorar el estado de las plantas afectadas en la encuesta (0 equivale a una planta completamente sana y 5, a una planta seca y muerta).

**2.3. Muestreo.** Para la recogida de muestras de tejido vegetal (cormo y pseudotallo) se visitaron todas las parcelas que se consideraron afectadas por mal de Panamá en las encuestas. La selección de las plantas para la toma de muestras se hizo en base a la sintomatología descrita para esta enfermedad, evitando las plantas en estados muy avanzados de degradación. Se efectuaron cortes con un cuchillo en el cormo (cabeza) y en el pseudotallo (vainas) hasta encontrar zonas de vasos con síntomas de necrosis xilemática características (**Figura 7**). Una vez localizada la zona de la planta afectada, se desinfectó superficialmente con etanol al 70%, y se tomaron muestras de la cabeza y de las vainas con cuchillos previamente desinfectados. Se recogieron muestras de tres plantas sintomáticas de cada parcela



visitada. Cada muestra fue acondicionada en papel de filtro dentro de una bolsa plástica y se transportaron al laboratorio en recipientes refrigerados. La **Tabla 1** muestra la localización de las 100 parcelas visitadas.



**Figura 7.** Ejemplo de muestras de pseudotallo y de cabeza o cormo recogidas para los análisis. A, extracción de porción del pseudotallo; B, detalle de síntomas en la cara interna de la porción extraída; C, corte efectuado en la cabeza para la detección de síntomas internos y extracción de muestra; D, detalle de la muestra con síntomas.







## 2.4. Preparación de las muestras, aislamiento e identificación de los aislados fúngicos.

Cada una de las muestras de tejido vegetal (correspondientes a cada planta), se procesó en el laboratorio en condiciones asépticas de la siguiente forma. En primer lugar, se retiró con cuchillo estéril las zonas laterales de la muestra para descartar el tejido oxidado y la contaminación con otros microorganismos. En segundo lugar, se localizaron las zonas del tejido con necrosis xilemática (provocada por *Fusarium*) y se extrajeron asépticamente con bisturí estéril cuatro fragmentos independientes con la siguiente sección: 15-25 x 3-5 x 3-5 mm. En tercer lugar, se realizó la siembra de los fragmentos en el medio de cultivo PDAstc (Papa Dextrosa Agar suplementado con estreptomicina (0,3 g/L) y cloranfenicol (0,25 g/L)) para evitar el desarrollo de bacterias endófitas. Cada una de las placas de Petri con PDA fue sembrada con cuatro fragmentos de tejido (provenientes de una misma planta). No obstante, en aquellos casos donde la necrosis xilemática fue dificultosa de localizar, se duplicaron o triplicaron el número de fragmentos por planta. Una vez finalizada la siembra, las placas de Petri fueron incubadas a 25 °C en oscuridad hasta la aparición de las colonias fúngicas (3 a 7 días).

Una vez desarrolladas las colonias fúngicas se realizó una identificación preliminar a nivel de género mediante observación macromorfológica y, principalmente, micromorfológica. Aquellas colonias que presentaron características semejantes a *Fusarium*, fueron purificadas en PDAstc, extrayendo puntas de hifas mediante una aguja histológica y bajo la observación de un microscopio estereoscópico. El repique sobre PDAstc se realizó en tres puntos equidistantes en placa de Petri y se incubó a 25 °C durante 7 días en oscuridad. En el caso de no obtener cultivos puros, se repitió este procedimiento hasta lograrlo. A cada aislado purificado se le asignó

un código identificativo y se registraron los siguientes parámetros: diámetro de las tres colonias, coloración de anverso y reverso de las colonias, longitud y ramificación del conidióforo, morfología de la cabeza de fructificación y disposición de los conidios en el conidióforo. A través de estas determinaciones se definieron diferentes morfotipos, lo que permitió agrupar los aislamientos. Cada uno de los aislados purificados fueron conservados en un crioprotector a base de glicerol a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

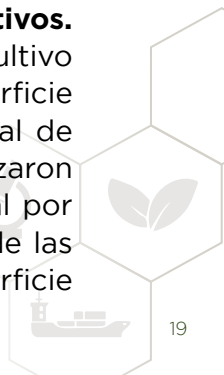
El diagnóstico a nivel específico se completó con el análisis filogenético del gen *tefl* (factor de elongación de la traducción). Para ello se realizaron extracciones de ADN genómico de los aislados fúngicos representativos de las distintas localizaciones y de cada uno de los morfotipos definidos. Posteriormente, se realizó la amplificación parcial del gen *tefl* mediante PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) utilizando cebadores específicos. Los fragmentos amplificados fueron observados por electroforesis en gel de agarosa (1,5%) y secuenciados posteriormente. Las secuencias de ADN fueron analizadas mediante métodos filogenéticos y evolutivos moleculares con el programa MEGA 11 (Tamura y col., 2021), utilizando secuencias de referencia de cepas tipo de la base de datos del GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>).

### 3.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Encuesta.

##### 3.1.1. Parte general. Información general de los cultivos.

Se realizaron encuestas en un total de 554,46 ha de cultivo de platanera, lo que supone un 13,8% de la superficie cultivada de plátano de la isla. La distribución final de **superficies de las parcelas** en las que se realizaron encuestas y el porcentaje relativo respecto al total por municipio se muestran en la **Tabla 2**. La mayoría de las fincas encuestadas (42%) contaban con una superficie



**Tabla 2.** Relación de superficies encuestadas y de parcelas con síntomas de mal de Panamá

Municipio <sup>1</sup>	Superficie (ha)	Superficie encuestada (ha)	Porcentaje de superficie encuestada	Superficie de las parcelas con síntomas (ha)	Porcentaje de superficie de las parcelas con síntomas	Nº parcelas encuestadas	Nº parcelas con síntomas	Porcentaje de parcelas con síntomas
Guía de Isora								
Santiago del Teide	959,7	74,0	7,7	17,1	23,1	18	4	22,2
Arona								
San Miguel de Abona	888,3	139,3	15,7	69,4	49,8	19	7	36,8
Granadilla de Abona								
Los Silos								
Buenavista del Norte	830,3	99,4	12,0	22,5	22,7	18	2	11,1
Garachico								
Adeje	385,4	79,7	20,7	8,7	10,9	11	1	9,1
La Laguna								
Tacoronte	250,0	68,2	27,3	29,0	42,5	10	4	40,0
Puerto de la Cruz								
La Orotava	361,8	35,6	9,8	16,8	47,2	10	5	50,0
Los Realejos								
Icod de los Vinos								
San Juan de la Rambla	199,6	38,3	19,2	0,0	0,0	9	0	0,0
La Guancha								
Gúímar								
Arafo								
Candelaria	146,0	20,0	13,7	0,0	0,0	5	0	0,0
Fasnia								
Arico								
Otros municipios	10,3	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-
Total	4031,4	554,5	13,8	163,4*	29,5*	100	23	23,0

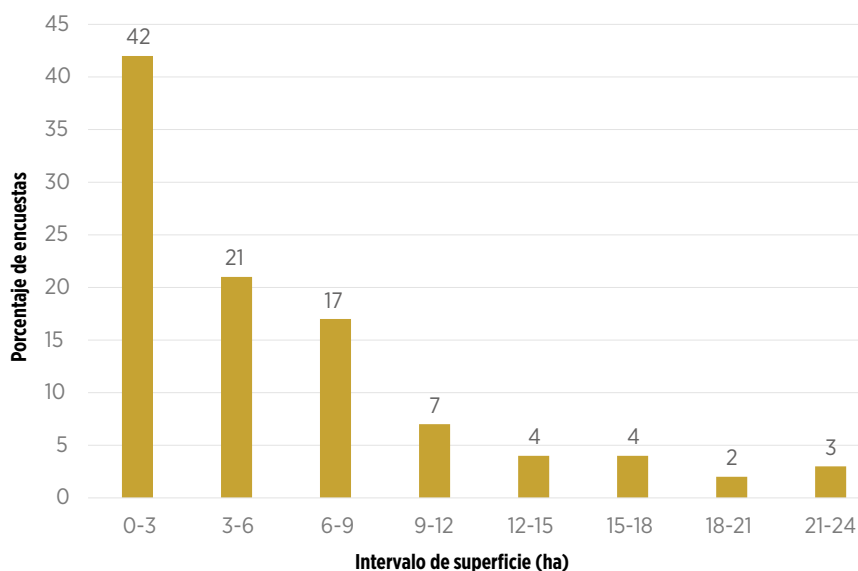
\* Esta cifra se refiere a la superficie total de las parcelas en las que se encontraron plantas con síntomas de mal de Panamá, aunque el número de plantas afectadas fuera muy bajo en la mayoría de los casos.

<sup>1</sup>La coloración de las zonas se corresponde con las de la **Figura 4**.

en el intervalo entre 0-3 ha, seguidas del 21% entre 3-6 ha y el 17% entre 6 y 9 ha. En los intervalos de mayor superficie se encuentra el 2% de las fincas encuestadas entre 18-21 ha y el 3% con superficies entre 21-24 ha

(Figura 8). La superficie media de todas las parcelas visitadas fue de 5,5 ha.

La **distribución de las parcelas encuestadas por altitud** (m.s.n.m.) se muestra en la **Tabla 3**. Se observó una disminución de la superficie con la altura: pasando de 6,0 ha/parcela en la primera zona (<100 m.s.n.m.) a 3,3 ha/parcela en la tercera zona (>200 m.s.n.m.).



**Figura 8.** Distribución por intervalos de superficie (ha) de las fincas encuestadas.

**Tabla 3.** Distribución de parcelas encuestadas por altitud

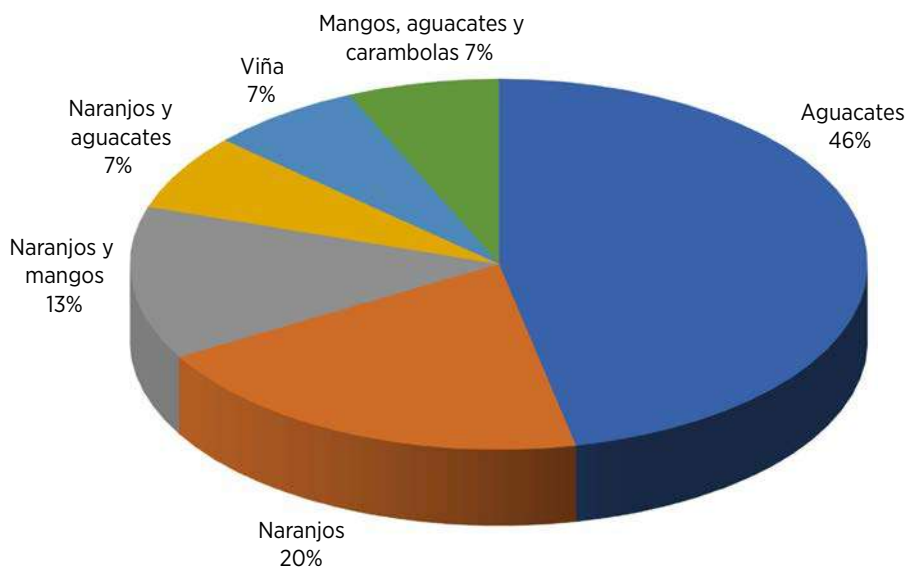
Zona	Altitud (msnm)	Nº parcelas	Superficie (ha)	Superficie media por parcela (ha)	Porcentaje de parcelas	Porcentaje de superficies
Primera	<100	52	311,7	6,0	52,0	56,2
Segunda	100-200	32	189,5	5,9	32,0	34,2
Tercera	>200	16	53,3	3,3	16,0	9,6
Total		100	554,5	5,5 (media)	100,0	100,0



El 57% de las parcelas se encontraban al **aire libre**, el 32% en **invernadero** y el 11% combinaba recintos al aire libre con parcelas en invernadero.

