



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN DE *Radophulus similis* Y HONGOS  
ANTAGONISTAS DE NEMATODOS Y ENDÓFITOS EN PLÁTANO (*Musa sp*)**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

PRESENTA

**BETZABELL CRUZ GARRIDO**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. CARMELA HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ**

**San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021.**



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN DE *Radophulus similis* Y HONGOS  
ANTAGONISTAS DE NEMÁTODOS Y ENDÓFITOS EN PLATANO (*Musa sp*)**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

PRESENTA

**BETZABELL CRUZ GARRIDO**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. CARMELA HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ**

CODIRECTOR

**DR. PEDRO FABIÁN GRIFALDO ALCÁNTARA**

ASESORES

**DR. DELFINO REYES LÓPEZ  
M. C. FABIELVÁZQUEZ CRUZ**

**San Juan, Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021.**

La presente tesis titulada: **ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN DE *Radophulus similis* Y HONGOS ANTAGONISTAS DE NEMÁTODOS Y ENDÓFITOS EN PLATANO (*Musa sp*)** y realizada por **Betzabell Cruz Garrido** ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

**Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**

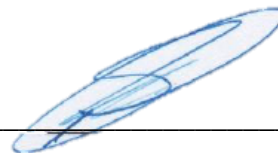
Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: **Dra. Carmela Hernández Domínguez**



Codirector: **Dr. Pedro Fabián Grifaldo Alcántara**



Asesor: **Dr. Delfino Reyes López**



Asesor: **M. C. Fabiel Vázquez Cruz**



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021.

El presente trabajo forma parte del Grupo de Investigación denominado: **Agrobiotecnología y recursos naturales** y de la Línea de Investigación: **Biotecnología, conservación y protección vegetal**. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

## **DEDICATORIAS**

En la vida hay demasiadas situaciones por las que pasa una persona para llegar a lograr lo que se propone, para esto hay sacrificios, sufrimiento, hambre y en algunos casos hasta dolor, esto disminuye cuando tienes a las personas correctas en tu vida acompañándote en cada paso que das, alentándote a seguir tus sueños para lograr ese objetivo que tienes en mente y en el corazón y le agradezco a Dios por permitirme llegar con bien y no abandonarme en el proceso.

Por eso esta tesis se la dedico a mis papás, por el sacrificio que han hecho para darme los recursos necesarios para concluir mis estudios, los desvelos, el apoyo moral, por alentarme a ser mejor persona cada día y sobre todo el amor que me han brindado a lo largo de esta carrera y de mi vida.

A mis hermanas y hermano por estar para mí en todo momento aconsejándome y apoyándome en mis decisiones, por brindarme comprensión y motivarme en mí día a día y por su amor en todo momento.

A mis docentes por guiarme a lo largo de la carrera, por brindarme el apoyo y el conocimiento y las enseñanzas que ahora tengo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme permitido formarme en ella y a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por permitirme ser parte de ella y abrirme las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

A mi directora de tesis la Dra. Carmela Hernández Domínguez por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A mi codirector el Dr. Pedro Fabián Grifaldo Alcántara por contribuir en la conformación tanto teórica como empírica de la presente investigación.

A mis asesores el Dr. Delfino Reyes López y el M. C. Fabiel Vázquez Cruz por sus siempre oportunas e inteligentes observaciones que contribuyeron de forma significativa para el desarrollo y la mejora de esta tesis.

También a mi compañero Roberto Carlos Ortega García por el apoyo brindado durante el proceso de este proyecto de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

ÍNDICE DE CUADROS .....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	II
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivo específico .....	3
III. HIPOTESIS .....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Antecedentes .....	5
4.2 Producción e importancia económica del plátano en México .....	5
4.3 Tipos de plátano en México.....	5
4.3.1 Plátano macho .....	6
4.3.2 Plátano dominico .....	6
4.3.3 Plátano manzano.....	6
4.4 Nematodos en plantaciones de plátano.....	6
4.4.1 Manejo integrado de nematodos en plátano .....	7
4.4.2 Control físico .....	7
4.4.3 Control cultural.....	7
4.4.4 Control químico.....	8
4.4.5 Control biológico.....	8
4.4.6 Nematodo barrenador <i>Radopholus similis</i> .....	9
4.4.7 Principales prácticas de manejo de <i>Radopholus similis</i> .....	9
4.5 Hongos endófitos .....	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1 Localización del experimento.....	13
5.2 Muestreo de suelo y raíz de plátano en diferentes localidades de los estados Oaxaca, Veracruz y Puebla.....	13
5.3 Análisis de muestras de suelo de raíz de diferentes estados y variedades de plátano para localizar nematodos .....	15
5.4 Análisis de raíz de diferentes variedades de plátano y maleza para detección de hongos endófitos en los diferentes estados.....	16
5.5 Caracterización morfológica.....	17
5.6 Variables a evaluar.....	17
5.7 Análisis estadístico .....	18
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19

6.1	Identificación morfológica de hongos antagonistas de nematodos y benéficos endófitos de raíz de plátano .....	19
6.1.1	Descripción morfológica del genero <i>Trichoderma</i> .....	22
6.1.2	Descripción morfológica del genero <i>Fusarium</i> .....	22
6.1.3	Descripción morfológica del genero <i>Glomus</i> .....	22
6.2	Identificación morfológica de <i>Radopholus similis</i> en raíz de plátano .....	25
6.3	Abundancia y distribución de géneros de hongos benéficos endófitos en raíz y antagonistas a nematodos de plátano con respecto a su origen .....	27
6.4	Abundancia y distribución de hongos benéficos endófitos y antagonistas a nematodos asociados a raíz de plátano de diferentes variedades .....	29
6.5	Relación entre la abundancia y distribución de géneros de hongo antagonistas y presencia de <i>Radopholus similis</i> .....	31
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....		<b>33</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b> .....		<b>34</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
<b>Cuadro 1.</b> Variedades de plátano sembradas en México .....	<b>5</b>
<b>Cuadro 2.</b> Grupos y clases de hongos endófitos .....	<b>11</b>
<b>Cuadro 3.</b> Origen y número de muestras de suelo en diferentes variedades de plátano en localidades de los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla .....	<b>15</b>
<b>Cuadro 4.</b> Caracterización de hongo por género .....	<b>19</b>
<b>Cuadro 5.</b> Índices de abundancia de los géneros de hongos encontrados en tres estados muestreados .....	<b>28</b>
<b>Cuadro 6.</b> Índices de abundancia de los géneros de hongos encontrados en diferentes variedades muestreadas .....	<b>29</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<b>Figura 1.</b> Localización de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias .....	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Localización del municipio San Juan Bautista Tuxtepec, San Rafael, y Hueytamalco en los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla respectivamente .....	<b>14</b>
<b>Figura 3.</b> Método del tamizado (Agrios, 2004) .....	<b>15</b>
<b>Figura 4.</b> Mapa esquemático de la ruta de investigación para análisis de hongos endófitos .....	<b>17</b>
<b>Figura 5.</b> Micelio observado internamente en el tejido de raíz. Aa y Ea Hifas de micelio .....	<b>21</b>
<b>Figura 6.</b> Características del género <i>Trichoderma</i> , Cc Hifas de micelio septado, Ee conidióforos distintos reducidos a clavijas, Tt conidióforos ramificados irregularmente y Vv conidios en ramos .....	<b>23</b>
<b>Figura 7.</b> Características del género <i>Fusarium</i> , Cc Hifas de micelio septado, Hh conidióforos cortos, Xx conidios .....	<b>24</b>
<b>Figura 8.</b> Características del género <i>Glomus</i> , A-D Micelio, B-E clamidospora y C-F hifa .....	<b>25</b>
<b>Figura 9.</b> Características de <i>Radopholus similis</i> . B Estilete. C Espícula .....	<b>25</b>
<b>Figura 10.</b> Nematodos con características de <i>Radopholus similis</i> dentro de la raíz. A daño en raíz por nematodos. B y C Presencia de nematodo dentro del tejido .....	<b>26</b>
<b>Figura 11.</b> Presencia de Nematodos con características de <i>Radopholus similis</i> obtenidos por cada 200g de suelo. A Presencia por estado. B Presencia por variedad .....	<b>27</b>
<b>Figura 12.</b> Distribución de géneros de hongos al cuantificar su presencia por estado muestreado .....	<b>29</b>

---

<b>Figura 13.</b>	Distribución de géneros de hongos al cuantificar su presencia por variedad muestreada.....	<b>30</b>
<b>Figura 14.</b>	Relación entre índice de abundancia de hongos con el índice de abundancia de <i>R. similis</i> (A). Relación entre la distribución de los géneros de hongos con la distribución de nematodos .....	<b>32</b>

---

ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN DE *Radopholus similis* Y HONGOS  
ANTAGONISTAS DE NEMÁTODOS Y ENDÓFITOS EN PLATANO (*Musa* sp)

## RESUMEN

El plátano (*Musa sp*) es la fruta más cultivada en México, pero es atacado por diversas plagas como los nematodos que dificultan su control con agroquímicos, por eso, el objetivo de este trabajo fue determinar la abundancia y distribución de hongos endófitos y antagonistas a *Radopholus similis* en raíz de plátano. Para el estudio se colectaron 54 muestras de 200 gr de suelo y raíz de distintas variedades en los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla, de las cuales se extrajeron nematodos por el método de tamizado, se contaron y caracterizaron morfológicamente. Del tejido de las raíces se hicieron cortes que fueron observados al microscopio, y en los que se detectó presencia de hifas fueron colocados en medio ADS, y de esos cortes los hongos que crecieron fueron aislados y caracterizados morfológicamente con claves taxonómicas. En total, 18 hongos endófitos fueron obtenidos, de los cuales 8 pertenecieron al género *Trichoderma*, 8 al género *Fusarium* y 2 al género *Glomus*. De acuerdo a sus características se observó la presencia de *Radopholus similis* en muestras de suelo y en cortes de tejido de algunas raíces, encontrando más ejemplares en la variedad manzano y en el estado de Oaxaca. Los estados con mayor diversidad y abundancia fueron Oaxaca y Veracruz para *Trichoderma* (IA=0.4210) y para *Fusarium* Oaxaca y Puebla (IA=0.4210), (la variedad manzano tuvo asociado 3 generos de hongos endófitos (*Trichoderma*, *Fusarium* y *Glomus*)). Cabe mencionar que, de los géneros de hongos encontrados solo *Trichoderma* podría tener especies antagonistas a nemátodos, sin embargo, el análisis estadístico no mostró relación entre la presencia de hongos endófitos y la presencia de *Radopholus similis* lo que sugiere la ausencia de este hongos en el estudio.

