



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
1803

---

Capacitación a productores sobre el hongo *Fusarium oxysporum* y su respectivo biocontrolador, *Trichoderma* spp., en los cultivos de musáceas del municipio de Andes- Antioquia, Colombia.

Propuesta de trabajo de grado en la modalidad práctica profesional.

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

**Nombre del estudiante:** Valentina Álvarez Flórez.

**Número de identificación:** 1027891537

**Asesor:** Jaime de Jesús Calle Osorno

**Asesor enlace:** Sara María Márquez Girón

**Responsable alcaldía municipal:** José María Restrepo Ramírez

**Universidad de Antioquia.**

**Facultad de ciencias exactas y naturales.**

**2020.**

## **Agradecimientos.**

A Dios por armonizarme con su amor, por iluminarme y estar presente en nuestra vida, porque con su fuerza me ha ayudado a culminar con éxito mi anhelada meta.

A mi familia a quienes debo todo lo que soy, por su infinito amor, paciencia y apoyo, porque con su constante lucha se convierten en ejemplo de vida para mí, gran parte de lo que soy se los debo a ellos. Mi amor y gratitud eternamente.

A los profesores del instituto y al director del grupo de investigación BIOMA el doctor Jaime de Jesús Calle Osorno, por ser mi asesor y por trasmitirme de tan buena forma sus conocimientos y guiar este proceso tan importante para mí.

A la doctora Sara María Márquez Girón por permitirme desarrollar esta práctica y brindarme su apoyo para el cumplimiento de los objetivos.

También expresar mis agradecimientos a la UdeA Institución Universitaria, la cual respeto y admiro por sus avances e intereses por su comunidad de estudiantes.

A el encargado del área de proyectos rurales José María Restrepo Ramírez, por la colaboración, la disposición para atender mis solicitudes y por permitirme conocer estos procesos.

A los integrantes de grupo de investigación Bioma, a mis compañeras, productores y seres que colaboraron en la realización de este proyecto.

A todas gracias, porque con sus aportes reafirman su confianza en mí y hacen que este proyecto se convierta en un asunto que interese a todos y cada uno de los individuos.

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
1.1 El municipio de Andes.....	6
1.2 Banano.....	6
1.3 Marchitez por <i>Fusarium</i> .....	6
1.4 <i>Fusarium oxysporum f.sp. cubense</i> .....	7
1.5 Enfermedad causada por <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i> .....	8
1.6 Métodos de control para <i>F. oxysporum f. sp. cubense</i> .....	9
1.7 <i>Trichoderma spp.</i> .....	11
<b>2. Objetivos de la práctica.....</b>	<b>12</b>
2.1 General.....	12
2.2 Específicos.....	12
<b>3. Materiales y métodos.....</b>	<b>13</b>
3.1 Acercamiento con la comunidad.....	13
3.2 Capacitación de productores.....	13
3.3 Replicación del hongo biocontrolador ( <i>Trichoderma spp</i> ).....	13
3.4 Preparación del bioformulado.....	14
3.3.1 Cálculo de la concentración de conidios/ml – conidios/g.....	14
3.3.2 Determinación de porcentaje de germinación.....	15
3.3.3 Determinación del porcentaje pureza.....	15
3.5 Entrega de los bioformulados.....	16
<b>4. Resultados.....</b>	<b>16</b>
4.1 Acercamiento a la comunidad:.....	16
4.2 Capacitación de productores.....	16
4.3 Replicación del hongo biocontrolador.....	18
4.4 Preparación del bioformulado.....	19
4.5 Pruebas de laboratorio a los bioformulados:.....	20
4.4.1 Cálculo de la concentración de conidios/ml – conidios/g.....	20
4.4.2 Determinación de porcentaje de germinación: .....	20
4.4.3 Determinación del porcentaje pureza: .....	21
4.6 Entrega de los bioformulados.....	21
<b>5. Análisis de resultados.....</b>	<b>22</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>23</b>

## Resumen.

Andes es un municipio del suroeste antioqueño, que tiene como principal base económica la agricultura, el éxito de su modelo económico se debe a la implementación de los mencionados cultivos, por tal motivo la alcaldía municipal de esta localidad tiene como uno de sus principales rectos brindar a la comunidad una agricultura sostenible. A partir de ahí nace el proyecto “Una hectárea para la vida, una hectárea para la paz”, que acoge entre sus diferentes etapas el programa “sostenibilidad para el campo”, una alianza entre la Universidad de Antioquia y la alcaldía municipal de Andes que busca fortalecer la formación de productores frente a los problemas fitosanitarios que presentan dichos cultivos. Por lo tanto, el objetivo de estas prácticas profesionales fue capacitar a productores acerca de plagas, enfermedades, hongos biocontroladores e implementación de una agricultura sostenible en cultivos de plátano y banano en el municipio de Andes; de manera enfática en la marchitez por *Fusarium oxysporum f. sp.*, con su respectivo biocontrol *Trichoderma* spp. En total se capacitaron 250 productores los cuales adquirieron las bases científicas y técnicas, para desarrollar un agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente, además se les suministro una alternativa viable para el control de dicha enfermedad, bioformulaciones a base de hongos controladores, los cuales se entregaron con sus respectivas pruebas de laboratorio para que fueran viables en la implementación en campo.

**Palabras claves:** *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma*, capacitación, Universidad de Antioquia, Alcaldía de Andes, plagas, enfermedades, Biocontrol.

## 1. Introducción.

La alcaldía municipal de Andes es una entidad pública, que tiene como uno de sus objetivos mantener el bienestar de la comunidad andina; por lo tanto, entre sus roles brinda a estudiantes de educación superior la posibilidad de realizar prácticas profesionales en diferentes áreas, para ayudar al progreso del municipio con los diferentes conocimientos adquiridos durante su formación académica.

En esta alcaldía municipal existen diferentes dependencias, entre las cuales se encuentra la Gerencia de Proyectos Rurales, que es la encargada de ayudar a desarrollar una agricultura sostenible, donde se implementen los productos biológicos para el control de plagas y enfermedades en los diferentes cultivos presentes en el municipio.

Los principales cultivos del municipio son: el café (8.669 Ha), plátano y banano (2.305 Ha), caña (202 Ha), frijol (131 Ha), maíz (82 Ha), yuca (42 Ha), frutales (25 Ha) y el tomate (7.5 Ha); dentro del uso actual del suelo rural se distribuye en 28.17% en cultivos silvoagrícolas (Andes, 2016). Todos estos cultivos son de gran importancia porque generan sostenibilidad y progreso a la comunidad andina, por lo cual su estudio para el mejoramiento trae grandes impactos positivos para esta comunidad.