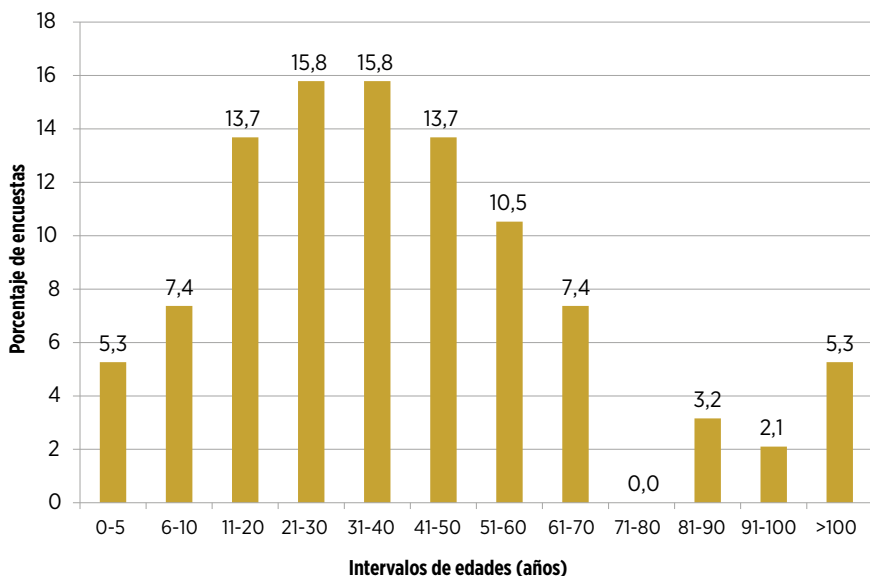
Del total de las fincas encuestadas, un 8% correspondía a fincas certificadas en **agricultura ecológica**.

El 15% de las fincas visitadas cultivaba otras especies de frutales como **cultivos asociados**. De estas explotaciones, el 46% se acompañaba de aguacateros, el 20% de naranjos, y el 13% de naranjos y mangos. Estas asociaciones y el resto se detallan mediante un diagrama circular en la **Figura 9**.



**Figura 9.** Distribución de cultivos asociados en las parcelas encuestadas.

El 58% de las fincas que se visitaron llevaban cultivando platanera entre 10 y 50 años, siendo las fincas con edades comprendidas entre 20 y 30 años y entre 30 y 40 años las más frecuentes, con un porcentaje de 15,8% en cada intervalo. Cabe destacar que un 5,3% eran cultivos de más de 100 años. La distribución por intervalos de edades se muestra en la **Figura 10**.

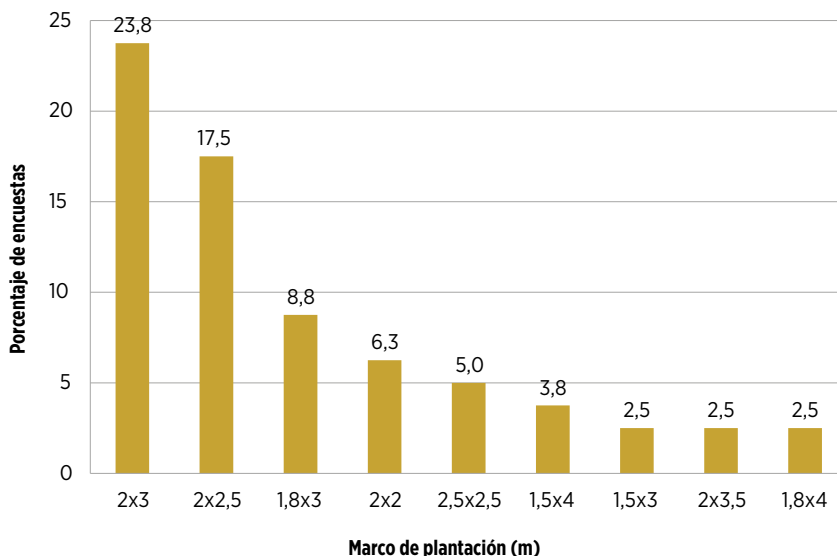


**Figura 10.** Distribución por intervalos de edades en años de las fincas encuestadas.

En cuanto a los **marcos de plantación**, el 90% de las fincas distribuía sus plantas en un marco en línea simple, mientras que el resto lo hacía en un marco a doble línea (10%). Las dimensiones de los marcos de plantación encontradas fueron muy diversas, tanto en la separación entre líneas como en la separación entre plantas (**Figura 11**). De las explotaciones con un marco en línea simple, el mayor porcentaje de fincas (23,8%) poseía un marco de 2 x 3 m, seguido de 2 x 2,5 m en el 17,5% de las encuestas y de 1,8 x 3 m en el 8,8%. Con respecto a las distribuciones en doble línea, ninguna de las fincas utilizaba el mismo marco de plantación.

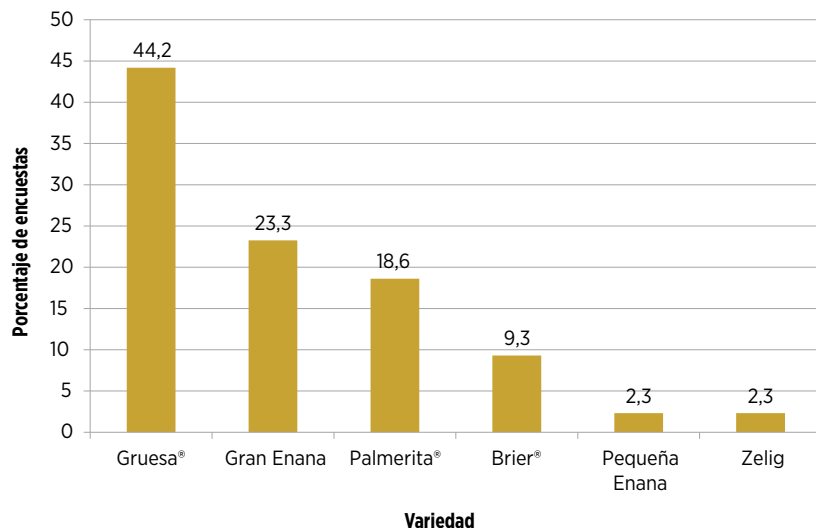
En el 74% de las fincas, la **procedencia de las plantas** fue exclusivamente de cultivo *in vitro*, mientras que en el 22% de las explotaciones contaban con plantas procedentes de cultivo *in vitro* y de cabezas. Las plantas procedían sólo de cabezas en el 4% de las fincas encuestadas. La empresa CULTESA, comercializadora de planta de

cultivo *in vitro*, fue la única suministradora de plantas en un 47% de las encuestas, seguida de INVERMIRA con un 37%. Las fincas que poseían planta de las dos empresas citadas, comprendían un 16% del total de las encuestas.

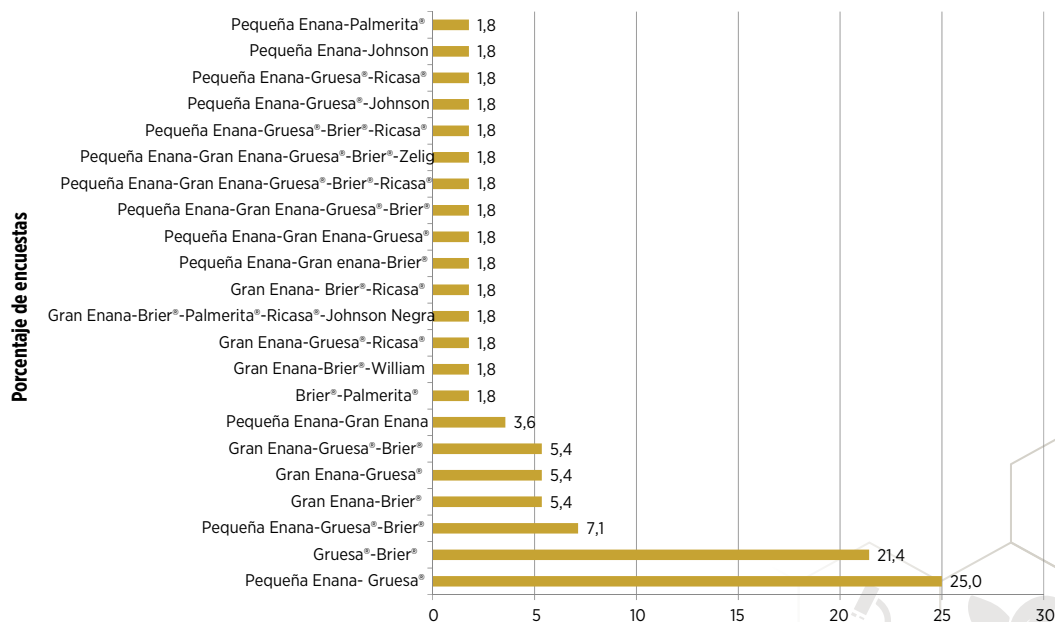


**Figura 11.** Porcentaje de fincas con distintos marcos de plantación en línea.

En relación al número de **variedades** por finca, el 43% contaba con una sola variedad, mientras que el resto (57%) utilizaba de dos a cinco variedades en una misma explotación. En el caso de las fincas con una única variedad, Gruesa Palmera® fue la variedad elegida por más explotaciones (44,2%), seguida de Gran Enana (23,3%), Palmerita® (18,6%) y Brier® (9,3%). Pequeña Enana y Zelig, fueron las variedades que se encontraron en el menor porcentaje de fincas (2,3%) (Figura 12). La combinación de variedades que se repitió con mayor frecuencia (en fincas que poseían más de una variedad) fue Pequeña Enana y Gruesa Palmera® en un 25%, seguida de Gruesa Palmera® y Brier® en un 21,4% de las fincas encuestadas. El resto de combinaciones no superaba el 10% de las encuestas y se detallan en la Figura 13.