**Palabras claves:** *Musa sp*, variedades, morfología, especies, nematodos, raíz.

ABUNDANCE, DISTRIBUTION OF *Radopholus similis* AND NEMATOID AND  
ENDOPHYTAL ANTAGONIST FUNGISTS IN BANANA (*Musa sp*)

**ABSTRACT**

Banana (*Musa sp*) is the most cultivated fruit in Mexico, but it is attacked by several pests such as nematodes that make it difficult to control with agrochemicals, therefore, the objective of this work was to determine the abundance and distribution of endophytic fungi and antagonists to *Radopholus similis* in banana root. For the study, 54 samples of 200 g of soil and root of different varieties were collected in the states of Veracruz, Oaxaca and Puebla, from which nematodes were extracted by the sieving method, morphologically counted and characterized. From the root tissue, sections were made and observed under the microscope, and those in which the presence of hyphae was detected were placed in ADS medium, and from these sections the fungi that grew were isolated and morphologically characterized with taxonomic keys. In total, 18 endophytic fungi were obtained, of which 8 belonged to the genus *Trichoderma*, 8 to the genus *Fusarium* and 2 to the genus *Glomus*. According to their characteristics, the presence of *Radopholus similis* was observed in soil samples and in tissue sections of some roots, finding more specimens in the apple variety and in the state of Oaxaca. The states with the highest diversity and abundance were Oaxaca and Veracruz for *Trichoderma* (AI=0.4210) and for *Fusarium* Oaxaca and Puebla (AI=0.4210), (the apple variety had 3 genera of endophytic fungi associated (*Trichoderma*, *Fusarium* and *Glomus*). It is worth mentioning that, of the fungal genera found, only *Trichoderma* could have species antagonistic to nematodes, however, the statistical analysis showed no relationship between the presence of endophytic fungi and the presence of *Radopholus similis*, suggesting the absence of this fungus in the study.

**Keywords:** *Musa sp*, varieties, morphology, species, nematodes, root.

## I. INTRODUCCIÓN

Las musáceas de frutos comestibles, se han convertido en el cuarto rubro alimenticio energético de importancia en el mundo y el primero entre las frutas al presentar una producción aproximadamente a 54 millones de toneladas entre el 2016 y 2018 (FAO, 2019; Brenes-Gamboa, 2017).

En todo el mundo se producen 113,212.452 toneladas de plátano por año, en el 2019 India fue el principal productor, seguido de China e Indonesia, México ocupó el noveno lugar con 2.1%. En ese mismo año en nuestro país los principales productores fueron Chiapas con 29%, Tabasco con 24.6%; Veracruz con 13.9%; y Colima con 8.65%. La producción de Oaxaca y Puebla representó el 3.28 % y 1.51 % respectivamente. Así mismo, también se produjeron plátanos en otros estados del país, pero en una cantidad menos importante (SIAP, 2019).

A pesar de que el plátano forma parte de la dieta alimenticia de los mexicanos, su producción se ve afectada por varias plagas y enfermedades, entre ellas, las provocadas por nematodos. Uno de los nematodos que gran daño al cultivo de plátano es *Radophulus similis*, el cual ataca a las raíces provocando necrosamiento del tejido del cual se alimenta, sin embargo, pasan inadvertido (Guzmán *et al.*, 2011). Así mismo, los síntomas secundarios se manifiestan clorosis de hojas, disminución del número y tamaño de hojas, mala calidad de los racimos, y volcamiento (Aranzazu y Castrillón, 2001).

Aunque se pone poca atención a este tipo de plaga, *Radophulus similis* llegan a ser un problema serio en plantas de plátano pequeñas utilizadas para restablecer plantaciones en suelos infestados con esta plaga (Rosas-Hernández *et al.*, 2020). Una de las formas efectivas de controlar este tipo de plaga es con el uso de productos altamente residuales y de lenta liberación, como lo es Metam sodio, Couter y Furadan aplicados al suelo en el momento del trasplante, sin embargo, su uso debe ser controlado ya que resultan altamente peligroso para los seres vivos; las plantaciones tratadas con alguno de estos productos estarán protegidas por algunos meses mientras se desarrollan las plantas, sin embargo después de un año cuando las plantas produzcan hijuelos nuevos, éstos estarán desprotegidos y será difícil realizar nuevas aplicaciones de los productos mencionados anteriormente debido a la mayor densidad de plantación y a la forma de aplicación de los

mismos, de ésta manera las plantaciones se van haciendo viejas y por consiguiente se incrementa la densidad poblacional de ésta plaga (Damián, 2016).

Hasta el momento no existe una marcada preferencia de los nematodos fitopatógenos hacía ciertas variedades de plantas, sin embargo, se ha descubierto en diversas investigaciones la presencia de hongos antagonistas asociados a las raíces de las plantas jugando un papel importante, tanto en su importancia dentro del cultivo, en la abundancia y su distribución; por ello esta investigación se dio a la tarea de perseguir los siguientes objetivos.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Determinar la abundancia, distribución de *Radopulus similis* y hongos antagonistas a nematodos y endófitos de raíz de plátano (*Musa sp.*).

### **2.2 Objetivo específico**

- Caracterizar e identificar morfológicamente a *Radopulus similis* presentes en suelos de raíz de diferentes variedades de plátano.
- Caracterizar e identificar morfológicamente a las especies de hongos endófitos de raíces de diferentes variedades de plátano.
- Determinar la abundancia y distribución de especies de hongos endófitos de raíz de plátano y antagonistas de nematodos de la variedad y la región.

### **III. HIPOTESIS**

La abundancia y distribución de *Radopulus similis* depende de la presencia de hongos antagonistas a nematodos y endófitos en raíz de diferentes variedades de plátano (*Musa* sp).

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Antecedentes

El plátano tiene su origen en Asia meridional, siendo conocido desde el año 650, la especie llegó a las Canarias en el siglo XV y a finales del siglo XIX y principios del XX se inició su cultivo comercial. En 1516 el plátano se introdujo al continente americano y hasta la fecha se sigue cultivando debido a que es apreciado por su sabor como postre, y en muchos países tropicales y subtropicales constituye una parte esencial de la dieta diaria de sus habitantes (Robinson y Galán, 2012).

### 4.2 Producción e importancia económica del plátano en México

La producción de plátano en México se distribuye en los estados con clima tropical a subtropical, en el año 2019 los principales productores fueron Tabasco, Chiapas, Veracruz y Colima, Oaxaca y Puebla ocuparon el octavo y noveno lugar respectivamente. En ese mismo año la producción dejó una entrada de divisas expresada en miles de pesos de \$8, 818,483.90, donde Tabasco ocupó el primer lugar con \$2, 117,921.05, Chiapas el segundo lugar con \$1,737,919.98, Veracruz el tercer lugar con \$1,154,366.67 y Colima el cuarto lugar con \$1,154,366.67, sin embargo, los estados de Oaxaca y Puebla obtuvieron \$313,275.24 y \$163,709.08 pesos respectivamente generando varios empleos en la región de producción (SIAP, 2019).

### 4.3 Tipos de plátano en México

Las variedades que más se sembraron en el 2019 fueron; enano gigante en primer lugar, macho en segundo lugar y dominico en tercer lugar; el plátano manzano ocupó el séptimo lugar de acuerdo al cuadro 1 de variedades de plátano sembradas en ese año (SIAP, 2019).

**Cuadro 1. Variedades de plátano sembradas en México**

Variedad	Superficie (Ha)		Producción	Valor de producción en miles de pesos
	Sembrada	Cosechada		
Enano gigante	35,254.20	35,105.20	1,542,482.56	5,598,125.54
Macho	19,700.12	19,468.07	3,432.75	1,247,155.77
Dominico	8,901.70	8,724.70	151,703.04	609,383.24
Criollo	5,982.89	5,926.30	103,521.27	273,590.40
Tabasco	3,595.00	3,531.20	103,207.69	519,346.70

Valery	2,978.48	2,815.48	81,678.95	366,934.01
Manzano	1,694.70	1,650.20	18,909.33	85,160.13
Pera	1,249.00	1,246.00	17,518.87	34,475.45
Morado	999.00	985.00	15,156.83	72,518.56
Tahi	163.00	141.00	1,940.79	11,794.10

(SIAP, 2019).