Aunque todos los cultivos del municipio presentan problemas fitosanitarios en este caso en particular se enfocó en el cultivo musáceas; los cuales presentan alta incidencia de plagas y enfermedades, las cuales al sobrepasar los umbrales de acción generan daño económico, y por el mal manejo de agroquímicos ayuda a que los patógenos desarrollen resistencia y de esta manera es muy posible la resurgencia de plagas, además de afectar el medio ambiente y causar daños en la salud de quienes lo implementan.

El programa “una hectárea para la vida, una hectárea para la paz”, acoge dentro de sus etapas el proyecto Sostenibilidad para el campo, en el cual se desarrolló la práctica profesional aportando un conocimiento científico, a partir de capacitaciones a productores de plátano y banano del municipio de Andes-Antioquia acerca de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE); de manera muy específica en la enfermedad en *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, y la producción de bioformulados a base de hongos biocontroladores en este caso a partir de *Trichoderma* spp. para el control de dicha enfermedad.

## 1.1 El municipio de Andes.

Andes, Antioquia, es un municipio del Suroeste antioqueño, situado en la cordillera occidental de los Andes colombianos; en el extremo suroccidental del departamento de Antioquia, a los 5° 39' 29 de latitud norte y 75° 52' 51 de longitud oeste. Está ubicado a 1.350 msnm, su temperatura media es de 22 °C, el área municipal es de 403,42 km<sup>2</sup> y limita por el norte con Betania, Hispania y Pueblo Rico, por el este con Jericó y Jardín, por el sur con el departamento de Risaralda, municipio de Mistrató y por el oeste con el departamento de Chocó, municipio de Bagadó (Andes, 2016).

## 1.2 Banano.

Dentro de la familia Musáceas, se encuentra el banano una de las frutas más popular del mundo, el cual es considerado el cuarto alimento más consumido en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz (Akila et al., 2011; Bubici, Kaushal, Prigigallo, Cabanás, & Mercado-Blanco, 2019). Los cultivares locales y de exportación suelen ser triploides partenocárpicos, propagados vegetativamente, que fueron seleccionados en la antigüedad por los agricultores del sudeste asiático (Perrier et al. 2011).

Actualmente los bananos comestibles provienen de dos especies diploides *Musa acuminata* (AA) y *M. balbisiana* (BB); se conocen más de 50 subgrupos de estas especies, pero solo Gros Michel y Cavendish, producen la mayor cantidad de fruta, siendo Cavendish el más importante (Ploetz, 2015). En América Latina y el Caribe, se concentra cerca del 28% de la producción mundial (*M. acuminata* AA), con tres de los diez productores y exportadores más importantes en el mundo (Dita, Garming, Bergh, Staver, & Lescot, 2013). Aunque el cultivo de banano se extiende de manera casi uniforme en todo el mundo, existe una variación genética notablemente baja entre las plantaciones, debido a la popularidad de unos pocos cultivares seleccionados (Ploetz, 2015).

## 1.3 Marchitez por *Fusarium*.

La marchitez por *Fusarium*, es causada por *Fusarium oxysporum* sp. un hongo cosmopolita que existe en muchas formas patogénicas, parasita más de 100 especies de plantas tanto gimnospermas como angiospermas (Bosland, 1988). *F. oxysporum* sp. hace parte de la comunidad de hongos del suelo y es considerado un componente natural de la rizosfera de las plantas; la mayoría de cepas que se conocen son saprófitas y pueden sobrevivir sobre materia

orgánica; sin embargo, algunas son fitopatógenas y penetran las raíces del hospedante, induciendo marchitamientos vasculares que obstruyen el sistema vascular (Fravel *et al.* 2003). Este hongo además posee una gran especificidad patógeno-hospedante (Ploetz, 2006), que ha permitido la identificación de alrededor de 150 formas especiales y razas fisiológicas (Gordon, 2017), como por ejemplo: *F. oxysporum f. sp. cubense* (Ploetz, 2015), *F. oxysporum f. sp. lycopersici* (Serna *et al.* 2014), *F. solani f. sp. passiflorae* (García *et al.* 2018), entre muchas más.

#### 1.4 *Fusarium oxysporum f.sp. cubense*.

*Fusarium oxysporum f. sp. cubense* pertenece a la clase Ascomycetes (Groenewald, 2006) es un hongo filamentoso que habita en el suelo y produce tres tipos de esporas asexuales ; macroconidios, microconidios y clamidosporas. Los microconidios, son generalmente unicelulares, sin septas, hialinas, elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas; se forman sobre fiálides laterales, cortas, simples o sobre conidióforos poco ramificados (Garcés *et al.* 2001). Los macroconidios son esporas de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, con varias células y de 3 a 5 septas transversales, con la célula basal elongada y la célula apical atenuada (Garces *et al.* 2001). Por último las clamidosporas, son esporas formadas a partir de la condensación del contenido de las hifas y de las conidios, de paredes gruesas, se forman simples o en pares, terminales o intercalares (Garces *et al.* 2001). Gracias a estas últimas el hongo puede sobrevivir en condiciones ambientales desfavorables en el suelo como saprófito de vida libre en ausencia de plantas hospedantes, en los restos vegetativos de plantas infectadas y en malezas hospedantes, aun sin presencia de plantaciones.

En cuanto su morfología posee dos tipos de colonias: una de tipo micelial caracterizada por la producción de abundante micelio aéreo, algodonoso, con una coloración variable, de blanco a rosado durazno, pero usualmente con un tinte púrpura o violeta más intenso en la superficie del agar y pocas microconidias y una de tipo pionotal con la formación de poco o ningún micelio aéreo y abundantes microconidias (Garces *et al.* 2001).

Actualmente *F. oxysporum f. sp. cubense* es un microorganismo genética y patogénicamente diverso, del cual, se han identificado cuatro razas: la raza 1, afecta a los cultivares Gros Michel y Manzano (AAB); la raza 2, ataca a los cultivares ABB, conocidos como Guineo, Cuadrado, Topocho y Chatos; la raza 3, a heliconias (*Heliconia L.*) y la raza 4, a cultivares susceptibles a las razas 1, 2 y del tipo Cavendish (Hennessy, Walduck, Daly, & Padovan, 2005; Ploetz,

2015). Dentro de la raza 4, se ha identificado la raza tropical (RT4) y la subtropical (ST4), ambas pertenecientes a diferentes grupos de compatibilidad vegetativa; la primera, causa enfermedad en trópicos y subtrópicos y, la segunda, solo en el subtrópico (Belgrove, Steinberg, & Viljoen, 2011). Entre las razas conocidas de *F. oxysporum* f. sp.  *cubense* las de mayor preocupación internacional como nacional son la 1 y 4, debido alto grado de patogenicidad y difícil control.