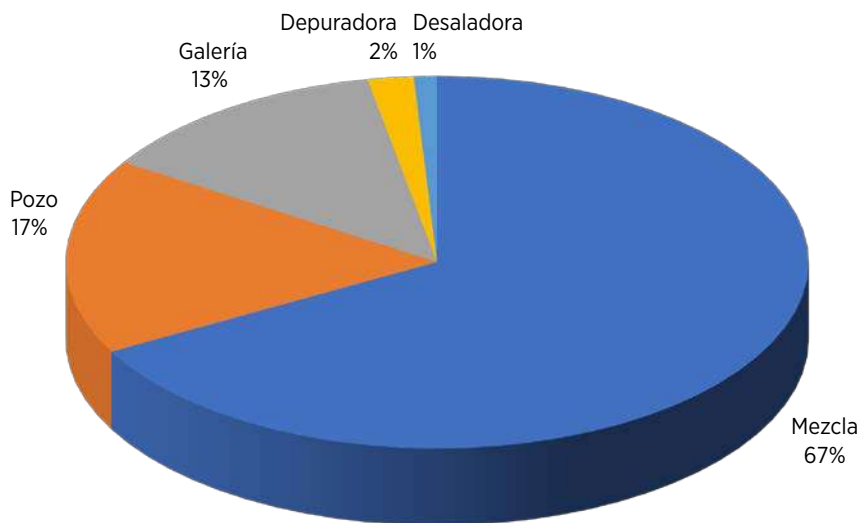
**Figura 12.** Porcentaje de cada variedad de platanera en las fincas encuestadas que sólo se cultivaba una.



**Figura 13.** Porcentaje de combinaciones de variedades en las fincas encuestadas.



La **procedencia del agua de riego** era mayoritariamente de mezcla (67%) seguida de pozo en un 17% y de galería en un 13%. Solo en un 2% de las fincas, el agua de riego procedía de depuradora y en un 1% de desaladora. En la **Figura 14** se detallan dichos resultados mediante un diagrama circular.



**Figura 14.** Procedencia del agua de riego de las fincas encuestadas.

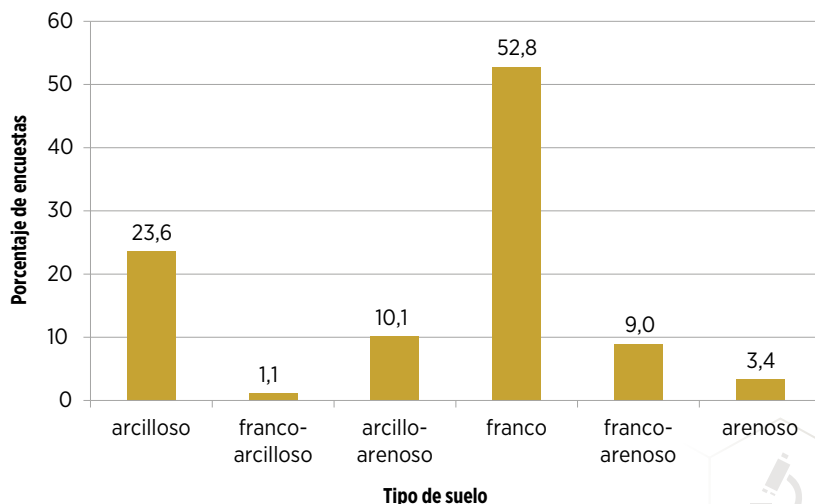
En relación con el **sistema de riego**, el goteo fue claramente mayoritario con un 91% de las fincas encuestas, seguida de la aspersión con un 7%. Mientras que el 2% de las fincas poseía riego por goteo y por aspersión. El 94% de los encuestados disponía de estanque en su finca. Los resultados de diferentes cuestiones planteadas a los agricultores acerca de la toma de decisiones relacionadas con la dosis y frecuencia de riego, se relacionan en la **Tabla 4**.

La **Figura 15** muestra el porcentaje de los distintos **tipos de suelo**, de acuerdo a las indicaciones de los agricultores encuestados, siendo el suelo franco el más frecuente (52% de las parcelas). En cuanto al **tipo de fertilización**, el 59% de los agricultores aplicaba productos químicos

y orgánicos, el 32% utilizaba únicamente fertilización química y el 9% de las fincas abonaba sus tierras exclusivamente con fertilización orgánica. Estas últimas explotaciones coincidían mayoritariamente con las certificadas en agricultura ecológica. Por otro lado, el 58% de las fincas encuestadas empleaba abonos simples,

**Tabla 4.** Resultados en porcentaje de diferentes cuestiones planteadas a los agricultores acerca de la toma de decisiones relacionadas con la dosis y frecuencia de riego

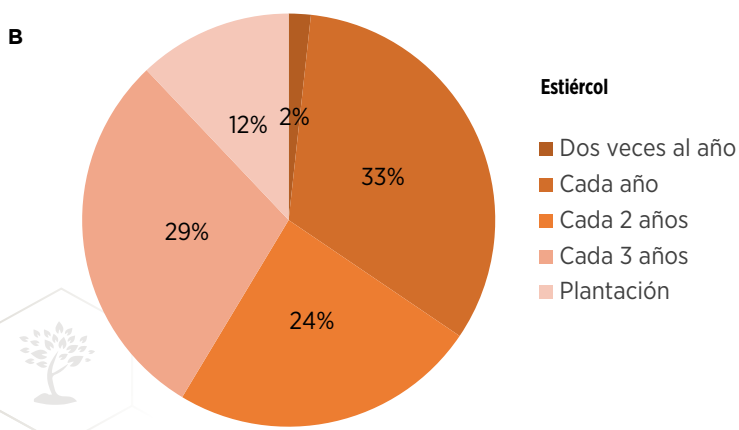
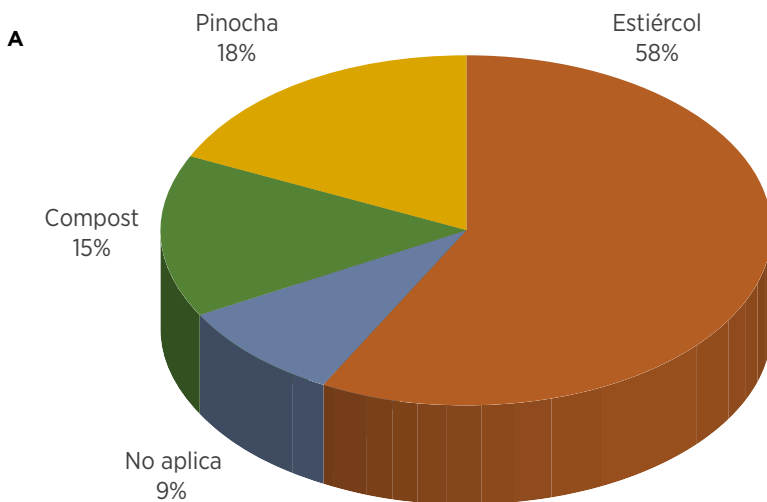
Cuestiones planteadas sobre dosis y frecuencia de riego	Porcentajes de respuestas afirmativas
Conozco el gasto de agua de mi finca	82
Decido la cantidad de agua observando la humedad del terreno	75
Aplico la cantidad de agua que me marca el técnico asesor	72
Anoto y registro el gasto de agua de mi finca	72
Si la decisión es mía, analizo cada semana si se mantiene la dosis y frecuencia o hay que cambiar	69
Decido la cantidad de agua por mi experiencia	59
Aplico la cantidad de agua que me indican desde AGROCABILDO	59
Decido la cantidad de agua apoyándome en tensiómetros o sensores	9

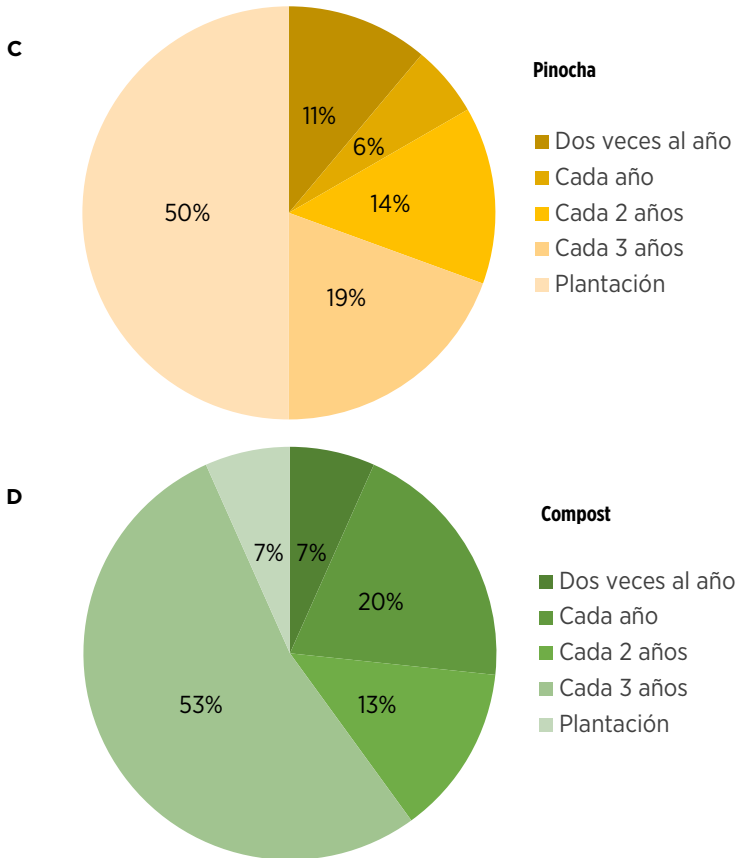


**Figura 15.** Distribución del tipo de suelo indicado por los agricultores en las fincas encuestadas.

el 31%, dos tipos de abonos (simples y complejos) y un 11% usaba exclusivamente abonos complejos.

El 44% de las parcelas eran sorribadas. Un 17% de los agricultores utilizaban laboreo mecánico, un 20% incorporaciones de tierra y un 17% picado y enterrado de restos del cultivo. La **incorporación de enmiendas** por los agricultores se resume en la **Figura 16**, en la que se detalla el tipo de enmienda y su frecuencia de aplicación.