#### **4.3.1 Plátano macho**

Este fruto llega a medir de 7 a 15 cm de largo y hasta 4 cm de diámetro. Posee una forma poco curvada y puede llegar a pesar 200 g por unidad. Está cubierto por una cáscara verde que pasa a ser de un color amarillo intenso al madurar la pulpa es blanca, y rica en almidón, proporcionando una consistencia harinosa. Las semillas son negras, globosas, tienen un tamaño de 6 x 5 mm y estas incrustadas en la pulpa. A mayor cantidad de semillas en el fruto mayor es su tamaño. No es considerado un fruto dulce, pues apenas contiene hidratos de carbono sencillos; por lo que su sabor no es bueno para el consumo en fresco. En México los estados productores de plátano macho son Chiapas, Campeche, Tabasco, Guerrero, Jalisco, Colima, Oaxaca, Puebla y Veracruz (Solís, 2007).

#### **4.3.2 Plátano dominico**

En tamaño es considerado el más pequeño de los plátanos, pero el más dulce. Es producido en los estados de Tabasco, Puebla, Veracruz, Jalisco, Michoacán y Nayarit. Se caracteriza por no medir más de 10 cm de largo. Al madurar su color es amarillo brillante y su forma se relaciona con la forma de los dedos (Galván, 1992).

#### **4.3.3 Plátano manzano**

Posee un tamaño similar al dominico, aunque el grosor es mayor. La piel al madurar se torna amarilla con tonalidad “oro pálido”. Esta variedad posee un sabor dulce (mezcla de manzana y plátano), su aroma es agradables y con poca acidez. Produce racimos abundantes de 16 a 18 unidades. Comúnmente se cultiva en Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Nayarit. (INTAGRI, 2020).

### **4.4 Nematodos en plantaciones de plátano**

El plátano es atacado por diversas plagas, entre ellas los nematodos, los cuales son organismos de tamaño microscópico que causan daño directo a las raíces como

necrosamiento de los tejidos celulares que consumen. Los síntomas secundarios, se manifiestan en la parte aérea de la planta, y puede ser clorosis, reducción de su crecimiento, disminución del número y tamaño de hojas, mala calidad de los racimos, volcamiento, desraizamiento (Aranzazu y Castrillón, 2001). Estas manifestaciones son muy parecidas a las causadas por deficiencias nutricionales, microorganismos patógenos y por otros insectos plaga que atacan la raíz y cormo de la planta como el picudo negro por lo que muchas veces esta plaga pasa inadvertida (Castrillón, 2003).

La diseminación de los nematodos a grandes distancias se hace única y exclusivamente por semilla. Al interior del cultivo se hace a través de agua, herramientas, maquinaria y el hombre. Por lo tanto, el manejo consiste en una buena selección de semilla y en un programa de fertilización que incluya materia orgánica (Aranzazu y Castrillón, 2001).

El problema es mayor cuando se dejan las raíces adheridas a la semilla y es aún más grave si se siembran plantas recién paridas con sus colinos.

#### **4.4.1 Manejo integrado de nematodos en plátano**

Entre las actividades que se realizan para el control de ésta plaga se encuentran las medidas de prevención, tales como: realizar análisis de suelos para determinar poblaciones de nematodos, sembrar material sano certificado, nunca sembrar semillas que se extraen de cultivos afectados para evitar su diseminación, evitar sembrar plátano intercalado con cultivos con daños ocasionados por esta plaga, a la que también son susceptibles por ejemplo; el café, las hortalizas, los cítricos, el aguacate, los forestales, entre otros (Manzanilla 2020).

#### **4.4.2 Control físico**

Esta táctica se basa en desinfectar el suelo con calor elevando la temperatura hasta 50°C durante 30 minutos con vapor o agua caliente para matar adultos y huevos de nematodos, o esterilizar el suelo con Basamid (Navarro, 2016).

#### **4.4.3 Control cultural**

Algunas de las actividades contempladas dentro del control cultural son: Sembrar bajas densidades de plantas, descolinar y eliminar residuos de cosecha, especialmente cormos y raíces afectadas mediante repique, desinfestar las herramientas y los implementos agrícolas utilizados al realizar las labores del cultivo (Damián, 2016).

#### **4.4.4 Control químico**

En esta táctica de control el uso de productos antes de la siembra o durante el desarrollo del cultivo ha sido cuestionado por su alta toxicidad, y porque estos productos sólo controlan los nematodos del suelo, pero no los que ya han penetrado dentro de la raíz, como es el caso de *Radophulus similis* y *Pratylenchus* sp. (Aranzazu y Castrillón, 2001).

Algunos nematicidas que se aplican al suelo antes de la siembra son: metam sodio, Fostiazato, y Fluensulfone.

Para el caso del metam sodio es un producto que da origen al gas metil isotiocianato (MIT) el cual actúa sobre los organismos del suelo. Sin embargo, para lograr un buen control con este producto se debe de vigilar de que su aplicación se lleve a cabo cuando las temperaturas en el suelo fluctúen entre 10 y 25 °C, con la finalidad de lograr un buen efecto fumigante, las dosis de este producto se deben aplicar entre 300 y 600 L/ha, considerado un periodo de exposición de 18 a 21 días previo al trasplante. Por otra parte, si se aplica fostiazato en la fumigación, esta se puede hacer entre el tercero y sexto día antes del trasplante a razón de 10 L/ha y es necesario mantener la humedad del suelo hasta el trasplante, con riegos cortos para que se mantenga la solución acuosa del suelo donde esta diluido el producto. Así mismo, el producto fluensulfone se debe realizar la aplicación 11 días antes del trasplante en aproximadamente 30 m<sup>3</sup> de agua/ha, en el caso de que riego sea por goteo se puede agregar en el sistema de riego para que el producto actúe al contacto con los nemátodos y al cabo de una hora los nematodos dejan de alimentarse, se paralizan, y después de 24 a 48 horas mueren, también este producto se puede aplicar directamente al suelo siempre y cuando se realice un riego de 10 m<sup>3</sup> de agua/ha 48 horas antes de aplicar el producto. (INTAGRI, 2017).

#### **4.4.5 Control biológico**

Esta táctica de control está basada en el uso de microorganismos entomopatógenos, como es el caso concreto de los hongos (*Paecilomyces lillacinus*) y otros como *Fusarium* sp. La aplicación de estos microorganismos al suelo para el control de nematodos fitoparásitos en plátano presenta ventajas directas al controlar los nematodos parásitos del suelo y raíz, y mejora los rendimientos al incrementar el peso del racimo y el peso y tamaño de los dedos. Adicionalmente el uso de hongos como *Paecilomyces lillacinus*, aumenta la

presencia de géneros de hongos y bacterias, enriqueciendo de esta forma la microflora del suelo (Tello, 2016).

#### **4.4.6 Nematodo barrenador *Radopholus similis***

El primer registro *Radopholus similis* fue observado por primera vez por Nathan August Cobb (el padre de la nematología de Occidente) en julio de 1891 en Nueva Gales del Sur, en raíces necróticas de *Musa sapientum*, provenientes de las islas Fiji. Dos años después (1892), Cobb nombró al nematodo como *Tylenchus similis* y registró que las hembras no fueron observadas (Cobb, 1892). Posteriormente, en 1915, Cobb recibió cormos de banano Gros Michel infectados con este nematodo enviados desde Jamaica y encontró especímenes adicionales, que fueron usados para realizar una descripción y publicación más completa de la especie.

Después del primer registro, *Radopholus similis* se ha encontrado en regiones tropicales y subtropicales donde crece banano y plátano, excepto en Israel, Islas Canarias, Islas Cabo Verde, Chipre, Creta, Mauricio y Taiwán (Gowen *et al.*, 2005). A pesar de que *Radopholus* es un género originario de Australia y Nueva Zelanda, la especie *Radopholus similis* se encuentra en las áreas tropicales y subtropicales del mundo (Araya, 2003).

#### **4.4.7 Principales prácticas de manejo de *Radopholus similis***

Las alternativas de manejo integrado de *Radopholus similis* están determinadas por varios factores agronómicos como los siguientes:

- 1) Evitar el ingreso de los nematodos en el suelo antes de establecer un cultivo, mediante las siguientes prácticas:
  - Debido a que *Radopholus similis* no se encuentra en suelos vírgenes, se debe evitar su ingreso a ellos antes de la siembra. Para lograr esto, es esencial utilizar material de siembra limpio libre de fitonematodos para establecer una nueva plantación.
  - Realizar análisis de nematodos fitoparásitos en raíces y suelo para conocer la presencia o ausencia de otros géneros en sus poblaciones.
  - Tratar de hacer solarización, es decir, tratamiento del suelo con calor por radiación solar.
- 2) Reducir la cantidad de nematodos en el material de siembra, mediante las siguientes prácticas:

- Cuando sea posible, utilizar plantas provenientes de cultivos de tejidos (*in vitro*).
- Obtención de colinos de plantas libres de nematodos fitoparásitos y otros agentes causantes de enfermedades.
- Como *Radopholus similis* sobrevive en cormos y raíces infectadas, realizar remoción de capas externas del rizoma “pelado” de tejido infectado para disminuir su población; además, esta práctica permite hacer inspección del tejido blanco para observar la presencia de picudos.
- La práctica de la limpieza sanitaria “pelado” de los cormos se debe realizar fuera del campo, y los cormos necróticos severamente lesionados deben ser descartados y dejar solamente los limpios para la siembra. Esta actividad es relativamente fácil y no es costosa.
- Eventualmente, se puede hacer inmersión de colinos en agua caliente a 55°C por 20 min o en agua hirviendo por 1 min.