### **1.5 Enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense***

Marchitamiento por *Fusarium*, es la enfermedad fúngica más destructiva, notoria e incontrolable del banano causada por *Fusarium oxysporum* f. sp.  *cubense*, hasta el momento se ha reportado como una de las enfermedades más devastadoras, que continua amenazando la producción de banano en todo el mundo (Ploetz 2015; Ordoñez *et al.* 2016). Actualmente se ha asumido que la distribución se dio por los diferentes intercambios mediados por la exportación de este producto mediante el transporte de materiales de siembra infectados, como rizomas, retoños yseudotallos desde zonas infectadas a lugares libres de la enfermedad.

Los primeros daños reportados por afectaciones a los cultivares por este hongo fue en la década de los ochenta cuando hubo una destrucción de los cultivares de Gros Michel por la raza 1 del patógeno en Australia, pero afortunadamente para esta época la variedad Cavendish mostro resistencia a este tipo de marchitamiento por *Fusarium oxysporum* f. sp.  *cubense* y finalmente reemplazaron a Gros Michel en los comercios estadounidenses y africanos. Aunque el marchitamiento por *Fusarium oxysporum* sp. se informó por primera vez en Australia el patógeno probablemente evolucionó con el banano en el sudeste asiático (Ploetz, 2015).

Poco después la raza tropical del marchitamiento por *Fusarium oxysporum* sp.  *cubense* comenzó a devastar la variedad Cavendish en el sudeste asiático. En la década de 1990, nuevas plantaciones de Cavendish comenzaron a sucumbir en la región y una nueva raza de *F. oxysporum* f. sp.  *cubense* , raza tropical 4 (TR4), se hizo evidente (Ploetz, 2006) En las décadas siguientes, TR4 se extendió rápidamente, primero dentro del sudeste asiático pero más recientemente a África y Asia occidental; posteriormente se ha confirmado en Australia (Territorio del Norte y Queensland), China (Hainan, Hunan, Guangdong y Guangxi), Indonesia (Bali, Halmahera, Kalimantan, Java, Provincia de Papua, Sulawesi y Sumatra), Jordania, Líbano, Malasia (Peninsular y Sarawak), Mozambique, Omán, Pakistán, Filipinas (Mindanao), Taiwán (Butler, 2013;

Freshplaza, 2015; Molina, A. and Williams, 2010; Ordoñez et al., 2016; Ploetz, 2015) y Colombia (ICA, 2019), esta distribución es la evidencia clara de la amplia propagación a otras áreas, debido a su difícil manejo. Especialmente para Colombia en los cultivos de musáceas y heliconias las primeras tres razas siempre han estado presentes, y han sido controladas de forma cultural y químicamente. Pero en el 2019 el ICA confirmó la entrada de *Foc R4T* en el departamento de la Guajira en los municipios de Riohacha y Dibulla; pero todos los demás departamentos de Colombia continúan libres de esta raza (ICA, 2019).

Los síntomas de la enfermedad del marchitamiento por *Fusarium* del banano son análogos a cualquier otro marchitamiento por *Fusarium*, y muestran el típico color amarillento y marchitez de las plantas. Normalmente el hongo entra por las raíces laterales, que están sobre las raíces más viejas, en otras ocasiones puede penetrar por raíces muertas o heridas, la invasión se da por raíces secundarias o terciarias; ya que el hongo no penetra raíces primarias, ni invade el cormo a menos que existan lesiones mecánicas; luego el hongo pasa al cormo donde se desarrolla con gran rapidez y pasa al pseudotallo e invade los vasos del xilema. Una vez dentro del xilema, el hongo produce conidios, los cuales son llevados a lo largo de los haces vasculares donde inician nuevas zonas de infección, ocasionando su obstrucción, como consecuencia, el movimiento del agua y nutrientes se reduce. En estados más avanzados de la enfermedad el hongo crece fuera del sistema vascular, en el parénquima adyacente, produciendo grandes cantidades de conidios y clamidosporas; estas últimas retornan al suelo cuando la planta muere permaneciendo en dormancia por más de 20 años (Martínez, 2016).

### **1.6 Métodos de control para *F. oxysporum f. sp. cubense*.**

*F. oxysporum f. sp. cubense* es particularmente difícil de controlar por varias razones: primero es un hongo transmitido por el suelo con una larga supervivencia en el suelo (más de 20 años), incluso en ausencia de huéspedes de plantas (Buddenhagen, 2009), o dentro de huéspedes alternativos que no necesariamente muestran síntomas de la enfermedad (Hennessy et al., 2005); segundo al ser un patógeno vascular, escapa al contacto con los medios de control (por ejemplo, fungicidas no sistémicos, BCA no endófitos, etc.) una vez que penetra en la planta; tercero puede propagarse por material de propagación vegetativa de banano, suelo vectorizado por trabajadores y maquinaria, agua de riego, animales, artesanías y cuarto el monocultivo de banano, especialmente las variedades Cavendish en el caso de *Foc TR4*, facilita la propagación del patógeno.

Algunas de las prácticas para el manejo de la enfermedad son preventivas, como la aplicación de fumigantes al suelo, pero estos fungicidas químicos aunque afectan directamente la tasa de desarrollo de la enfermedad el uso inadecuado e indiscriminado que se les ha dado, ha provocado efectos negativos contra la salud humana, la vida silvestre y el ambiente, esto agregado a las mutaciones y la resistencia que ha adquirido el hongo a los fungicidas (Ramu et al., 2016) y sus efectos genotóxicos, sobre algunas especies de plantas (Dane and Dalgiç 2005).

Debido a los efectos negativos de los fungicidas químicos, el uso de estrategias novedosas como el control biológico, las respuestas de defensa inducidas por la aplicación hormonal al marchitamiento por *Fusarium*, el desarrollo de cultivares resistentes a través del mejoramiento por mutación, enfoques transgénicos y cisgénicos, cultivo de protoplastos e hibridación somática para generar los nuevos tipos de materiales, la selección *in vitro* y la variación somaclonal se han convertido en alternativas atractivas al uso de fungicidas químicos y otros métodos de control convencionales (Subramaniam et al. 2006; Y. L. Wu, Yi, and Peng 2010; Chen et al. 2011; Mohandas et al. 2013; Sun et al. 2013; Wang et al. 2015; Dale et al. 2017; Raza et al. 2017).