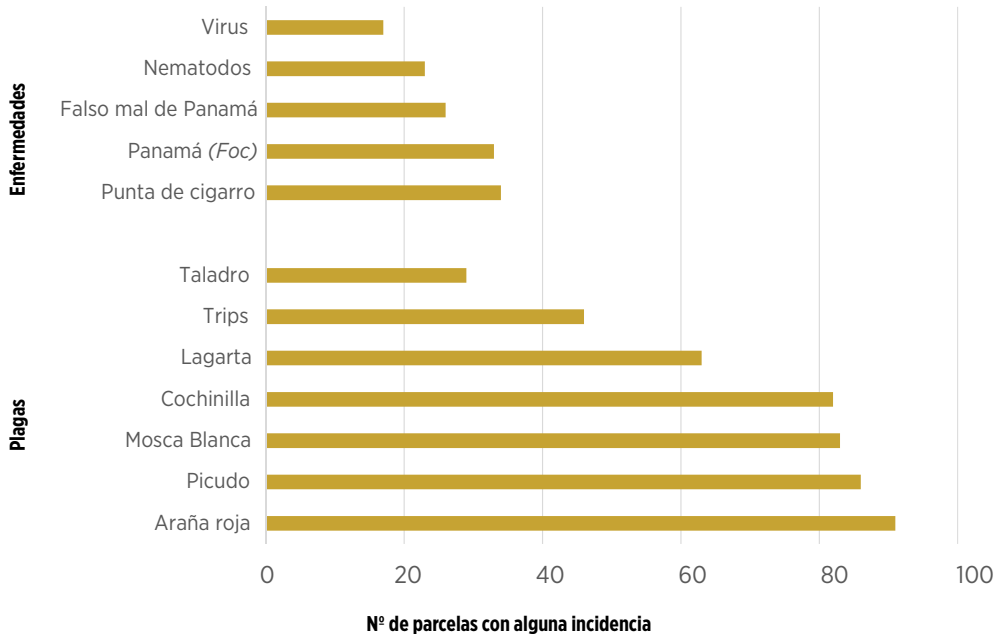


**Figura 16.** A, enmiendas utilizadas por los agricultores; B, frecuencias de aplicación de estiércol; C, frecuencia de aplicación de pinocha; D, frecuencia de aplicación de compost.

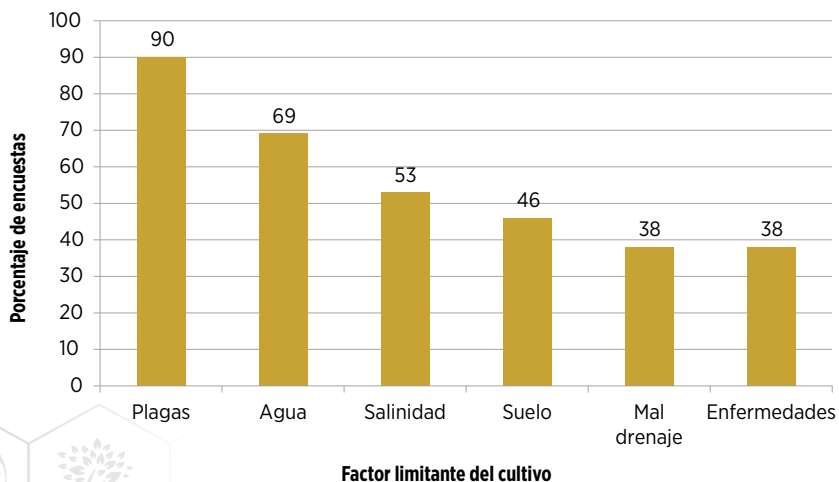
En cuanto a **plagas y enfermedades**, la **Figura 17** resume las mencionadas por los agricultores. Las plagas son más frecuentes en los cultivos que las enfermedades, siendo la araña roja y el picudo las más citadas por más del 85% de los encuestados.

Las principales **limitaciones para la producción de plátanos** que encontraban los agricultores son las producidas por las plagas (90%) y el agua (69%), seguidos de problemas de salinidad (53%), suelo (46%), mal drenaje (38%) y las enfermedades (38%) (**Figura 18**).





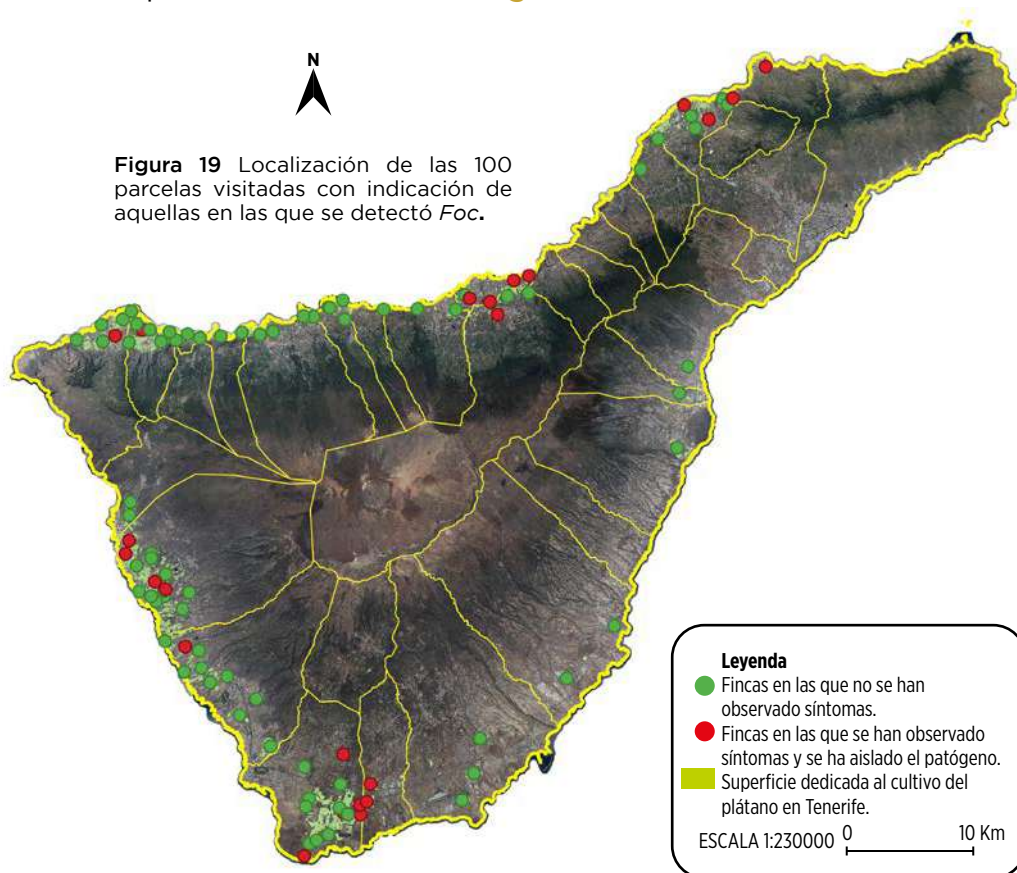
**Figura 17.** Importancia relativa de plagas y enfermedades en cultivo según los agricultores.

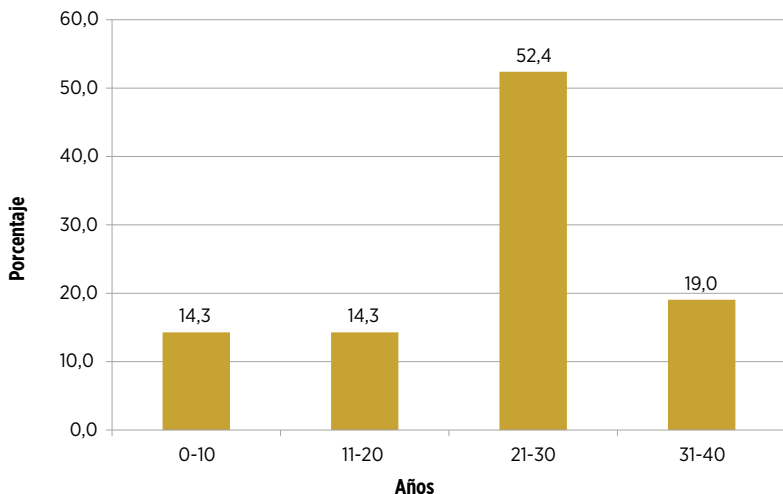


**Figura 18.** Principales limitaciones para la producción de plátanos según los agricultores encuestados.

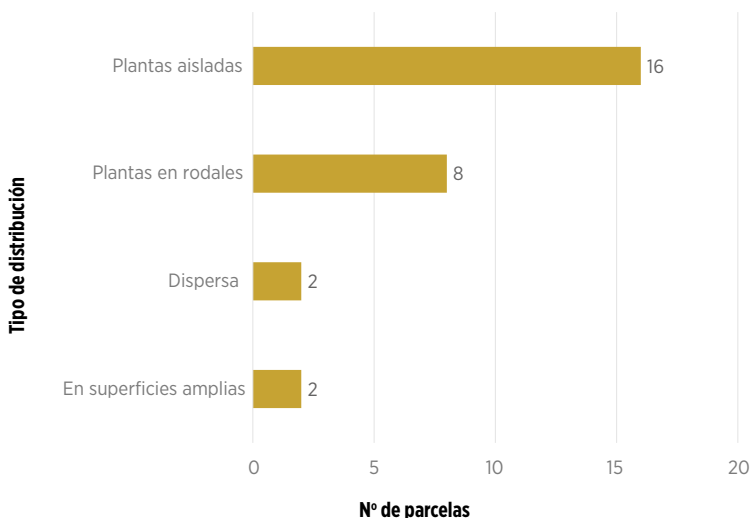
### 3.1.2. Apartado de la encuesta relacionado con *Foc*

En 23 de las 100 parcelas encuestadas se encontraron síntomas compatibles con los de *Foc* (Figura 19). Además, 19 agricultores mencionaron que sus parcelas estuvieron afectadas en el pasado, pero que la enfermedad remitió completamente y ya no se observaban plantas con síntomas. La Figura 20 muestra los años aproximados transcurridos desde la primera observación de síntomas de mal de Panamá en las fincas afectadas actualmente. La distribución de la enfermedad en las parcelas, ya sea en plantas aisladas o en rodales, en superficies amplias o dispersa se muestra en la Figura 21.



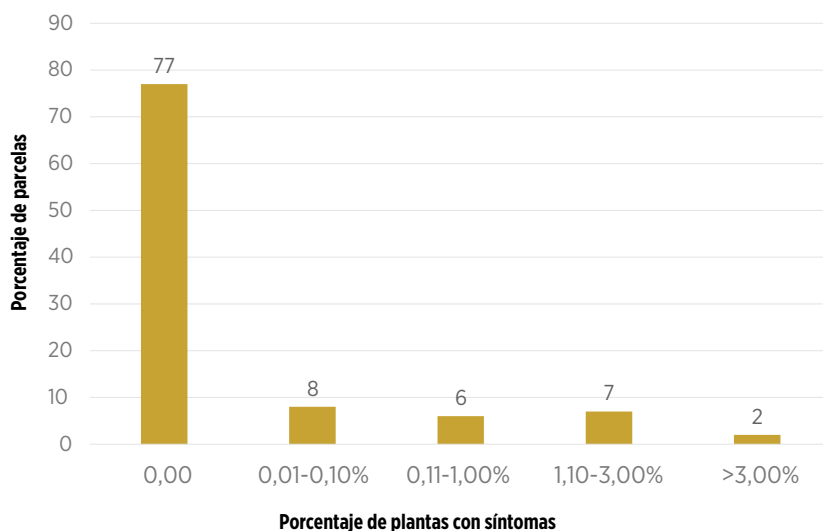


**Figura 20.** Distribución de las parcelas encuestadas (%) en función de los años transcurridos desde la primera observación de síntomas de la enfermedad (*Foc*).