3) Promover la sanidad y el vigor de las raíces de las plantas para ayudarlas a tolerar o competir con la presión de los nematodos u otros patógenos, mediante las siguientes prácticas:

- Aplicación de nematicida en el sitio de siembra y en suelo. En cultivos comerciales, cuando las poblaciones de nematodos son altas, la manera más común de controlarlo es con la aplicación frecuente de productos químicos organofosforados o carbonatos (no volátiles), los cuales son aplicados como gránulos sobre la superficie del suelo alrededor de la planta.
- Preparación óptima del suelo antes de la siembra, ya que en suelos sueltos ocurre mejor crecimiento y desarrollo del sistema radical, reflejado en una mayor cantidad y longitud de raíces, contrario a lo que sucede en suelos pesados y compactados.
- Incorporación constante de enmiendas orgánicas bien procesadas como gallinaza, pulpa de café, ceniza, porcinaza, etc., las cuales promueven la sanidad y el vigor de las raíces en cultivos de musáceas, permitiéndoles competir mejor con los nematodos.

#### **4.5 Hongos endófitos**

Un hongo endófito, es aquel que habita en una planta sin causar síntomas aparentes de enfermedad. La estrecha relación que existe entre el endófito y su planta hospedera se considera de gran importancia, ya que el hongo es capaz de producir metabolitos bioactivos, así como modificar los mecanismos de defensa de su hospedera, permitiendo e

incrementando la sobrevivencia de ambos organismos. Estudios recientes demuestran la enorme capacidad que tienen los hongos endófitos para producir compuestos activos que le confieren protección a su hospedera contra el ataque de patógenos y herbívoros, constituyendo una nueva vía para la obtención de diversos precursores o moléculas (Sánchez *et al.*, 2013). Muchas especies de endófitos pueden afectar diferencialmente la tasa de uso de fotosintatos, ya que las especies varían en sus requerimientos y preferencias nutritivas. Esto podría afectar al hospedero, al inducir agotamiento de ciertos productos y/o acumulación de otros, de acuerdo con la presencia y/o dominancia de ciertos endófitos (Gamboa-Gaitán *et al.*, 2005).

Los hongos endófitos son un grupo muy diverso y polifilético que habita en diversas partes de las plantas. La mayoría pertenecen al *phylum* Ascomycota, aunque también se han encontrado en los Basidiomycota, Zigomycota y Oomycota (Rosa, *et al.*, 2011). Históricamente se han clasificado en clavicipitáceos y no clavicipitáceos, basados en su filogenia e historia de vida (Schulz y Boyle, 2005).

Algunos autores como Rodríguez *et al.*, (2009) los clasifican tomando en cuenta su taxonomía, sus plantas hospederas, su evolución y sus funciones ecológicas. En esta clasificación se conservan los grupos en clavicipitáceos y no clavicipitáceos, y este último se divide en tres clases (Cuadro 2). Los clavicipitáceos son los endófitos que colonizan los pastos, mientras que los no clavicipitáceos colonizan las plantas no vasculares, helechos, coníferas y angiospermas.

**Cuadro 2. Grupos y clases de hongos endófitos**

CRITERIO	CLAVICIPITACEOS
Rango de hospederos	CLASE 1 Reducido
Tejidos que colonizan	Tallo y rizomas
Colonización <i>in planta</i>	Extensiva
Biodiversidad <i>in planta</i>	Baja
Transmisión*	Vertical y horizontal
Función ecológica	Incrementan la biomasa de la planta, confieren tolerancia a la sequía y producen metabolitos secundarios tóxicos para los herbívoros

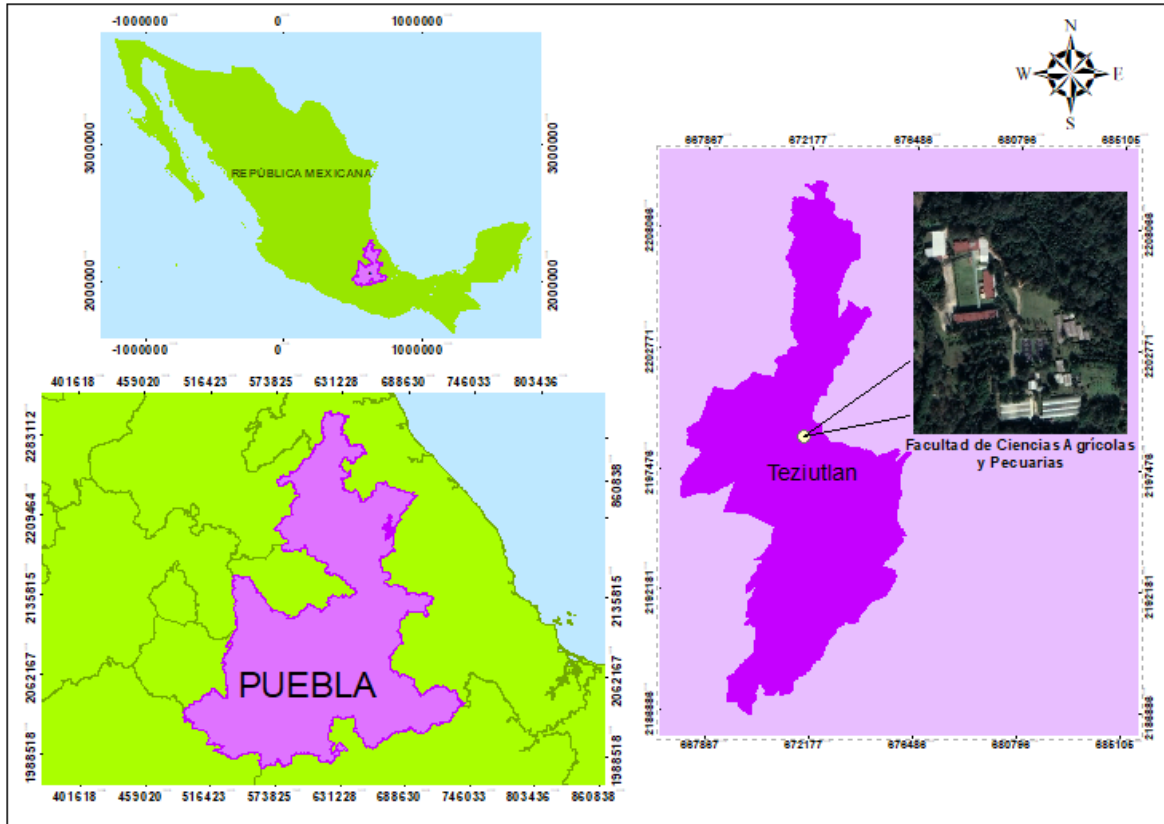
	NO	CLAVICIPITACEOS	
	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
	Extenso	Extenso	Extenso
	Tallo, hojas y rizomas	Tallo, hojas, corteza, flores, frutos	Raíces
	Limitada		
	Extensiva	Alta	Extensiva
	Baja	Horizontal	Desconocida
	Vertical y horizontal		Horizontal
	Incrementa la biomasa de la planta, confieren tolerancia al estrés biótico y abiótico y protegen contra los hongos patógenos por acción de los metabolitos secundarios	Inducen resistencia a las enfermedades, protección contra los herbívoros y modifican la sensibilidad al estrés abiótico mediante la producción de los metabolitos secundarios	Inhiben el crecimiento de patógenos y producen metabolitos secundarios tóxicos para los herbívoros

Rodríguez *et al.*, (2009).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización del experimento

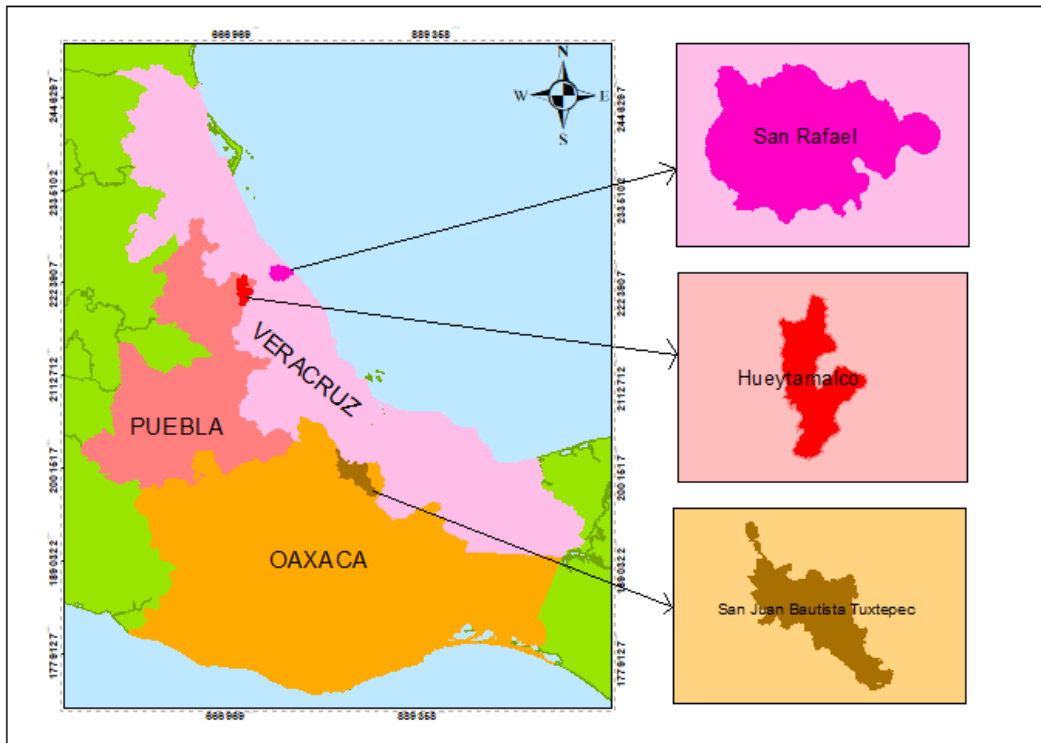
El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de usos Múltiples de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (BUAP), en San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, ubicada a  $19^{\circ}52'31''$  latitud norte y  $92^{\circ}22'02''$  longitud oeste (Figura 1).