El control biológico, el uso de organismos vivos para manejar suelos infectados, tiene el potencial de evitar estos problemas y al mismo tiempo mejorar la calidad del suelo (H. S. Wu et al., 2009). El uso de agentes de biocontrol ha demostrado ser una estrategia de manejo de enfermedades amigable con el medio ambiente en los últimos años (Fu, Shen, Zongzhuan; Xue, & Li, Rong; Shen, 2017; Xue et al., 2015). Dentro de los agentes de biocontrol se incluyen especies no patógenas de patógenos de plantas, microorganismos bacterianos y fúngicos antagonistas, y la propia planta huésped que ha sido manipulada para tener una resistencia más efectiva a los patógenos (Raza, Waseem; Ling, Ning; Zhang, Ruifu; Huang, Qiwei; Xu, Yangchun; Shen, 2017).

El biocontrol del marchitamiento por *Fusarium* se ha convertido en una estrategia muy efectiva y amigable con el medio ambiente, ya que otros métodos convencionales no son efectivos y el uso de fungicidas químicos tiene repercusiones en el medio ambientales muy devastadoras (Ayyadurai et al., 2006).

Finalmente se puede asumir que en la actualidad no existe un método de control químico que pueda ayudar a contrarrestar los daños ocasionados por esta enfermedad. Las únicas medidas efectivas son sembrar en áreas que no estén infestadas con el hongo, el uso de "semillas" libres de la enfermedad y la siembra

de variedades resistentes a la misma. Además, se ha planteado el biocontrol con especies de *Trichoderma* sp. por su buena acción de control, pues ha sido objeto de estudio desde 1930 y se aplicado a pequeñas escalas directamente al suelo o en el tratamiento de las semillas (Weindling 1934; Harman 1991) y ha demostrado su efectividad.

### **1.7 *Trichoderma* spp.**

Las especies pertenecientes al género *Trichoderma* se caracterizan por ser hongos saprófitos, que sobreviven en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica, los cuales son capaces de descomponerla y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, lo que les permite mostrar una mayor plasticidad ecológica. Las especies de *Trichoderma* se encuentran presentes en todas las latitudes, desde las zonas polares hasta la ecuatorial. Esta distribución tan amplia y su plasticidad ecológica están estrechamente relacionadas con la alta capacidad enzimática que poseen para degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos (Infante *et al.* 2009).

En la acción biocontroladora de *Trichoderma* se han descrito diferentes mecanismos de acción que regulan el desarrollo de los hongos fitopatógenos, entre estos, los principales son la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la antibiosis, que tienen una acción directa frente al hongo fitopatógeno (Lorenzo, 2004). Estos mecanismos se ven favorecidos por la habilidad de los aislamientos de *Trichoderma* para colonizar la rizosfera de las plantas. Además, se conoce que *Trichoderma* presenta otros mecanismos, cuya acción biorreguladora es de forma indirecta. Entre estos últimos se pueden mencionar los que inducen mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos como es la activación en la planta de compuestos relacionados con la resistencia, con la detoxificación de toxinas excretadas por patógenos y la desactivación de enzimas de estos durante el proceso de infección; la solubilización de elementos nutritivos, que en su forma original no son accesibles para las plantas (Infante *et al.* 2009). Tienen la capacidad, además, de crear un ambiente favorable al desarrollo radical lo que aumenta la tolerancia de la planta al estrés.

Los bioformulados elaborados a partir de hongos controladores son de suma importancia ya que permite controlar plagas y enfermedades de forma natural, disminuyendo los daños ambientales, el costo y la capacidad de que las plagas y enfermedades de volver a resurgir de manera más agresiva contra los cultivos. Por tal motivo, estas bioformulaciones son una buena alternativa biológica para

tratar problemas fitosanitarios, para el caso de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, los biformulados a base de *Trichoderma* son una buena estrategia de control. *Trichoderma* spp; se sabe que es un buen agente microbiano para proteger las plantas de varios patógenos del suelo al inducir resistencia sistémica en la planta huésped, y se ha demostrado que ha reducido el índice de la enfermedad *Fusarium* en más del 50%.

## 2. Objetivos de la práctica.

### 2.1 General.

- Capacitar a productores acerca de la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* y su biocontrolador, *Trichoderma* spp., en la implementación de una agricultura sostenible en cultivos de plátano y banano en el municipio de Andes, Antioquia.

### 2.2 Específicos.

- Presentar el proyecto a los beneficiarios de los siete corregimientos del municipio de Andes en los cuales hay producción de plátano y banano.
- Instruir a los productores de plátano y banano sobre los efectos de la enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* y la forma de control con el hongo antagonista *Trichoderma* spp.
- Capacitar en la producción de bioformulados a base *Trichoderma* spp, para el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, en cultivos de plátano y banano del municipio de Andes para entrega a los productores.

### 3. Materiales y métodos.

Los métodos están basados en dos partes prácticas, la primera se realizó en campo con los productores y la segunda en el laboratorio. A continuación, se desglosa cada una de las actividades realizadas durante la práctica:

#### 3.1 Acercamiento con la comunidad.

La primera actividad que se llegó a cabo fue las conferencias donde se presentó el proyecto, en los corregimientos de Buenos Aires, San José, Santa Inés, Santa Rita, Tapartó, San Bartolo y La Chaparrala del municipio de Andes. En este primer acercamiento se dieron a conocer las generalidades sobre la problemática agroecológica que está afectando a los cultivos de musáceas, al medio ambiente y a la vez a la economía de los productores en el municipio, generando conciencia sobre la gran problemática evidenciada en sus cultivos.

#### 3.2 Capacitación de productores.

De manera consiguiente después de presentar el proyecto, se dieron las capacitaciones más intensivas a todos los beneficiarios del proyecto con una duración de 8 horas aproximadamente, en las instalaciones de la Sede Seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia; donde se abordó con profundidad temas sobre MIPE (Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades), plagas y enfermedades presentes en cultivos de musáceas, haciendo énfasis en el marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* y su biocontrol *Trichoderma* spp. Además de esto se realizaron unas recomendaciones de cómo preparar el suelo pre y post cosecha, mostrándoles una manera efectiva de prevenir enfermedades posteriores en el cultivo.

#### 3.3 Replicación del hongo biocontrolador (*Trichoderma* spp).

En las instalaciones de la misma sede, se replicó el hongo biocontrolador (*Trichoderma* spp.), el cual fue entregado por el laboratorio de Biocontrol y Microbiología Ambiental -BIOMA- del Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia. Para esto con la ayuda de un asa se tomó una cantidad de esporas del hongo y se sembró en medio Sabouraud para asegurar su perdurabilidad y mantenerlo en el laboratorio para la producción máxima y preparación de los cultivos artesanales.