**Figura 21.** Distribución de las plantas con mal de Panamá en las parcelas afectadas: **plantas aisladas**, si se encuentran focos aislados de menos de 5 plantas enfermas juntas; **plantas en rodales**, plantas enfermas en focos de 5-25 plantas enfermas juntas; distribución **por zonas en superficies amplias**, la enfermedad afecta a una superficie amplia en la parcela de más de 25 plantas juntas; **distribución dispersa**, cuando en la parcela existe una terraza o una zona amplia bien definida en la que se localizan principalmente las plantas enfermas y que hay que valorar independientemente del resto.

Aunque en el 23% de las parcelas se detectaron síntomas de *Foc*, el porcentaje de plantas con síntomas en ellas fue relevante en solo dos, con un 12,3% y un 49,1% de plantas afectadas (Figura 22). Mientras que, entre las restantes parcelas con síntomas de mal de Panamá (21%), el número de plantas con síntomas no representaban un problema para el cultivo en la mayor parte de los casos: el 7% de las parcelas tenían entre 1 y 3% de las plantas afectadas y el resto tenía porcentajes entre 0,1 y 1 (6% de las parcelas) o inferiores al 0,1% (8% de las parcelas). Teniendo en cuenta la estimación de plantas con mal de Panamá en los cultivos visitados, se puede valorar la presencia de esta enfermedad globalmente en los cultivos de platanera de Tenerife en un 0,37% de sus plantas (estimación total de plantas afectadas x 100/ total de plantas en las parcelas visitadas).



**Figura 22.** Distribución de porcentajes de plantas con síntomas de *Foc* en las parcelas encuestadas.

En los primeros estudios llevados a cabo por distintos autores sobre el mal de Panamá en Canarias referidos a los años 1924-1930 (Ashby, 1926; del Cañizo y Rodríguez-



Sardiña, 1931; Capote, 1932, y Wardlaw, 1933) no hay valoraciones objetivas de daños que nos permitan realizar comparaciones con los datos actuales, aunque sí se menciona que algunas plantaciones se encontraban afectadas en porcentajes de hasta el 10,6% (del Cañizo y Rodríguez-Sardiña, 1931). En estos estudios se describe por primera vez el aislamiento del agente causal de la marchitez de la platanera en Canarias mediante análisis llevados a cabo en diversos laboratorios de Madrid, Londres, Washington y Berlín.

Los primeros datos sobre la incidencia de la enfermedad en Canarias se estimaron en la década de los 70 del siglo pasado en el brote ocurrido en Tenerife y en la zona de Mogán en Gran Canaria, con graves daños en algunas parcelas. Stover y Malo en 1973 valoraron en un 10% las plataneras de Gran Canaria que padecían la enfermedad en el año 1972 y de estas solo el 1-2% de los casos eran destructivos. También Stover cita daños en Canarias en la variedad Pequeña Enana de hasta un 40% de infección en zonas localizadas (Stover, 1972). Además, en 1971 se descartó la posibilidad de que los daños observados pudieran ser atribuidos a la enfermedad bacteriana conocida como moko (Alfaro y Santos, 1973).

En los años 1991 y 1992, se realizaron estudios para evaluar la supuesta mayor incidencia del mal de Panamá en las nuevas plantaciones de platanera “Gran Enana”, y sus posibles causas. Se visitaron fincas elegidas al azar y representativas de todas aquellas que fueron plantadas con la nueva variedad y también visitas dirigidas a fincas donde se tenía noticias de que existía una mayor incidencia del problema. En general y con referencia al muestreo aleatorio, el grado de afección de las plantas por la enfermedad fue bajo, en torno al 1,4%, aunque en alguna finca la incidencia fue alta (21%). Asimismo, no se observaron diferencias apreciables atribuibles a los distintos orígenes del material vegetal (plantas de

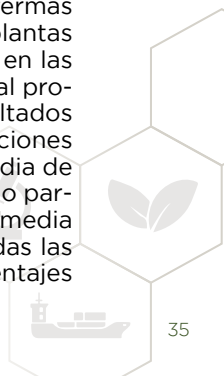


viveros tradicionales y plantas de cultivo *in vitro*). Con respecto a las visitas dirigidas, se encontraron valores mucho más altos de afección, llegando en algún caso al 66% de las plantas (Arroyo y col., 1993).

Durante los años 1994 y 1995 se prospectaron las principales zonas de cultivo de platanera de la isla de Tenerife para estudiar la incidencia del mal de Panamá en plantaciones antiguas del cv. Pequeña Enana. Se visitaron y recogieron muestras en 44 localizaciones. Se detectó esta enfermedad en el 59,1% de las localizaciones, con un promedio en los porcentajes de plantas enfermas en las parcelas del 5,2% (8,8%<sup>3</sup> entre las parcelas afectadas) con valores que variaban entre 0,1 y 70% (Hernández, 1997). En otra prospección llevada a cabo por el mismo autor en Tenerife durante 1993 en plantaciones reconvertidas del cv. Pequeña Enana al cv. Gran Enana, se estudiaron 48 localizaciones y se detectó la enfermedad en el 62,5% de ellas, con un promedio en los porcentajes de plantas enfermas en las parcelas del 4,5% (7,3% entre las parcelas afectadas) con valores que variaban entre 0,07 y 66% (Hernández, 1997).

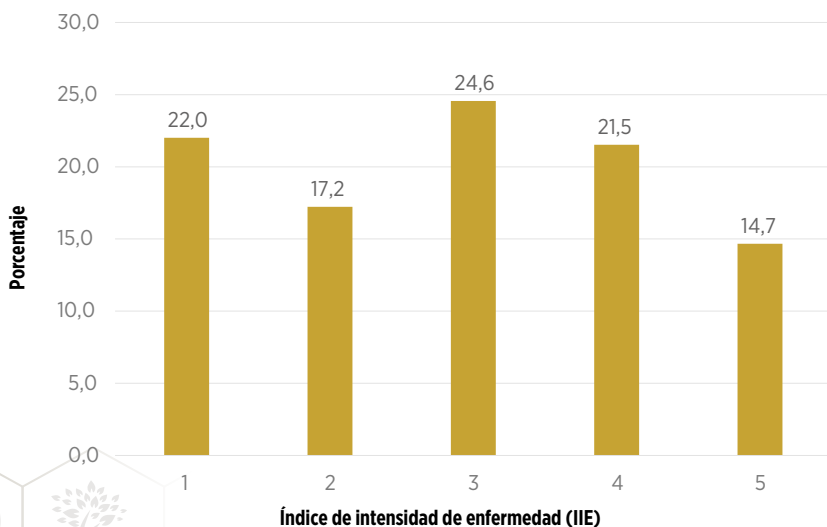
En nuestra prospección se detectó la enfermedad en el 23% de las parcelas, con un promedio en los porcentajes de plantas enfermas del 0,8% (3,4% entre las parcelas afectadas) con porcentajes que variaban entre 0,01% y 49,1%. Nuestros datos reflejan una menor prevalencia de la enfermedad y menores porcentajes de afección

3 En un párrafo anterior estimamos el porcentaje de plantas enfermas en los cultivos de platanera de Tenerife en un 0,37% de sus plantas (estimación total de plantas afectadas  $\times$  100/ total de plantas en las parcelas visitadas). En este caso hablamos de un 0,8% debido al procedimiento de cálculo empleado para poder comparar los resultados de nuestra encuesta con los resultados obtenidos en prospecciones anteriores. En ellas, se calculaba el porcentaje a partir de la media de los porcentajes de plantas afectadas de cada parcela incluyendo parcelas afectadas y no afectadas. El 0,8 se obtiene calculando la media de los porcentajes de plantas afectadas y no afectadas de todas las parcelas y el 3,4% se obtiene calculando la media de los porcentajes de las parcelas afectadas exclusivamente.



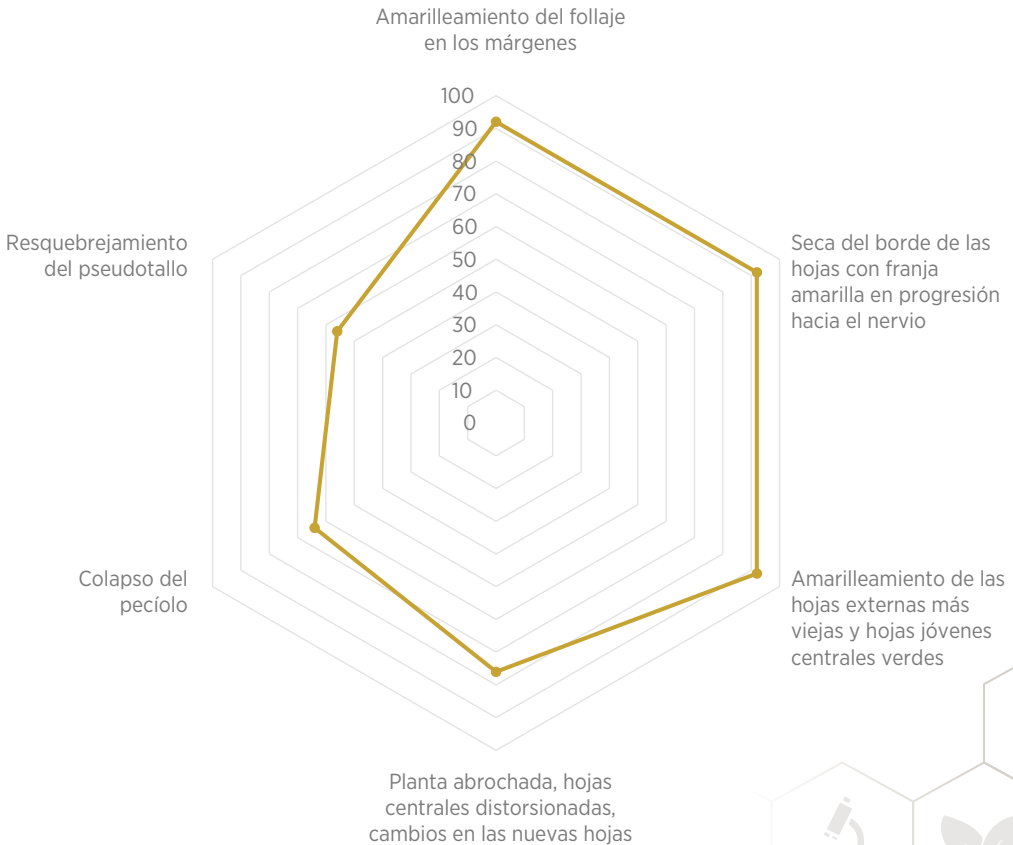
en la actualidad, si se compara con los datos obtenidos por Hernández entre los años 1993 y 1995, tanto en las plantaciones de Pequeña Enana antiguas como en las reconvertidas a Gran Enana. El grado de afección de las plantas en las parcelas con síntomas (0,8%) detectado en nuestro trabajo también resulta inferior al obtenido por Arroyo y col. (1993) (1,4%). Los datos obtenidos por Stover y Malo (1973) para Gran Canaria son inferiores en porcentaje (10%) a los de este trabajo (23%) y similares en cuanto al porcentaje de parcelas con daños realmente graves: 1-2% frente a 2%, respectivamente.