**Figura 1. Localización de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**

### 5.2 Muestreo de suelo y raíz de plátano en diferentes localidades de los estados Oaxaca, Veracruz y Puebla

Las muestras fueron extraídas de los estados de Oaxaca en el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec, en el estado de Veracruz en el municipio de San Rafael y en el estado de Puebla en el municipio de Hueytamalco (Figura 2).



**Figura 2. Localización del municipio San Juan Bautista Tuxtepec, San Rafael, y Hueytamalco en los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla respectivamente**

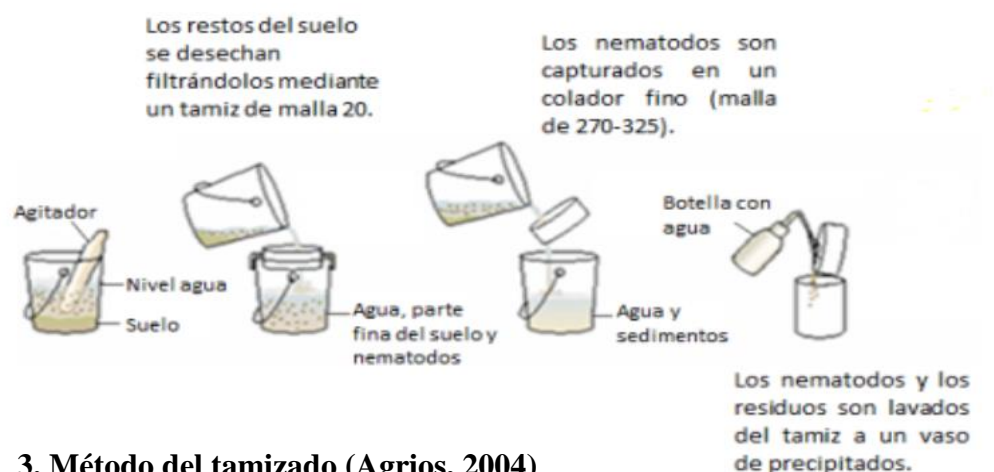
Se tomó un total de 54 muestras de raíz de plátano, 15 en el estado de Oaxaca, 20 en Puebla, y 19 en Veracruz, todas fueron tomadas en los meses de febrero y mayo del año 2021. Cada muestra se conformó por 200 gramos de suelo con más de 5 raíces por planta la cual tuvo una altura de 1 a 1.5 metros. Las muestras fueron colectadas con una pala, con la cual se abrió un hueco en la base de la planta para extraer su raíz principal y parte de suelo que fue colocado en bolsas siplox de 10 x 10 cm. Cada muestra fue etiquetada con la ubicación de GPS, la localidad, además de la variedad de plátano muestreada, y cada vez que se usó la pala para tomar una muestra ésta se lavó con agua y se asperjó con alcohol. En cada parcela se tomó un promedio de 5 muestras según el cuadro siguiente (Cuadro 3) una en cada esquina y una en el centro de cada parcela en caso del muestreo en cultivos con variedades de plantas homogéneas, en caso de cultivos con variedades de plantas heterogéneas como es el caso de plátano manzano el muestreo fue dirigido a las plantas existentes.

**Cuadro 3. Origen y número de muestras de suelo en diferentes variedades de plátano en localidades de los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla**

Estado	Localidad	Ubicación	Variedad	Total de muestras de raíz con suelo
<b>Oaxaca</b> (Mpio. Tuxtepec)	Papaloapan	18.901400 -96.600990	Manzano	5
	Sta. Teresa	18.088900 -96.111411	Manzano	5
	San Rafael	18.801910 -96.601220	Manzano	5
<b>Veracruz</b> (San Rafaél)	El Pital		Enano gigante	5
	El Pital	20.154665	Manzano	4
	El Pital	-96.894102	Macho chifle	5
	El Pital		Macho papaloapan	5
<b>Puebla</b> (Hueytamalco)	Zompanico		Dominico	1
	Zompanico	20.007250	Manzano	3
	Zompanico	-97.348500	Morado	1
	Zompanico		Tabasco criollo	1
	Zompanico		Morado	1
	Zompanico		Manzano	1
	Zompanico		Tabasco	1
	Zompanico		Dominico	1
	Zompanico		Morado	5
	Zompanico		Morado	3
Zompanico		Macho	2	

Todas las muestras se colocaron en hieleras de unicel con refrigerante y se enviaron al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias para su análisis.

### 5.3 Análisis de muestras de suelo de raíz de diferentes estados y variedades de plátano para localizar nematodos

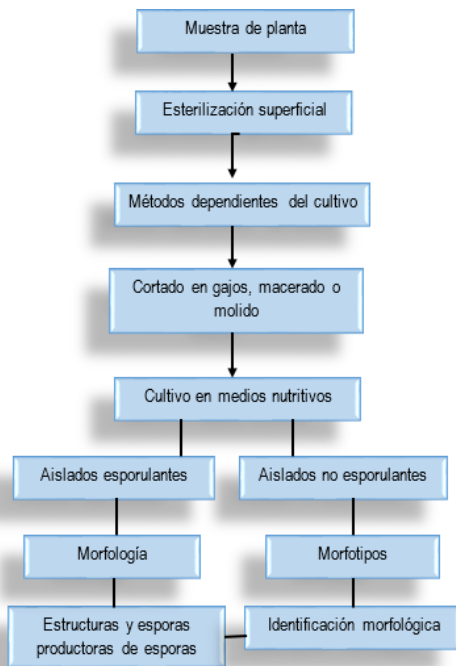


**Figura 3. Método del tamizado (Agrios, 2004)**

Para realizar el aislamiento de nematodos del suelo se siguió la técnica de tamizada descrita por Agrios (2004), y de cada muestra se tomaron 200 g de suelo que fueron colocados en una charola de aluminio de 30 x 15 cm y se mezclaron, posteriormente se les agregó 1.5 L de agua y nuevamente se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea la cual fue pasada por un tamiz de 14 mallas (14 orificios por pulgada cuadrada) que retuvo los residuos de gran tamaño pero permitió el paso de los nematodos con algunos residuos de menor tamaño, esta mezcla fue colectada en un recipiente vacío y posteriormente se pasó por un tamiz de 40 mallas (Figura 3.) el cual retuvo residuos de gran tamaño pero dejó pasar los nematodos con residuos de menor tamaño que a su vez se pasaron a través de un tamiz de 200 mallas la cual retuvo los nematodos, los cuales fueron retirados de la superficie del tamiz haciendo de 4 a 5 lavados con agua destilada de una pizeta, el agua generada de cada lavado y que arrastró los nematodos fue colectada en frascos de 30 mL con agua desionizada para su posterior identificación. Todos los tamices fueron lavados de 2 a 3 veces después de su uso con el objetivo de remover los residuos que pudieran alterar los resultados.

#### **5.4 Análisis de raíz de diferentes variedades de plátano y maleza para detección de hongos endófitos en los diferentes estados**

Para el análisis de las raíces se siguió el esquema de la figura 4, para lo cual, primero se lavaron las raíces y se les realizó 3 cortes longitudinales de 1 a 2 mm de grosor los cuales fueron colocados en portaobjetos con azul de lactofenol de acuerdo con el método de Subhashini *et al.*, (2016) para su posterior observación en un microscopio compuesto y electrónico y detectar la presencia de hongos endófitos. De las muestras observadas anteriormente con presencia de hongos, se realizaron 5 trozos de 3x0.5 cm cuadrados aproximadamente, se lavaron con hipoclorito de sodio al 1% por 1 minuto, se enjuagaron con agua estéril y se secaron con sanitas estériles, posteriormente se colocaron sobre medio de cultivo ADS contenido en cajas Petri, todo se realizó en condiciones estériles. Las cajas se incubaron a 28 ° C por 72 horas, y se esperó a observar crecimiento externo de los trozos de raíz. El crecimiento observado se aisló en medio ADS nuevo para su identificación morfológica.



**Figura 4. Esquema de la ruta de investigación para análisis de hongos endófitos**

### 5.5 Caracterización morfológica.

Para la caracterización se empleó la forma de crecimiento, así como la tonalidad de las colonias de los microorganismos en el medio de cultivo PDA. Además, se realizaron observaciones en microscopio compuesto para lo cual se colocaban trozos pequeños de hongos sobre un portaobjetos y se cubría con un cubre objetos. En la muestra se describió la forma y tipo de micelio, así como la forma y tipo de esporas presentes. La caracterización de cada género se llevó a cabo con ayuda de claves taxonómicas de identificación descritas por Barnett y Hunter (1998).

### 5.6 Variables a evaluar

- Cantidad de especies de hongos antagonistas a nematodos y endófitos de raíz de plátano dependiendo de la variedad.
- Cantidad de especies de hongos antagonistas a nematodos y endófitos de raíz de plátano dependiendo del lugar.
- Relación entre cantidad de especies de hongos presentes por región y número de nematodos presentes.