### 3.4 Preparación del bioformulado.

Para la preparación del bioformulado se pesaron en una balanza analítica 180 g de arroz, el cual se depositó en bolsas de polipropileno, y se le agregaron 60 ml de agua destilada y 4 gotas de ácido láctico; las bolsas se homogenizaron, luego se doblaron los bordes cuatro veces y se sostuvieron con ganchos. Estas bolsas con arroz fueron llevadas al autoclave, junto con los utensilios y cristalería (erlenmeyer, beakers, cajas de Petri) que se utilizaron en el proceso de producción, con el objetivo de eliminar todo tipo de agente contaminante que pueda afectar el crecimiento del hongo.

Después de esterilizar el medio de cultivo (las bolsas) y los utensilios, se esperó que se enfriara un poco; mientras este tiempo transcurría se realizó la suspensión del hongo. Para realizar la suspensión en un tubo falcon se adicionaron 10 ml de agua destilada y con la ayuda de un asa se tomó una cantidad de esporas del hongo *Trichoderma* spp., luego con un vortex se agito hasta tener una mezcla homogénea.

Posteriormente con una micropipeta se sembró en cada bolsa 100 microlitros de la suspensión con una concentración de  $10 \times 10^8$  conidios/ml del hongo, se homogenizo el medio de cultivo, se doblaron los bordes de las bolsas y se sostuvieron con ganchos. Todo el procedimiento se realizó de manera muy cuidadosa para evitar cualquier tipo de contaminación.

Por último, las bolsas fueron llevadas a incubación para el crecimiento del hongo en el medio de cultivo, para esto se colocaron en sobre un estante desinfectado previamente con alcohol, para así observar el crecimiento entre los próximos 9 a 13 días. Posteriormente se llevó a cabo el proceso de la determinación de concentración, pureza y viabilidad de cultivos de hongos biocontroladores producidos artesanalmente, para esto la metodología realizada es la siguiente:

#### 3.3.1 Cálculo de la concentración de conidios/ml – conidios/g.

Se realizó una extracción de conidios a partir del sustrato orgánico (arroz), se tomaron 200 ml de agua destilada (ADE) y se agregaron al interior de la bolsa inoculada con el hongo; luego se le adiciono una gota de dispersante (tween 20). Posteriormente con una espátula o barra de vidrio se separó el hongo del sustrato, hasta obtener una sustancia homogénea, se filtró toda la suspensión con la ayuda de una gasa colocada en un beaker, generando la suspensión

madre de la cual se realizaron diluciones seriadas hasta  $10^{-5}$ . Luego se tomó una cámara de Neubauer para realizar el conteo de esporas introduciendo a cada lado  $10 \mu\text{l}$  en cada lado. El primer conteo se realizó con la dilución  $10^{-3}$ , si la cantidad de conidios no permitieron una buena lectura, se procedió a realizar las lecturas en la dilución  $10^{-4}$ , se hicieron 6 lecturas que corresponde a 3 montajes de cámara. Finalmente se sacó el promedio de los conidios contadas de las 6 lecturas, y se aplicó la fórmula: No. conidios/ml= Promedio del conteo \* el inverso de dilución empleada \*  $10^4$  ( $10^4$  es un valor constante y corresponde al inverso del Factor de corrección de la cámara). Por último, se calcula la concentración de esporas/ g de arroz con la siguiente fórmula:

$$\text{Conidios / g de arroz} = \frac{\text{Promedio del número de conidios/ml} * 200 \text{ ml}}{180 \text{ g.}}$$

### 3.3.2 Determinación de porcentaje de germinación.

Se tomaron dos cajas de Petri que contiene agar-agar, cada caja se divido en 6 cuadrículas (aproximadamente  $1\text{cm}^2$ ) con marcador en el reverso de la caja. Se tomaron  $5 \mu\text{l}$  de las diluciones  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  y se sirvieron en el agar, en cada cuadrícula y se incubaron por 24 horas. Luego se realizó un montaje tomando una cuadrícula del agar y colocándola sobre un portaobjetos. A cada cuadro se le agrego una gota de azul lactofenol y se procedió a realizar el contaje de los conidios germinados.

Nota: El criterio de conteo consistía en que el tubo germinativo debía superar, como mínimo, dos veces el diámetro del conidio.

### 3.3.3 Determinación del porcentaje pureza

Se tomaron  $100 \mu\text{l}$  de la dilución  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ , y se sembraron en Agar Papa Dextrosa -PDA- acidificado y se incubo a temperatura ambiente entre 5 y 7 días. Luego, de transcurrir este tiempo se procedió a contar el número de UFC (unidades formadoras de colonias) totales, para se contó el número de colonias del hongo en estudio y el número de colonias de hongos o levaduras de otro tipo, lo que llevo a calcular el porcentaje de pureza, de acuerdo con la fórmula:

$$\%P = \text{UFC del hongo evaluado} \times 100 / \text{UFC totales.}$$

### **3.5 Entrega de los bioformulados.**

Finalmente, a cada productor se le procedió a entregar el producto elaborado en el laboratorio con sus respectivas pruebas, en las instalaciones de la Sede Seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia. En esta última etapa se les recordó aspectos básicos enseñado en la capacitación y además se les enseñó la producción artesanal de los bioformulados y la preparación para ser esparcidos al cultivo, por medio de una demostración de método y con la entrega de un folleto.

## **4. Resultados.**

### **4.1 Acercamiento a la comunidad:**

En el mes de agosto del 2019, se realizaron las conferencias donde se presentó el proyecto, en los corregimientos de Buenos Aires, San José, Santa Inés, Santa Rita, Tapartó, San Bartolo y La Chaparrala del municipio de Andes. En esta presentación se instruyó a la comunidad a cerca de los altos niveles poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en cultivos de musáceas en este municipio, y a su vez la problemática ambiental que está generando el uso intensivo de agrotóxicos en el manejo de plagas y enfermedades. También se abordaron temas de cómo llevar a cabo buenas prácticas agrícolas en el cultivo, incentivando a la población a generar un buen pensamiento agroecológico, implementando el control biológico.

### **4.2 Capacitación de productores.**

Llevando a cabo el objetivo de esta práctica, y consolidando el grupo definitivo de beneficiarios del programa “*Una hectárea para la vida, una hectárea para la paz*”, se capacitaron los integrantes pertenecientes a la etapa de este proyecto, llamada sostenibilidad para el campo. Estas capacitaciones se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad de Antioquia Seccional Suroeste, en el mes de septiembre, para los corregimientos Santa Rita, Santa Inés, Buenos Aires, San José, Tapartó, San Bartolo y la Chaparrala.

Cada capacitación que constaba de 8 horas, se dividió en cuatro módulos.