En cuanto a la escala visual de síntomas, que se ha denominado en este trabajo Índice de Intensidad de la Enfermedad (IIE), el promedio y la desviación estándar fueron de 2,9 y 1,4, respectivamente. En la **Figura 23** se muestra la distribución de los niveles de IIE en el conjunto de todas las parcelas visitadas, donde se observa una distribución en torno al 20% de plantas en los niveles 1, 2, 3 y 4 y algo inferior en el nivel 5 (planta muerta).



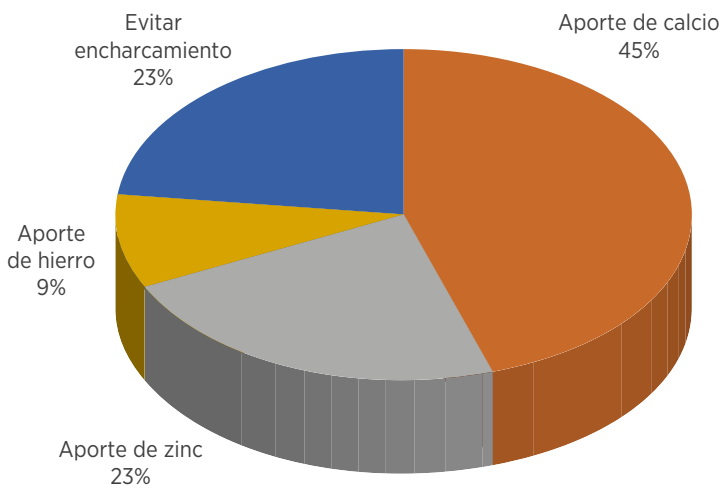
**Figura 23.** Distribución estimada global en porcentaje de los IIE (escala visual de síntomas) entre las plantas con síntomas de las parcelas afectadas.

Los síntomas externos más frecuentes fueron los amarilleamientos de las hojas en los márgenes, la seca del borde de las hojas con franja amarilla en progresión hacia el nervio y los amarilleamientos de las hojas externas más viejas con las hojas centrales verdes (Figura 24). El resquebrajamiento del pseudotallo fue el síntoma observado con menor frecuencia. Durante la recogida de muestras en las parcelas afectadas se encontraron plantas con síntomas en el raquis de los racimos de los que se pudo aislar e identificar *Foc*, pero no de los frutos en los que se observó algún tipo de necrosis.



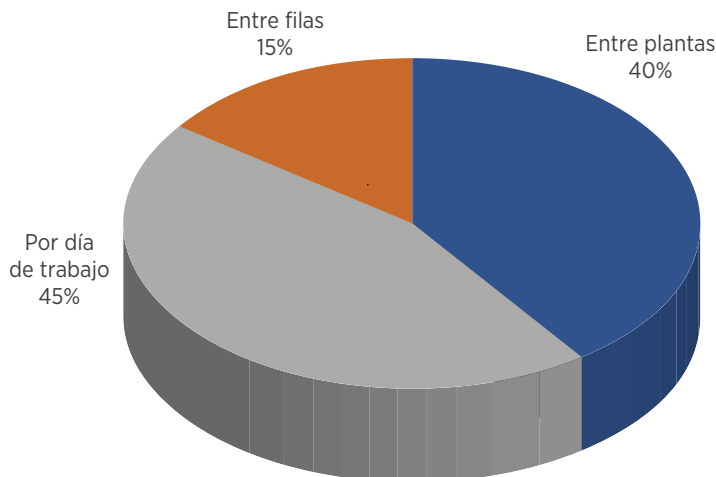
**Figura 24.** Porcentaje de tipos de síntomas de *Foc* en las parcelas afectadas.

Los agricultores con plantas afectadas en sus parcelas aplican medidas de control en el 68% de los casos. Las diferentes medidas aplicadas se resumen en la **Figura 25**. Lo más frecuente es la aplicación de calcio (principalmente cal apagada, CaOH), zinc, hierro y el control de los encharcamientos. El 92% de los afectados desinfectan las barretas utilizadas en el deshijado. Casi la mitad de los agricultores sólo la desinfectan una vez al día (45%), con lo que la desinfección no contribuye a evitar el contagio entre plantas durante el deshijado. Otros desinfectan después de deshijar cada planta (40%) o cada fila (15%) (**Figura 26**). Un 75% de los agricultores que desinfectan las herramientas emplean la lejía como sustancia desinfectante, mientras que el resto utiliza la desinfección por flameo.



**Figura 25.** Medidas específicas de control de mal de Panamá en las parcelas afectadas.

Se intentó establecer relaciones entre la presencia/ausencia de la enfermedad y las distintas características generales de los cultivos en la encuesta, como son la vertiente (norte/sur), la zona de producción, el tipo de suelo (arcilloso/franco/arenoso), los sistemas de



**Figura 26.** Frecuencia de desinfección de las barretas utilizadas por los agricultores para el deshijado en las parcelas afectadas por mal de Panamá.

riego (goteo/aspersión), las variedades, el origen de la planta (*in vitro*/cabeza), etc. En todos ellos, sólo se ha encontrado una mayor presencia de la enfermedad en aquellas parcelas con suelos arcillosos, y una menor presencia en suelos arenosos. Por lo tanto, es necesario modificar las características de la toma de datos del estudio respecto a la prevalencia de la enfermedad, para poder establecer este tipo de relaciones o realizar ensayos enfocados a analizar estas correlaciones.

### 3.2. Aislamiento de hongos e identificación de los aislados.

De las muestras de tejido vegetal con síntomas característicos de mal de Panamá sembradas en PDAstc, se obtuvieron mayoritariamente hongos con caracteres morfológicos de *Fusarium oxysporum*. Estos hongos se purificaron y se observaron al microscopio óptico para su caracterización morfológica. Se obtuvieron un total de 244 aislados fúngicos con características de *Foc* provenientes de las 71 muestras recogidas en las 23 parcelas que se consideraron afectadas. La **Tabla 5** muestra los resultados obtenidos en los aislamientos



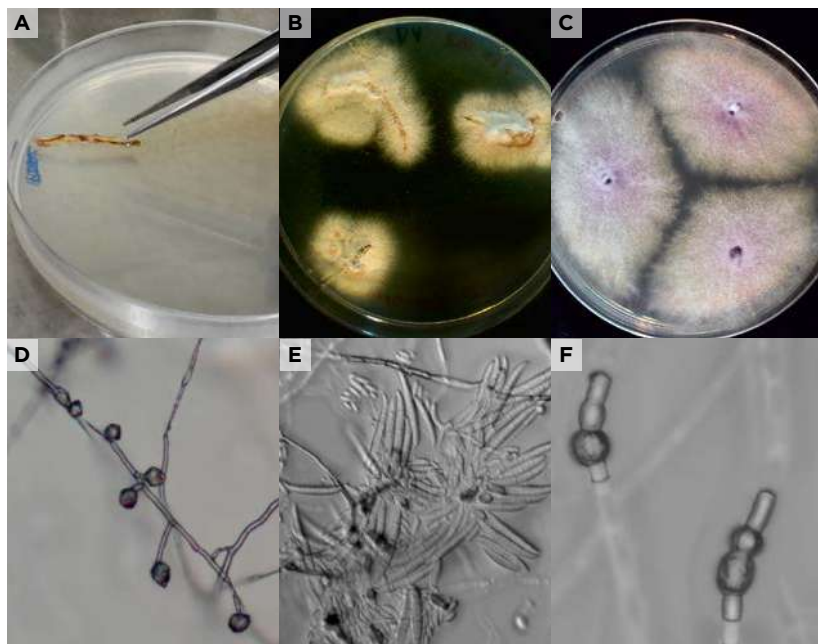
**Tabla 5.** Resumen de resultados de los análisis de las parcelas con síntomas de *Foc*

Municipio <sup>1</sup>	Superficie de cultivo (ha)	Nº plantas	Análisis de <i>Foc</i>	Nº plantas con síntomas	Porcentaje de plantas con síntomas
Guía de Isora	1,00	2100	Positivo	1031	49,10
Guía de Isora	7,87	15000	Positivo	50	0,33
Guía de Isora	4,20	6500	Positivo	800	12,31
Guía de Isora	4,00	7500	Positivo	3	0,04
Arona	2,50	4400	Positivo	20	0,45
Arona	15,28	21000	Positivo	404	1,92
Arona	1,04	1700	Positivo	35	2,06
Arona	8,29	15000	Positivo	450	3,00
Arona	23,50	42300	Positivo	10	0,02
San Miguel	3,76	7500	Positivo	7	0,09
San Miguel	15,00	20000	Positivo	175	0,88
Los Silos	16,00	26000	Positivo	100	0,38
Buenavista del Norte	6,50	11000	Positivo	8	0,07
Adeje	8,65	16000	Positivo	60	0,38
La Laguna	9,00	13500	Positivo	38	0,28
La Laguna	3,00	3300	Positivo	41	1,24
La Laguna	15,00	24500	Positivo	3	0,01
La Laguna	2,00	4000	Positivo	3	0,08
Puerto de la Cruz	13,00	19000	Positivo	4	0,02
Puerto de la Cruz	1,10	1000	Positivo	14	1,40
La Orotava	0,80	1200	Positivo	5	0,42
La Orotava	0,50	2600	Positivo	34	1,31
La Orotava	1,39	2500	Positivo	44	1,76

<sup>1</sup> La coloración de las zonas se corresponde con las de la **Figura 4**.

realizados (análisis positivos). La **Figura 27** muestra el crecimiento de algunos aislados en medio de cultivo y las características de las estructuras utilizadas para su identificación al microscopio óptico. Se obtuvieron aislados de *Foc*-RST4 en el 100% de las parcelas en las que se observaron síntomas de mal de Panamá. Los análisis realizados para la secuenciación parcial del


gen *tefl* permitieron identificar los aislados obtenidos como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza RST4 (actualmente identificado como *Fusarium phialophorum*).



**Figura 27.** Características macroscópicas (A, B, C) y microscópicas (D, E, F) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* RST4. A, siembra inicial de fragmentos de tejido vascular de plantas con síntomas de mal de Panamá en medio de cultivo PDAstc; B, desarrollo del hongo a partir de los fragmentos de tejido vegetal después de su incubación a 25°C durante 5 días; C, desarrollo del hongo durante 7 días a 25°C una vez purificado y sembrado en tres puntos equidistantes de la placa de Petri con PDAstc; D, conidióforos y conidios observados con un microscopio de contraste de interferencia diferencial (DIC); E, macroconidios observados con DIC; F, clamidosporas observadas con DIC.