## 5.7 Análisis estadístico

Para estimar la distribución de las especies de hongos, se cuantifico la presencia de cada una de ellas en cada variedad y cada estado. La frecuencia relativa se calculó usando la fórmula (Krebs, 1993).

$$\text{Frecuencia relativa.} = \frac{\text{frecuencia de la especie}}{\text{\(\Sigma\) valores de frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

Frecuencia de la especie x = frecuencia absoluta obtenida en los muestreos de cada sitio.

Posteriormente se generará el índice de abundancia usando la fórmula:

$$\text{IASpp.} = \frac{\text{\(\Sigma\) frecuencias relativas}}{\text{número total de sitios muestreados}}$$

IASpp. = índice de abundancia de cada una de las especies identificadas.

Con estos datos, se generaron gráficas de distribución y de abundancia de las principales especies de hongos.

También se calculó la riqueza de las especies.

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Donde:

S = riqueza de especies; Pi = Proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos; ni = número de individuos de la especie i.

$$Bw = \frac{S}{S}$$

Donde:

S = Riqueza de especies y S = Promedio de la riqueza de cada sitio

Para determinar la relación de las variables; presencia de hongos endófitos de raíz y antagonistas a nematodos, variedad de plátano, lugar (Estado de la república muestreado) con la distribución y abundancia de individuos de *Radophulus similis* se realizó una regresión bivariada con el paquete estadístico R versión 4.0.

## VI.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Identificación morfológica de hongos antagonistas de nematodos y benéficos endófitos de raíz de plátano

Se caracterizó un total de 18 aislados (Cuadro 4.) los cuales fueron de extraídos del interior de la raíz de plantas de plátano (Figura 7) y de los cuales 8 presentaron características del género *Trichoderma*, 8 características de género *Fusarium* y 2 características del género *Glomus* de acuerdo a la metodología descrita por Sun y Guo (2012).

**Cuadro 4. Caracterización de hongo por género**

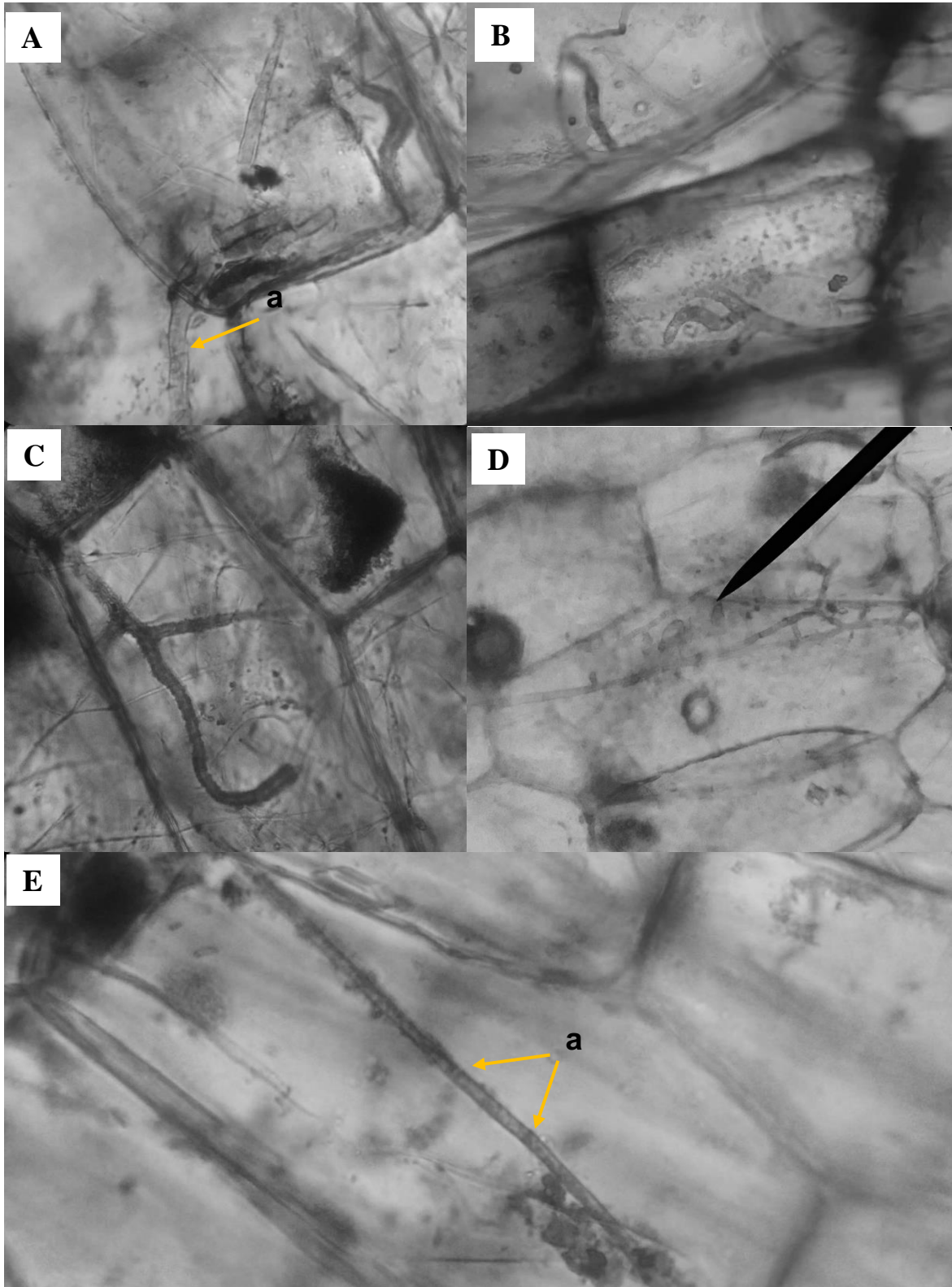
<b>Aislado</b>	<b>Colonia en medio ADS</b>	<b>Tipo de micelio</b>	<b>Conidióforos</b>	<b>Fialide</b>	<b>Género</b>
<b>V I.5.2</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>V III.3</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>V IV.2.1</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>V IV.2.3</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>V IV.3.2</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>V IV.5.1</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>O I.2.2</b>	Amarillo	Elevado sobre el medio y liso			<i>Glomus</i>
<b>O I.3.1</b>	Blanco con contorno rosado	Elevado sobre el medio y septado	Simple	Corto y ancho	<i>Fusarium</i>
<b>O I.3.2</b>	Verde oscuro	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>

---

			medio y septado			
<b>O II.3.1</b>	Beige		Elevado sobre el medio y liso			<i>Glomus</i>
<b>O II.4.2</b>	Verde oscuro		Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto	<i>Trichoderma</i>
<b>O III.2.1</b>	Blanco con contorno rosado	con	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Largo y delgado	<i>Fusarium</i>
<b>O III.2.2</b>	Rosa con halos blancos		Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Largo y delgado	<i>Fusarium</i>
<b>P II.3.1</b>	Blanco		Elevado sobre el medio y septado	Simple	Largo y delgado	<i>Fusarium</i>
<b>P II.3.2</b>	Marrón con tonalidades naranja	con	Elevado sobre el medio y septado	Simple	Largo y delgado	<i>Fusarium</i>
<b>P III.5</b>	Marrón con tonalidades naranja	con	Elevado sobre el medio y septado	Ramificado	Corto con esporas	<i>Fusarium</i>
<b>P IV.5.1</b>	Blanco		Elevado sobre el medio y septado	Simple	Corto con esporas	<i>Fusarium</i>
<b>P IV.5.2</b>	Blanco		Elevado sobre el medio y septado	Simple	Corto y ancha	<i>Fusarium</i>

---

Todos los hongos aislados obtenidos en medio de cultivo fueron visualizados previamente dentro del tejido (Figura 5) para corroborar que se estaba aislando micelio endófito. En algunas muestras de tejido de raíz se observó micelio septado (Figura 5Aa y 5Ea), en algunos sólo se observó micelio ramificado dentro del tejido celular (Figura 5B, C y D), algunos micelios se observaron más gruesos que en otros.



**Figura 5. Micelio observado internamente en el tejido de raíz. Aa y Ea Hifas de micelio**

### **6.1.1 Descripción morfológica del genero *Trichoderma***

Son hongos imperfectos con micelio septado (Figura 6Cc), sus conidióforos son distintos aunque cortos o reducidos a clavijas en algunos géneros, se encuentran separados y no están agrupados de ninguna manera (Figura 6Ee), están ramificados o con un grupo de ramas o fialides cerca o en el ápice de manera irregular, no verticales (Figura 6Tt); los conidios son típicamente unicelulares o parcialmente bicelulares, no permanecen en cadenas y están ramos pequeños juntos por el limo (Figura 6Vv). Las características en las que se basó la clave taxonómica concuerdan con las descritas por Barnett y Hunter (1998).

### **6.1.2 Descripción morfológica del genero *Fusarium***

Estos son hongos con micelio septado (Figura 7Ee), sus conidióforos son cortos y distintos (Figura 7Hh), hialinos ramificados o simples reducidos a clavijas; los conidios suelen tener más de tres células aunque a veces varía (Figura 7Xx), son frágmosporos con paredes transversales pero no oblicuas sin apéndices y son típicamente más grandes (Figura 7), en forma de canoa (Figura 7Xx) (Barnett y Hunter, 1998).