En el primero se dictaron los temas correspondientes a MIPE, exponiendo su objetivo y los tipos de control (cultural, legal, biológico, genético y químico), ventajas y desventajas del uso de agroquímicos, y una introducción de Musáceas, además de esto se realizaron unas recomendaciones de cómo preparar el suelo pre y post cosecha, mostrándoles una manera efectiva de prevenir enfermedades posteriores al cultivo.

En el segundo módulo se introdujeron los conceptos de plaga y enfermedad, se expusieron los principales patógenos que afectan la producción de plátano y banano en el municipio, específicamente de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Haciendo énfasis en qué es, su biología, su modo de infección, como se identifica (síntomas) y los daños económicos que causan en la producción de musáceas.

En el tercero se abordaron los métodos de control actualmente utilizados para el manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, haciendo énfasis principalmente en el biológico; donde se expuso los beneficios que este trae al medio ambiente, al cultivo y al productor, pues disminuye los costos de producción al reducir la cantidad de insumos utilizados para el cultivo y mejora las relaciones tróficas.

En el cuarto se les enseñó una nueva alternativa para el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, que consiste en unas bioformulaciones a base de hongos como *Trichoderma* spp. Durante esta etapa se les dictó las generalidades del hongo, la preparación de los bioformulados artesanales en el laboratorio y como es el proceso para ser implementado en campo, facilitándoles un folleto que contenía toda esta información.





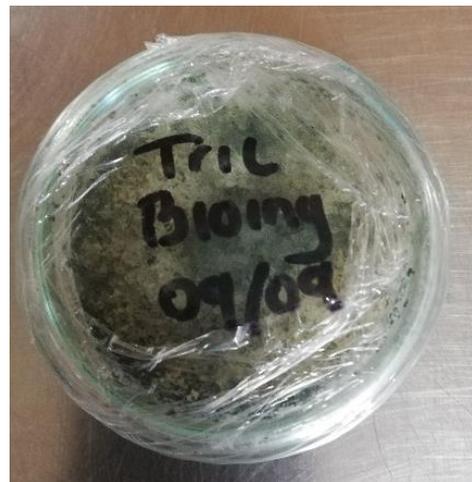
**Fotografías 1 :** Capacitación a los productores de los diferentes corregimientos Santa Rita, Santa Inés, Buenos Aires, San José, Tapartó, San Bartolo y la Chaparrala, y beneficiarios del programa “Una hectárea para la vida, una hectárea para la paz” que asistieron a las instalaciones de la Universidad de Antioquia Seccional Suroeste, donde se abordaron los cuatro módulos educativos frente a esta problemática.

#### 4.3 Replicación del hongo biocontrolador.

A)



B)



**Fotografías 2:** Replicación del hongo biocontrolador (*Trichoderma* spp) **a)** Preparación del medio de cultivo, suspensión de esporas y sembrado **b)** hongo esporulado.

#### 4.4 Preparación del bioformulado.



A)



B)

C)



E)

D)



F)



G)



H)



**Fotografías 3** :Elaboración del bioformulado: **a)** pesaje de arroz, **b)** el arroz en bolsas de propileno **c)** arroz ADE y ácido láctico **d)** cierre de bolsas con arroz **e)** Las bolsas de arroz al autoclave (esterilizar) **f)** Siembra de la suspensión del hongo en las bolsas de arroz **g)** Homogenización el medio con arroz con la suspensión de esporas del hongo y cierre con ganchos **h)** Marcaje y almacenamiento a temperatura ambiente.

#### 4.5 Pruebas de laboratorio a los bioformulados:

##### 4.4.1 Cálculo de la concentración de conidios/ml – conidios/g.

- Para la concentración de  $10^{-4}$

No. conidios/ml= Promedio del conteo \* el inverso de dilución empleada \*  $10^4$  ( $10^4$  es un valor constante y corresponde al inverso del Factor de corrección de la cámara) =

No. conidios/ml=  $2.02 * 10^4 * 10^4 = 2.02 * 10^{10}$  conidios/ml

Conidios / g de arroz=  $\frac{\text{Promedio del número de conidios/ml} * 200 \text{ ml}}{180 \text{ g}}$

Conidios/ g de arroz=  $\frac{2.02 * 10^{10} \text{ conidios/ml} * 200 \text{ ml}}{180 \text{ g}} = 2.244 * 10^{10}$  Conidios/ g

##### 4.4.2 Determinación de porcentaje de germinación:

Después de realizar todo el procedimiento de siembra en cada caja de Petri con cada una de la concentración correspondiente, se incubaron durante 8 horas a temperatura para obtener los siguientes resultados:

- Concentración  $10^{-3}$ =  
Conidios germinados: 90%  
Conidios no germinados: 10%
- Concentración  $10^{-4}$ =  
Conidios germinados: 75%  
Conidios no germinados: 25%

#### 4.4.3 Determinación del porcentaje pureza:

El hongo *Trichoderma* spp., se incubó durante 5 días, aunque en la gran mayoría de las réplicas se evidenciaba un crecimiento a los 3 días, en todas las muestras se obtuvo un porcentaje de pureza del 100%, no se evidenció el crecimiento ni de otro tipo de hongo o levadura.

#### 4.6 Entrega de los bioformulados.

A)



B)



C)



**Fotografías 4** : Entrega de los bioformulados. **A)** Asesoría técnica a los productores, **b)** Apoyo en la solución de dudas generadas, **c)** Resultado final, todos los beneficiarios del programa.

## 5. Análisis de resultados.

Dentro de la alianza de la Universidad de Antioquia y la alcaldía municipal de Andes, el proyecto sostenibilidad para el campo que ampara dentro de sus etapas la capacitación a productores tuvo muy buena acogida por parte de la comunidad, ya que respondieron de forma asertiva y consiente sobre la problemática que presentan los cultivos de musáceas del municipio, esto debido a la gran incidencia de plagas y enfermedades en plátano y banano como lo es el *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense*.

En el marco de este proyecto se capacitaron cerca de 250 productores del municipio, los cuales adquirieron las bases científicas y técnicas para desarrollar un agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente, para esto se le enseñó la forma de implantar unas buenas prácticas agrícolas en el cultivo de musáceas. A partir del manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), de manera enfática en los tipos de control utilizados en el cultivo, resaltando las ventajas del control biológico y las desventajas que genera el control químico que es el usado tradicionalmente.