#### 4.- CONCLUSIONES

- Se visitaron 100 parcelas distribuidas por todas las zonas productoras de plátano de Tenerife, lo que representa el 13,8% de la superficie de cultivo.
- Se encontraron síntomas en 23 parcelas y en todas ellas se aisló e identificó *Foc*-RST4.
- Se detectaron daños de importancia en sólo dos parcelas, con un 12,3% y 49,1% de las plantas afectadas.



En el resto de las parcelas con síntomas, un 7% presentaba entre 1-3% de plantas afectadas, otro 6% entre 0,1-1,0% y un 8% menos del 0,1%.

- El índice de intensidad de la enfermedad promedio en las plantas afectadas fue de  $2,9\% \pm 1,4$  (0: planta sana y 5: planta muerta).
- Los resultados de los análisis descartan la presencia de *Foc-RT4*.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de los Agentes de Extensión Agraria del Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural del Cabildo Insular de Tenerife que colaboraron en la recogida de muestras y en la realización de las encuestas: Eduardo Pérez Álvarez (Buenavista), Miguel Rodríguez Serrano (Valle San Lorenzo), Águeda Coello Torres (Güímar), Luisa Trujillo Díaz (Guía de Isora), Joaquín Monge Bailón (Icod de los Vinos), Lorenzo Rodríguez Hernández (La Orotava), Eudaldo Pérez Álvarez (Tejina), Nuria García Plasencia (Granadilla) y Guacimara Medina Alonso (Fasnía); así como a los técnicos del proyecto de empleo NOE (Nuevas Oportunidades de Empleo): Yolanda Pérez Díaz, Sergio González Padrón y Noelia Herrera Borges. A todos los agricultores que participaron en la encuesta y que permitieron la recogida de muestras en sus cultivos. También queremos agradecer a Noelia Rodríguez Cabrera por su ayuda con los análisis para la detección de Foc, y a Julio Hernández Hernández y Javier López-Cepero por la revisión del documento. Este trabajo fue financiado por los proyectos CUARENTAGRI (Investigación, identificación, análisis de riesgo, formación y sensibilización sobre potenciales plagas de cuarentena y plagas reguladas no de cuarentena en los principales cultivos de las regiones de estudio), FRUTTMAC (Transferencia de I+D+I para el desarrollo de frutales tropicales en la Macaronesia), ambos del Programa de Cooperación Transnacional

Madeira/Azores/Canarias (PCT-MAC2014-2019-Interreg), financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el proyecto CAIA 2019-2020-0001-00 y CAIA 2021-0001-00 de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca del Gobierno de Canarias titulado “Estrategias agroecológicas para el manejo de sistemas plataneros”

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

Acuña R., Rouard M., Leiva AM., Marques C., Olortegui JA., Ureta C., Cabrera-Pintado RM., Rojas JC., López-Álvarez D., Cenci A., Cuellar WJ., Dita M. 2022. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* Tropical Race 4 causing Fusarium wilt in Cavendish bananas in Peru. *Plant Dis.* 29: PDIS09211951PDN. doi: 10.1094/PDIS-09-21-1951-PDN.

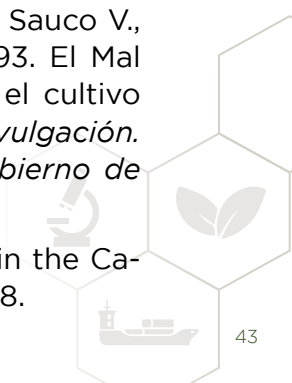
Aguayo J., Cerf-Wendling I., Folscher A.B., Fourrier-Jeandel C., loos R., ... Viljoen A., 2021. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* tropical race 4 (TR4) causing banana wilt in the Island of Mayotte. *Plant Disease* 105: 219. DOI: 10.1094/PDIS-06-20-1196-PDN.


Alfaro A., Santos J., 1972. Informe previo sobre la enfermedad llamada “Veta amarilla de la platanera” en las Islas Canarias. Madrid.

Alfaro A., Santos J., 1973. Segunda información sobre la enfermedad llamada “Veta amarilla de la platanera” en las Islas Canarias. Madrid.

Arroyo Hodgson A., Cabrera Cabrera J., Galán Saucó V., García Pérez J., Hernández Hernández, J., 1993. El Mal de Panamá. Recomendaciones técnicas para el cultivo de la platanera en Canarias. *Cuaderno de Divulgación. Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias.* 2/93: 14.

Ashby S.F., 1926. Panama disease of bananas in the Canaries and West Africa. *Tropical Agriculture* 3: 8.





Del Cañizo J., Rodríguez Sardiña J., 1931. La enfermedad de la platanera en el Valle de la Orotava. *Boletín de Patología Vegetal y Entomología Agrícola* 6: 1-36.

Dita M.A., Garming H., Van den Bergh I., Staver C., Lescot T., 2013. Banana in Latin America and the Caribbean: current state, challenges and perspectives. *Acta Horticulturae* 986: 365-380. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.986.39.

García-Bastidas F.A., Quintero-Vargas J.C., Ayala-Vasquez M., Schermer T., Seidl M.F., ... Kema G.H.J., 2019. First report of *Fusarium* wilt tropical race 4 in cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104: 994. DOI: 10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN.

Hernández Hernández J.M., 1997. Caracterización de la estructura de virulencia y determinación de los grupos de compatibilidad vegetativa (VCGs) en poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* presentes en Canarias. Universidad de La Laguna, 196 pp.

IPPC, 2013. New banana disease found in Mozambique (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4). 1 p.

ISTAC, 2021. Estadística Agraria de Canarias / Series anuales de agricultura. Municipios, islas y provincias de Canarias. 1999-2021. [https://www3.gobiernodecanarias.org/istac/statistical-visualizer/visualizer/data.html?resourceType=dataset&agencyId=ISTAC&resourceId=E01135A\\_000004&version=~latest#visualization/table](https://www3.gobiernodecanarias.org/istac/statistical-visualizer/visualizer/data.html?resourceType=dataset&agencyId=ISTAC&resourceId=E01135A_000004&version=~latest#visualization/table).

Martínez G., Olivares B.O., Rey J.C., Rojas J., Cardenas J., Muentes C., Dawson, C., 2023. The Advance of Fusarium Wilt Tropical Race 4 in Musaceae of Latin America and the Caribbean: Current Situation. *Pathogens* 2023, 12, DOI:10.3390/pathogens12020277.

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 *Fusar-*



*ium oxysporum* f. sp. *ubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in Mycology*, 92: 155–194. DOI: 10.1016/j.simyco.2018.06.003.

Nelson P.E., Dignani M.C., Anaissie E.J., 1994. Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews* 7: 479–504. DOI: 10.1128/CMR.7.4.479.

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. DOI: 10.3389/fpls.2019.01395.

Pérez-Vicente L., Dita M.A., Martínez-de La parte E., 2014. Technical manual prevention and diagnostic of *Fusarium* wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (TR4). *Workshop on Diagnosis of Fusarium Wilt 4*: 1–74.

Ploetz R.C., 1990. *Fusarium* wilt of banana. APS Press, 140 pp.

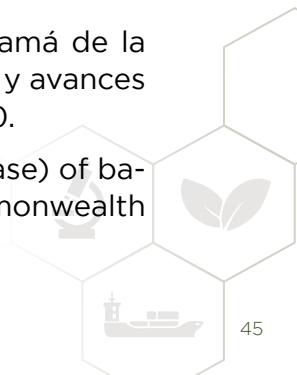
Ploetz R.C., Pegg K.G., 2000. *Fusarium* wilt. In: *Diseases of Banana, Abaca and Enset* (Jones, D.R., ed.), Wallingford, UK., CABI, 143–159.

Ploetz R.C. 2006. *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*. *Phytopathology*. 96, 653–656. DOI: 10.1094/PHYTO-96-0653.

Ploetz R.C. 2015. *Fusarium* wilt of banana. *Phytopathology*. 105: 1512–1521. DOI: 10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW.

Rodríguez Rodríguez R., 1993. El mal de Panamá de la platanera en Canarias. Historia de la evolución y avances en su investigación. *Canarias Agraria* 21: 34–40.

Stover R.H., 1962. *Fusarium* wilt (Panama disease) of bananas and other *Musa* species. Kew, UK, Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, UK. 177 pp.



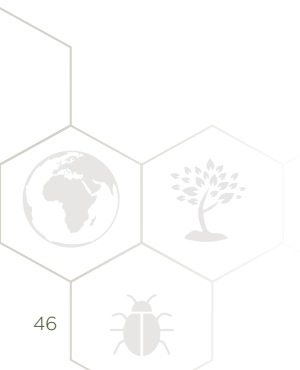


Stover R. H., 1972. Banana, plantain, and abaca diseases. Commonwealth Mycological Institute. 316 pp.

Stover R. H., y Malo S. E., 1973. El mal de panamá en las plataneras canarias. Servicio Agrícola, Caja Insular de Ahorros de Gran Canaria. 8 pp.

Tamura K, Stecher G, y Kumar S., 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution* 38:3022-3027. DOI: 10.1093/molbev/msab120.

Wardlaw C.W., 1933. Panama disease. A review of the occurrence of Panama disease on the cavendish or dwarf banana in the Canary Islands. *Tropical Agriculture* 10: 151-154.