### **6.1.3 Descripción morfológica del genero *Glomus***

La taxonomía de los hongos en los Glomales es fundada principalmente en la estructura de sus esporas o esporocarpos (Figura 8E). La morfología de las esporas está genéticamente desconectada de otros quizás más plásticos aspectos de estos hongos (Walker, 1992). La aparente simplicidad de la estructura de las esporas puede parecer ser una barrera para crear una taxonomía viable.

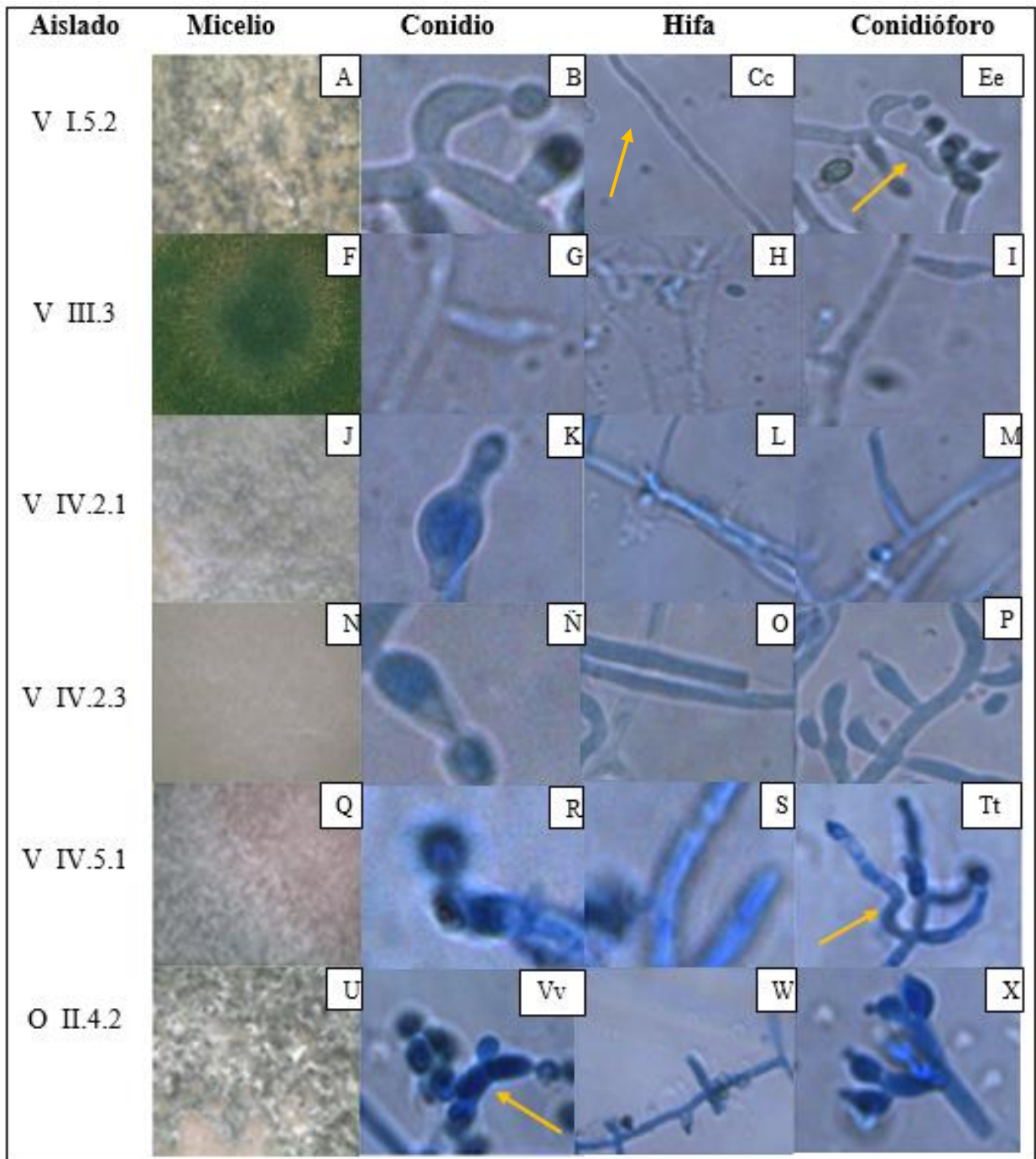


Figura 6. Características del género *Trichoderma*, Cc Hifas de micelio septado, Ee conidióforos distintos reducidos a clavijas, Tt conidióforos ramificados irregularmente y Vv conidios en ramos

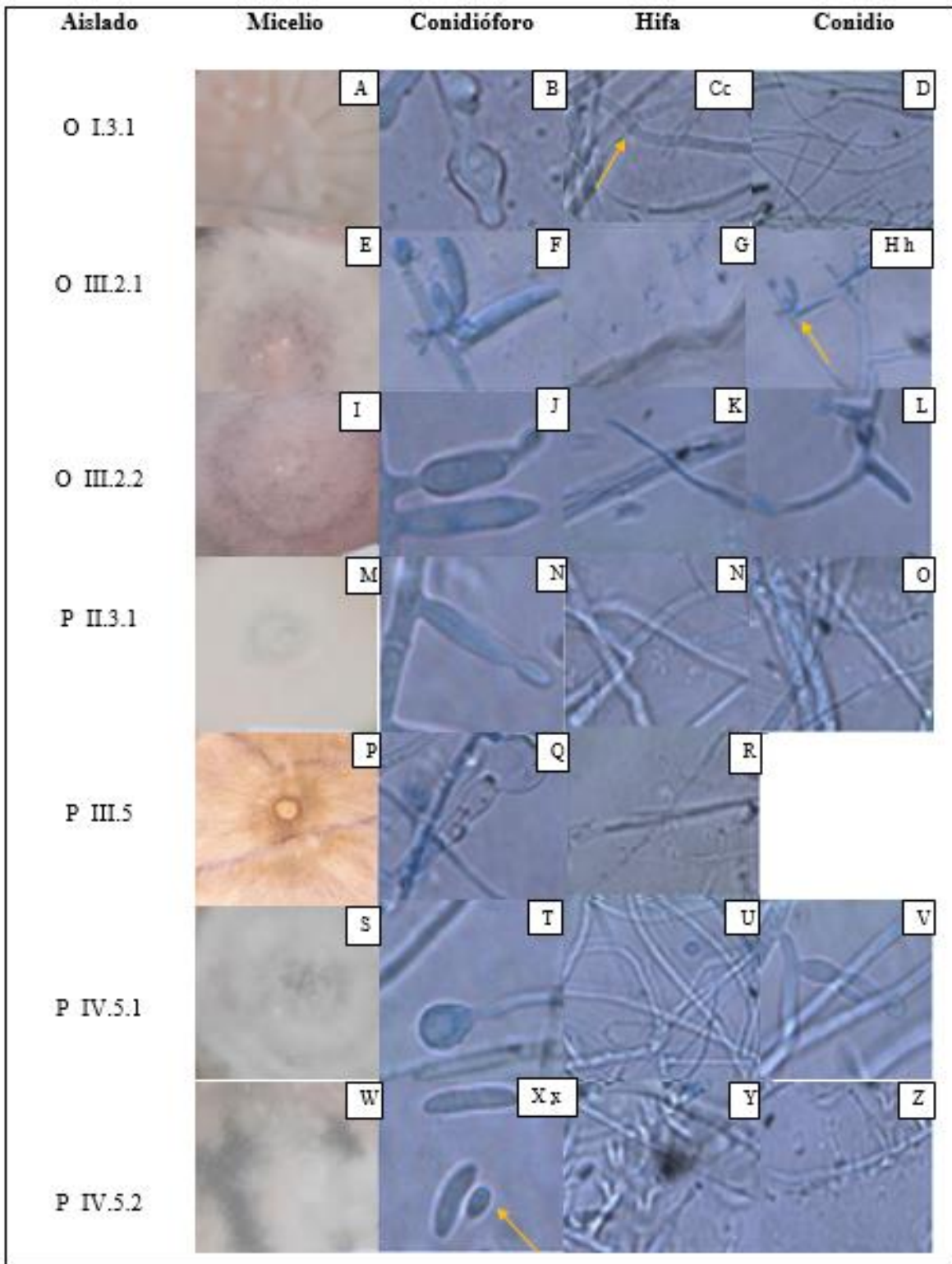
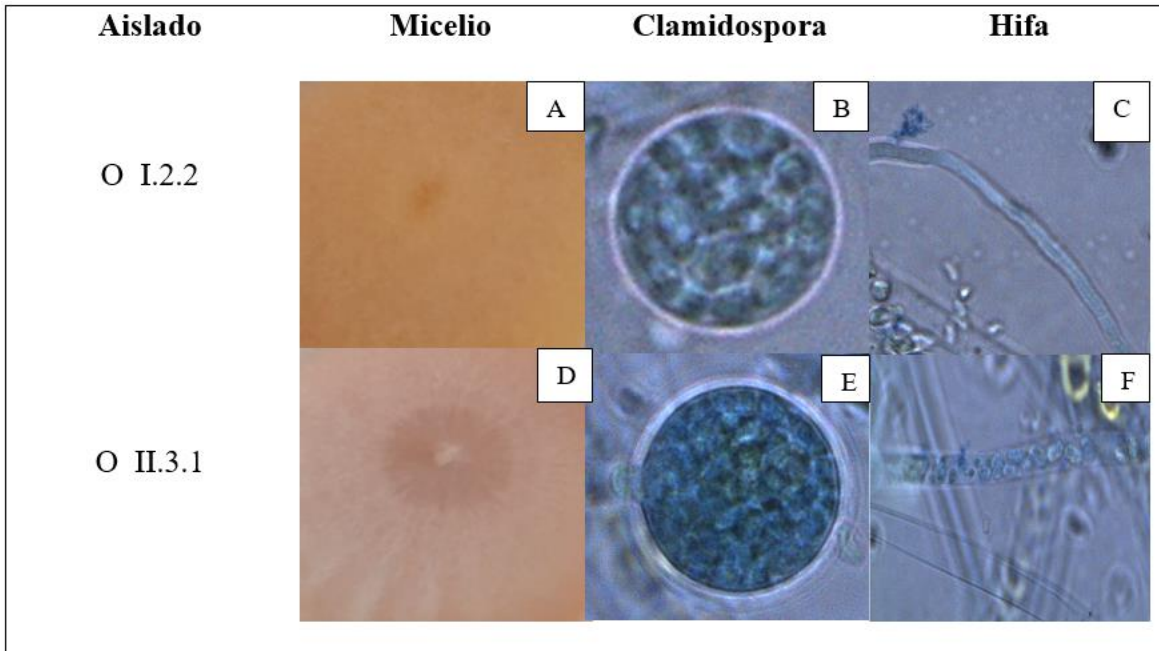