Alternativamente se les presentó un método de control biológico muy eficiente y amigable con el medio ambiente y la salud humana, para el manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense*, a base de bioformulados del hongo *Trichoderma* spp., el cual posee propiedades como el micoparasitismo, antibiosis, la inducción de defensa vegetal, promoción del crecimiento de las plantas, entre otras lo que lo hace ideal para el biocontrol de esta enfermedad. Después de haber explicado cada una de las bases y la forma de actuar de este tipo de control se le hizo entrega de los bioformulados los cuales contaban con sus respectivas pruebas de laboratorio, que los hacían viables para su esparcimiento en campo.

En cuanto las pruebas de laboratorio realizadas a los bioformulados se obtuvo una concentración de  $2.244 \cdot 10^{10}$  Conidios/ g de arroz, en la concentración de  $10^{-4}$ , porque en la concentración de  $10^{-3}$  no se pudo realizar el conteo por la abundancia de conidios. El valor obtenido indica que los bioformulados eran viables para su implementación en campo y demuestran el rápido crecimiento del hongo *Trichoderma* spp.

En cuanto a la prueba de germinación de conidios indico un buen porcentaje ya que los resultados arrojaron que para la concentración de  $10^{-3}$  un 90% de germinación de conidios y un 10% de conidios no germinadas y con respecto a la concentración  $10^{-4}$ , un 75% de conidios germinadas y un 25% de conidios no germinadas, a partir de esto se puede extraer que el hongo se encontraba en la condición óptima para ser llevado a campo. Y finalmente la prueba del porcentaje de pureza indico un 100%, porque en todas las réplicas realizadas del hongo no se observó ningún otro tipo de hongo o levadura creciendo en el medio de cultivo.

Como conclusión todos los resultados de estas pruebas de laboratorio son significativas, porque se realizaron partir de un promedio de una serie de repeticiones a los bioformulados. Estas indicaron su viabilidad, germinación y pureza de estos asegurando de esta manera su efectividad en campo, al momento de ser esparcidos por los productores en los cultivos de plátano y banano del municipio de Andes, Antioquia.

## 6. Bibliografía.

- Akila, R., Rajendran, L., Harish, S., Saveetha, K., Raguchander, T., & Samiyappan, R. (2011). Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) causing Fusarium wilt in banana. *Biological Control*, 57(3), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.02.010>
- Andes, A. de. (2016). Economía. Retrieved November 13, 2019, from <http://www.andes-antioquia.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Ángel García, C., Robledo Buriticá, J., & Castaño Zapata, J. (2018). Comparación de métodos de inoculación de *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae* en plántulas de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 23–31. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.659>
- Ayyadurai, N., Ravindra Naik, P., Sreehari Rao, M., Sunish Kumar, R., Samrat, S. K., Manohar, M., & Sakthivel, N. (2006). Isolation and characterization of a novel banana rhizosphere bacterium as fungal antagonist and microbial adjuvant in micropropagation of banana. *Journal of Applied Microbiology*, 100(5), 926–937. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02863.x>
- Belgrove, A., Steinberg, C., & Viljoen, A. (2011). Evaluation of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and *Pseudomonas fluorescens* for Panama disease control. *Plant Disease*, 95(8), 951–959. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0409>
- Bosland, P. W. (1988). *Fusarium Oxysporum, a Pathogen of Many Plant Species*.

In *Advances in Plant Pathology* (Vol. 6, pp. 281–289).  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-033706-4.50023-2>

- Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Cabanás, C. G. L., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological control agents against Fusarium wilt of banana. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00616>
- Buddenhagen, I. (2009). and History of Introduction of 'Tropical Race 4' to Better Manage Banana Production. *Manage*, 193–204.
- Butler, D. (2013). Fungus threatens top banana. *Nature*, Vol. 504, pp. 195–196. <https://doi.org/10.1038/504195a>
- Chen, Y. F., Dai, X. M., Gong, Q., Huang, X., Xiao, W., Zhao, J. T., & Huang, X. L. (2011). Non-conventional breeding of banana (*Musa* spp.). *Acta Horticulturae*, 897, 39–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.897.2>
- Dale, J., James, A., Paul, J. Y., Khanna, H., Smith, M., Peraza-Echeverria, S., ... Harding, R. (2017). Transgenic Cavendish bananas with resistance to Fusarium wilt tropical race 4. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01670-6>
- Dane, F., & Dalgıç, Ö. (2005). The effects of fungicide benomyl (benlate) on growth and mitosis in onion (*Allium cepa* L.) root apical meristem. *Acta Biologica Hungarica*, 56(1–2), 119–128. <https://doi.org/10.1556/ABiol.56.2005.1-2.12>
- Dita, M. A., Garming, H., Bergh, I. Van Den, Staver, C., & Lescot, T. (2013). Banana in Latin America and the Caribbean : Current State , Challenges and Perspectives. *Acta Horticulturae*, 986, 365–380.
- Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. (2003). Fusarium oxysporum and its biocontrol. *New Phytologist*, 157(3), 493–502. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00700.x>
- Freshplaza. (2015). QLD Bananas: diagnóstico positivo TR4 confirmado. Retrieved October 1, 2019, from <https://www.freshplaza.com/article/136599/QLD-Bananas-Positive-TR4-diagnosis-confirmed/>
- Fu, L. P. C. R. R. Y., Shen, Zongzhuan; Xue, C., & Li, Rong; Shen, Q. (2017). Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana Fusarium wilt disease. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.008>
- Garces de granada, Emira.; Orozco de Amezquita, Martha.; Rocio Bautista, Gloria.; Valencia, H. (2001). Fusarium Oxysporum el hongo que nos falta conocer. *Acta Biológica Colombiana*, 6(1), 7–25.
- Gordon, T. R. (2017). Fusarium oxysporum and the Fusarium Wilt Syndrome . *Annual Review of Phytopathology*, 55(1), 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095919>