## 7.- ANEXO 1. MODELO DE ENCUESTA

### DATOS DEL CULTIVO

Referencia <sup>1</sup> :			
Fecha:			
Finca:			
Dirección:			
Municipio:	Polígono:	Parcela:	Recinto:
Coordenadas UTM	X:	Y:	Z:
Orientación <sup>2</sup> :			
Contacto <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> Propietario / <input type="checkbox"/> Encargado:			
Tfno.:		Correo-e:	

Tipo de cultivo:	
<input type="checkbox"/> Aire libre	<input type="checkbox"/> Convencional
<input type="checkbox"/> Invernadero (variantes pared lateral/techo):	<input type="checkbox"/> Ecológico

Superficie de cultivo:	Nº de plantas:
------------------------	----------------

Años con platanera en la parcela:	Edad de la planta en cultivo (años):
-----------------------------------	--------------------------------------

Variedad <sup>4</sup> :	Nº plantas:	%	Cultivos asociados:
<input type="checkbox"/> Pequeña enana			<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Gran enana			<input type="checkbox"/> Frutales (indicar):
<input type="checkbox"/> Guesa palmera <sup>®</sup>			
<input type="checkbox"/> Brier <sup>®</sup>			
<input type="checkbox"/> Palmerita <sup>®</sup>			<input type="checkbox"/> Otros (indicar):
<input type="checkbox"/> Ricasa <sup>®</sup>			
<input type="checkbox"/> Otras (indicar):			



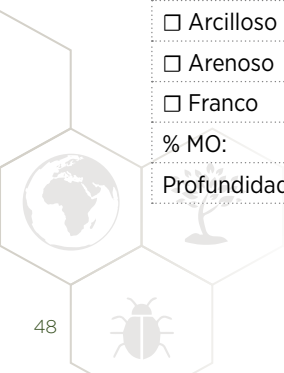


Marco de plantación:	Origen de la planta:
Separación línea doble <sup>5</sup> :	<input type="checkbox"/> Cabeza
Distancia entre plantas:	<input type="checkbox"/> <i>In vitro</i> (empresa):
Distancia entre filas:	

Agua <sup>6</sup> :	Tipo de riego:
<input type="checkbox"/> Pozo	<input type="checkbox"/> Aspersión
<input type="checkbox"/> Galería	<input type="checkbox"/> Goteo
<input type="checkbox"/> Depuradora	<input type="checkbox"/> A manta
<input type="checkbox"/> Desaladora	
<input type="checkbox"/> Mezcla	Estanque propio: <input type="checkbox"/> sí / <input type="checkbox"/> no, volumen (m <sup>3</sup> ):
<input type="checkbox"/> Presa	

Marque aquellas respuestas que considera que representan lo que hace Vd en su finca con el agua de riego:	
Decido la cantidad de agua por mi experiencia	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Decido la cantidad de agua apoyándome en tensiómetros o sensores:	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Decido la cantidad de agua observando la humedad del terreno.	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Si la decisión es mía, analizo cada semana si se mantiene la dosis y frecuencia o hay que cambiar	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Aplico la cantidad de agua que me marca el técnico asesor	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Aplico la cantidad de agua que me indican desde Agrocabildo	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Conozco el gasto de agua de mi finca	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no
Anoto y registro el gasto de agua de mi finca	<input type="checkbox"/> sí/ <input type="checkbox"/> no

Tipo de suelo:	Fertilización utilizada:	Enmiendas y frecuencia (veces/año):
<input type="checkbox"/> Arcilloso	<input type="checkbox"/> Orgánica	Estiércol:
<input type="checkbox"/> Arenoso	<input type="checkbox"/> Química	Pinocha:
<input type="checkbox"/> Franco	<input type="checkbox"/> Ambas	Compost:
% MO:	<input type="checkbox"/> Otros (indicar):	Restos vegetales:
Profundidad del suelo:		Otros (indicar):



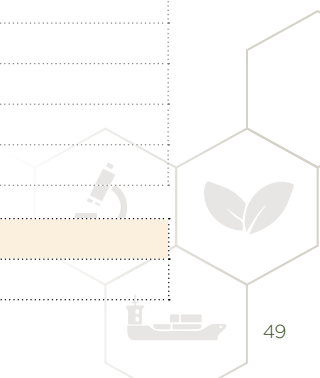
Fertilización química	Movimientos de suelo:
Productos/Dosis:	<input type="checkbox"/> Sorriba
	<input type="checkbox"/> Laboreo mecánico
	<input type="checkbox"/> Incorporación de tierra
	<input type="checkbox"/> Picado y enterrado de enmiendas

<b>Plagas y enfermedades</b> (ordenar cada una por importancia lo observado: 0, 1, 2, 3, ...) <sup>7</sup> :	
Picudo:	Panamá ( <i>Foc</i> ):
Lagarta:	Falso mal de panamá:
Taladro:	Virus:
Mosca blanca:	Punta de cigarro ( <i>Musicillium theobromae</i> ):
Trips:	Nematodos:
Cochinilla:	Otros (indicar):
Araña roja:	
Otros (indicar):	

<b>Productos fitosanitarios empleados en el cultivo,</b> sobre todo los aplicados al suelo:			
Producto	Materia activa	Dosis	Época del año (estación)

<b>Factores limitantes para su cultivo</b> (ordenar por importancia lo observado: 0, 1, 2, 3, ...) <sup>7</sup> :	
Agua:	
Suelo:	
Mal drenaje:	
Salinidad:	
Plagas:	
Enfermedades:	
Otros (indicar):	

Observaciones



## MAL DE PANAMÁ

Está afectado por <i>Foc</i> actualmente	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Estuvo afectado por <i>Foc</i> en el pasado	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Año de aparición de la enfermedad:		

Las plantas con síntomas aparecen<sup>8</sup>:

Aisladas

En rodales. N° de rodales:

Distribución por zonas en superficies amplias.  
Superficie afectada:

Distribución dispersa de la enfermedad

Distribuir las plantas afectadas en el esquema final

Índice de intensidad de la enfermedad<sup>9</sup>:

Número de plantas afectadas:

Índice de intensidad media:

Desviación estándar:

Síntomas externos observados <sup>10</sup>  
(ordenar por importancia lo observado: 0, 1, 2, 3, ...):

Amarilleamiento del follaje en los márgenes:	
Seca del borde de las hojas con franja amarilla en progresión hacia el nervio y con los peciolo más cortos y erectos:	
Amarilleamiento de las hojas externas más viejas y hojas jóvenes centrales verdes:	
Planta abrochada, hojas centrales distorsionadas, cambios en las nuevas hojas:	
Colapso del peciolo:	
Resquebrajamiento del pseudotallo:	

Síntomas internos

Veta amarilla

Veta negra

Vasos oscurecidos en pseudotallo

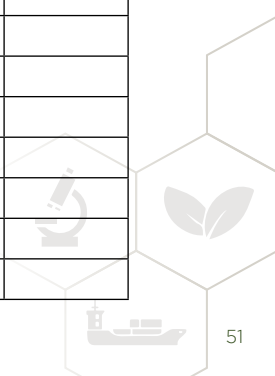




Medidas específicas de control aplicadas para <i>Foc</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Medidas aplicadas (indicar):		

Desinfección de las herramientas en el deshijado
<input type="checkbox"/> Entre plantas
<input type="checkbox"/> Entre filas
<input type="checkbox"/> Por día de trabajo
<input type="checkbox"/> No se desinfecta
<input type="checkbox"/> Productos de desinfección:

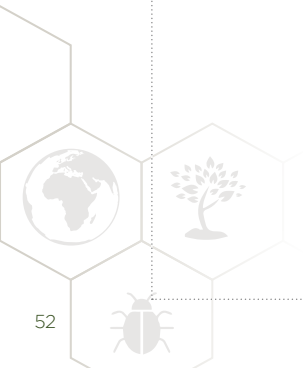
Índice de intensidad de enfermedad (IIE) de las plantas afectadas, cultivar, fotos								
Nº	IIE	Cultivar	Nº	IIE	Cultivar	Nº	IIE	Cultivar
01			35			69		
02			36			70		
03			37			71		
04			38			72		
05			39			73		
06			40			74		
07			41			75		
08			42			76		
09			43			77		
10			44			78		
11			45			79		
12			46			80		
13			47			81		
14			48			82		
15			49			83		
16			50			84		
17			51			85		
18			52			86		
19			53			87		
20			54			88		
21			55			89		





22			56			90		
23			57			91		
24			58			92		
25			59			93		
26			60			94		
27			61			95		
28			62			96		
29			63			97		
30			64			98		
31			65			99		
32			66			100		
33			67					
34			68					

Esquema de la parcela con localización de zonas afectadas<sup>11</sup>



## Indicaciones

Intentar completar todos los datos de la encuesta

<sup>1</sup> Referencia. Se obtiene con la inicial de la zona (hay definidas X zonas y el número de la cuadrícula en la que se recogió la muestra: A, municipio 1; B, municipio 2; C, municipio 3, ... etc.

<sup>2</sup> Orientación: N, S, E, O, NE, NO, SE, SO.

<sup>3</sup> Contacto. Marcar si el nombre del contacto de la finca es el propietario o el encargado.

<sup>4</sup> Variedad. Anotar según la información que se obtenga. La columna que falte se estimará en base al total de plantas de la finca. Indicar con una x en el recuadro si el agricultor observa variedades más afectadas por *Foc*.

<sup>5</sup> Marco de plantación. Si no hay líneas dobles este apartado es '0'.

<sup>6</sup> Agua. Si se usa una mezcla, indicar también qué se mezcla en las correspondientes casillas.

<sup>7</sup> Ordenar cada uno de los casos según su importancia, anotando números de 1, 2, 3, ..., siendo 1 el más importante, y colocando un 0 en los casos que no se dan.

<sup>8</sup> Las plantas con síntomas aparecen:

Aisladas. Marcar esta casilla si se encuentran focos aislados de menos de 5 plantas enfermas juntas. Marcar con un punto grueso donde se encuentren las plantas aisladas en el esquema final de la parcela.

En rodales. Nº de rodales: Marcar esta casilla si las plantas enfermas están en focos entre 5 y 25 plantas enfermas juntas. Indicar el número de rodales encontrados. Marcar con una circunferencia donde se encuentren los rodales en el esquema final de la parcela.





Distribución por zonas en superficies amplias. Superficie afectada: Si la enfermedad afecta a una superficie amplia en la parcela de más de 25 plantas juntas. Marcar un área con una línea en dónde se encuentren las zonas amplias de cultivo con síntomas en el esquema final de la parcela.

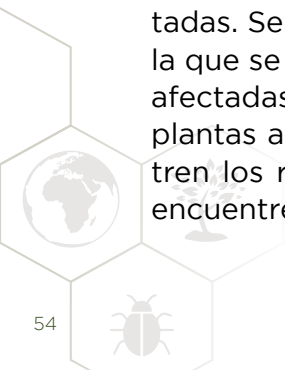
Distribución dispersa de la enfermedad. Si la enfermedad se encuentra distribuida de forma dispersa por toda la parcela de forma aislada o en rodales no contables (más de 8 focos).

Distribuir las plantas afectadas en el esquema final. Es necesario indicar la localización de las plantas aisladas, rodales o las zonas amplias afectadas. No se rellena en el caso de que esté distribuida de forma dispersa por toda la parcela.

<sup>9</sup> Índice de Intensidad de la Enfermedad: Se anota en la tabla incluida al final de la encuesta. Indicar si los datos son de todas las plantas que están afectadas o sólo de una parte de ellas (observadas, cuando la enfermedad está muy extendida y hay más de 60 plantas afectadas en la parcela.

<sup>10</sup> Síntomas externos observados. Se muestra un ejemplo de cada uno de estos síntomas en la plantilla adjunta (**Figura 6**). Marcar los síntomas encontrados por orden de importancia.

<sup>11</sup> Esquema de la parcela con localización de zonas afectadas. Se debe llevar la fotografía aérea de la parcela en la que se indicará la situación aproximada de las plantas afectadas: un punto grueso ● donde se encuentren las plantas aisladas, una circunferencia ○ donde se encuentren los rodales, un área entre una línea - en dónde se encuentren las zonas amplias de cultivo con síntomas.









# ESTUDIO SOBRE EL MAL DE PANAMÁ CAUSADO POR *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *CUBENSE* EN CULTIVOS DE PLATANERA DE TENERIFE

Santiago Perera González • Patricia Brito López • David Hernández  
Hernández • Federico Salvador Laich • Felipe Siverio de la Rosa