- Groenewald, S. (2006). Role of mononuclear rare earth metal complexes in promoting the hydrolysis of 2-hydroxypropyl p-nitrophenyl phosphate. *Chinese Journal of Chemistry*, 25(11), 1646–1651. <https://doi.org/10.1002/cjoc.200790304>
- Harman, G. E. (1991). Seed treatments for biological control of plant disease. *Crop Protection*, 10(3), 166–171. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(91\)90038-S](https://doi.org/10.1016/0261-2194(91)90038-S)
- Hennessy, C., Walduck, G., Daly, A., & Padovan, A. (2005). Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 in northern Australia. *Australasian Plant Pathology*, 34(1), 115–117. <https://doi.org/10.1071/AP04091>
- ICA. (2019). Primera detección de marchitez por *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense Raza 4 Tropical – FOC R4T. Retrieved November 21, 2019, from <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologia-agricola/saf/notificacion-oficial/detalle-notificacion-oficial/primera-deteccion-de-marchitez-por-fusarium-oxyspo>
- Infante, Danay, Martínez, B, González, Noyma, & Reyes, Y. (2009). MECANISMOS DE ACCIÓN DE *Trichoderma* FRENTE A HONGOS FITOPATÓGENOS. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1)(2), 14–21.
- Lorenzo, M. E. (2004). Prospección De Hongos Antagonistas En La Provincia De Cienfuegos. Efectividad Y Posibilidades De Reproducción De Cepas Nativas De *Trichoderma* Spp. *Fitosanidad*, 8(2), 64.
- Marín-Serna, S., González-Guzmán, J., Castaño-Zapata, J., & Ceballos-Aguirre, N. (2014). Respuesta de quince introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.) a la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici Snyder & Hansen). *Revista Agronomía*, 22(2), 48–59.
- Martínez, B. L. (2016). MAL DE PANAMÁ *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (E.F. Sm.) W. C. Snyder & H. N. Hansen Raza 4 Tropical (Foc R4T). *Dirección General de Sanidad Vegetal Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria*, 1–30.
- Mohandas, S., Sowmya, H. D., Saxena, A. K., Meenakshi, S., Rani, R. T., & Mahmood, R. (2013). Transgenic banana cv. Rasthali (AAB, Silk gp) harboring Ace-AMP1 gene imparts enhanced resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense race 1. *Scientia Horticulturae*, 164, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.018>
- Molina, A. and Williams, R. (2010). Mitigating the threat of banana *Fusarium* wilt: Understanding of agroecological distribution of pathogenic forms and developing disease management strategies. *ACIAR Publication*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2006.03.008>
- Ordoñez, F. García-Bastidas, HB Laghari, Mi akkary, EN Harfouche, B. al A. G.

- K. (2016). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 causing Panama disease in Cavendish bananas in Pakistan and Lebanon. *Plant Disease*, 100(1), 209. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-14-1356-PDN>
- Ploetz, R. C. (2006). *Fusarium-Induced Diseases of Tropical Perennial Crops: Fusarium Wilt of Banana Is Caused by Several Pathogens Referred to as Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. 96(6), 653. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0653>
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium Wilt of Banana. *University of Florida, Tropical Research & Education Center*, 105 (12), 10.
- Ramu, V., Venkatarangaiah, K., Krishnappa, P., Rajanna, S. K. S., Deeplanaik, N., Pal, A. C., & Kini, K. R. (2016). Identification of biomarkers for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* infection and in silico studies in *Musa paradisiaca* cultivar puttabale through proteomic approach. *Proteomes*, 4(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/proteomes4010009>
- Raza, Waseem; Ling, Ning; Zhang, Ruifu; Huang, Qiwei; Xu, Yangchun; Shen, Q. (2017, February 17). Success evaluation of the biological control of Fusarium wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 37, pp. 202–212. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1130683>
- Raza, W., Ling, N., Zhang, R., Huang, Q., Xu, Y., & Shen, Q. (2017, February 17). Success evaluation of the biological control of Fusarium wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 37, pp. 202–212. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1130683>
- Subramaniam, S., Maziah, M., Sariah, M., Puad, MP y Xavier, R. (2006). Bioassay method for testing Fusarium wilt disease tolerance in transgenic banana. *Scientia Horticulturae*, 108(4), 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.028>
- Sun, D., Lu, X., Hu, Y., Li, W., Hong, K., Mo, Y., ... Xie, J. (2013). Methyl jasmonate induced defense responses increase resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4 in banana. *Scientia Horticulturae*, 164, 484–491. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.011>
- Wang, Z., Jia, C., Li, J., Huang, S., Xu, B., & Jin, Z. (2015). Activation of salicylic acid metabolism and signal transduction can enhance resistance to Fusarium wilt in banana (*Musa acuminata* L. AAA group, cv. Cavendish). *Functional and Integrative Genomics*, 15(1), 47–62. <https://doi.org/10.1007/s10142-014-0402-3>
- Weindling, R. (1934). Studies on a lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. *Phytopath*, 24(11), 1153–1179.

- Wu, H. S., Yang, X. N., Fan, J. Q., Miao, W. G., Ling, N., Xu, Y. C., ... Shen, Q. (2009). Suppression of Fusarium wilt of watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms. *BioControl*, *54*(2), 287–300. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9168-7>
- Wu, Y. L., Yi, G. J., & Peng, X. X. (2010). Rapid screening of Musa species for resistance to Fusarium wilt in an in vitro bioassay. *European Journal of Plant Pathology*, *128*(3), 409–415. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9669-y>
- Xavier Perrier , Edmond De Langhe , Mark Donohue , Carol Lentfer , Luc Vrydaghs , Frédéric Bakry , Françoise Carreel , Isabelle Hippolyte , Jean-Pierre Horry , Christophe Jenny , Vincent Lebot , Ange-Marie Risterucci , Kodjo Tomekpe , Hugues Doutrelepon, T. D. (2011). Multidisciplinary perspectives on banana ( Musa spp.) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(28). <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>
- Xue, C., Penton, C. R., Shen, Z., Zhang, R., Huang, Q., Li, R., ... Shen, Q. (2015). Manipulating the banana rhizosphere microbiome for biological control of Panama disease. *Scientific Reports*, *5*. <https://doi.org/10.1038/srep11124>

## Anexos.

**Fotografías 1** : Capacitación a los productores de los diferentes corregimientos Santa Rita, Santa Inés, Buenos Aires, San José, Tapartó, San Bartolo y la Chaparrala, y beneficiarios del programa “Una hectárea para la vida, una hectárea para la paz” que asistieron a las instalaciones de la Universidad de Antioquia Seccional Suroeste, donde se abordaron los cuatro módulos educativos frente a esta problemática..

**Fotografías 2**: Replicación del hongo bicontrolador (*Trichoderma* spp) **a)** Preparación del medio de cultivo, suspensión de esporas y sembrado **b)** hongo esporulado.

**Fotografías 3** :Elaboración del bioformulado: **a)** pesaje de arroz, **b)** el arroz en bolsas de propileno **c)** arroz ADE y ácido lático **d)** cierre de bolsas con arroz **e)** Las bolsas de arroz al autoclave (esterilizar) **f)** Siembra de la suspensión del hongo en las bolsas de arroz **g)** Homogenización el medio con arroz con la suspensión de esporas del hongo y cierre con ganchos **h)** Marcaje y almacenamiento a temperatura ambiente.

**Fotografías 4** : Entrega de los bioformulados. **A)** Asesoría técnica a los productores, **b)** Apoyo en la solución de dudas generadas, **c)** Resultado final, todos los beneficiarios del programa.