Figura 7. Características del género *Fusarium*, Cc Hifas de micelio septado, Hh conidióforos cortos, Xx conidios

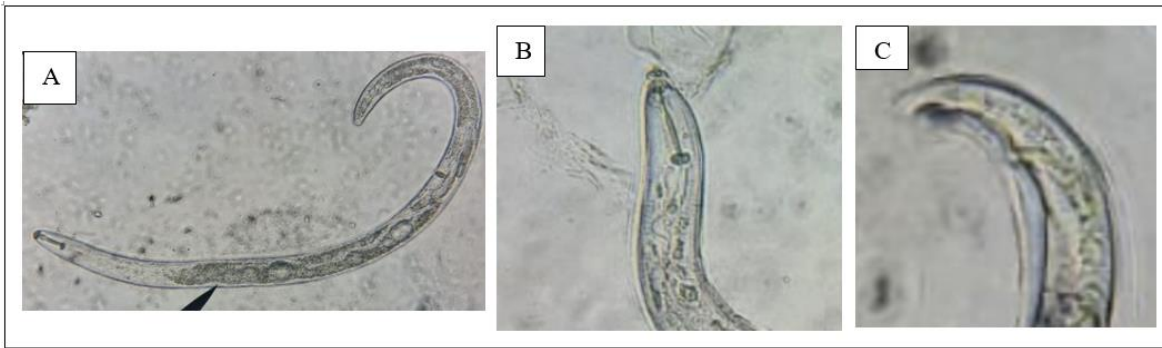


**Figura 8. Características del género *Glomus*, A-D Micelio, B-E clamidospora y C-F hifa**

## 6.2 Identificación morfológica de *Radopholus similis* en raíz de plátano

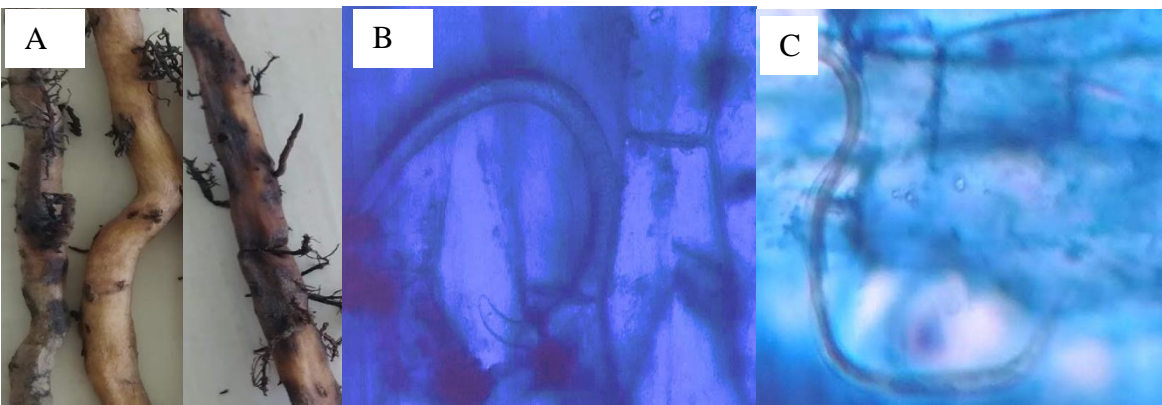
Los nematodos encontrados tuvieron el cuerpo sin segmentos y más o menos transparentes (Figura 9A), cubiertos de una cutícula hialina, marcada por estrías u otras marcas, fueron redondos en sección transversal, con boca y sin extremidades, muchos parecidos a lombrices o con forma de anguila.

Así mismo, según Luc *et al.* (2005), el género de nematodo fitoparásito, tienen en la región anterior un órgano de alimentación llamado estilete (Figura 9B), que en algunas especies puede ser modificado. El estilete es usado para perforar o penetrar las células de las raíces y el cormo u otros órganos como tallos, hojas y frutos, y a través de él extraen los nutrientes de las plantas hospedantes, causando enfermedades, también se pudieron ver nematodos de sexo masculino que presentaron una espícula casi al terminar la cola (Figura 9C) a diferencia de las hembras que no presentaron este órgano (Agrios, 2004).



**Figura 9. Características de *Radopholus similis*. B Estilete. C Espícula**

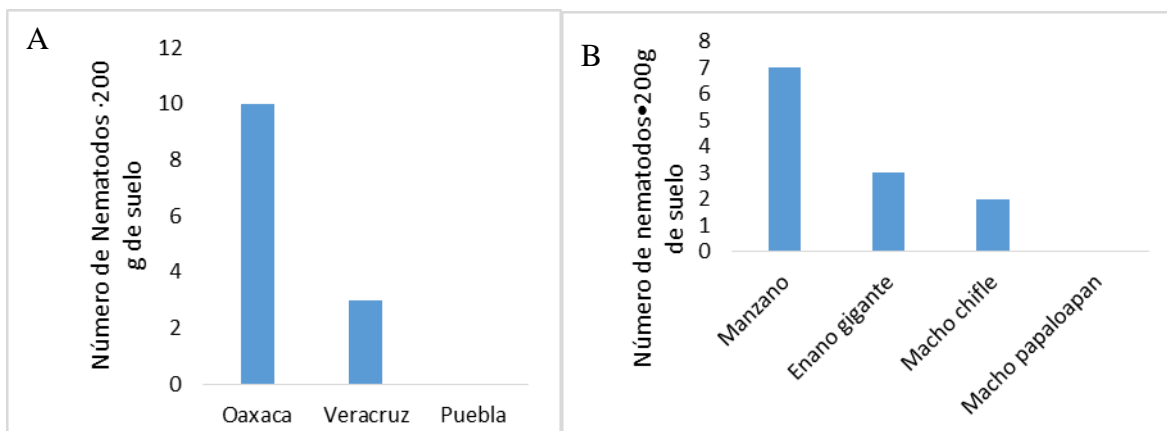
La cabeza de las hembras un poco más redondeada y más delgada en contorno con el cuerpo. En general la cabeza de los machos en forma de botón con una constricción (Figura 9 B) estas características concuerdan con las descritas por Roi *et al.*, (2018) para *Radophullus similis*. Así mismo los nematodos con estas características se observaron también dentro del tejido de algunas muestras de raíz (Figura 10 B y C) por lo que se confirma la existencia de *R. similis* en muestras de plátano en raíces de plantas de plátano.



**Figura 10. Nematodos con características de *Radopholus similis* dentro de la raíz. A**

**daño en raíz por nematodos. B y C Presencia de nematodo dentro del tejido**

La cuantificación de estos nematodos por cada 200g de suelo mostró mayor presencia de éstos en Oaxaca Figura 13A a diferencia del estado de Puebla. Así mismo cuando se hizo la cuantificación por variedad se observó que la variedad manzano presentó mayor cantidad, estos resultados podrían entenderse como la existencia de afinidad de los nematodos por el lugar de origen y por la variedad, sin embargo Agrios (2004) menciona que no se ha encontrado dicha afinidad de esta especie por algunas variedades de plantas.



**Figura 11. Presencia de Nematodos con características de *Radopholus similis***

**obtenidos por cada 200g de suelo. A Presencia por estado. B Presencia por variedad**

### **6.3 Abundancia y distribución de géneros de hongos benéficos endófitos en raíz y antagonistas a nematodos de plátano con respecto a su origen**

De los tres géneros encontrados dos presentaron igual índice de abundancia (Figura 13) y *Glomus* fue el género que tuvo menor índice de abundancia. La presencia de *Trichoderma* y *Fusarium* en raíces de plantas de plátano es común (Hernández-Domínguez *et al.*, 2019) sin embargo, la ausencia en este estudio de una buena asociación simbiótica entre *Glomus* con las plantas de plátano difiere de los estudios realizados por Jaramillo y Rivillas (2001) quienes encontraron colonizaciones superiores al 80% en raíces de plantas de plátano con este género. Por otra parte en el estado de Oaxaca se observó la mayor abundancia de géneros de hongos dicha abundancia están asociada a características del suelo tales como pH, cantidad de materia orgánica presente, diversidad de malezas presentes (Yang *et al.*, 2012) sin embargo en este estudio no se analizaron estas características del suelo.

IAgénero = índice de abundancia de cada uno de los géneros identificados.

IAgénero de *Trichoderma* =  $8/19 = 0.4210$

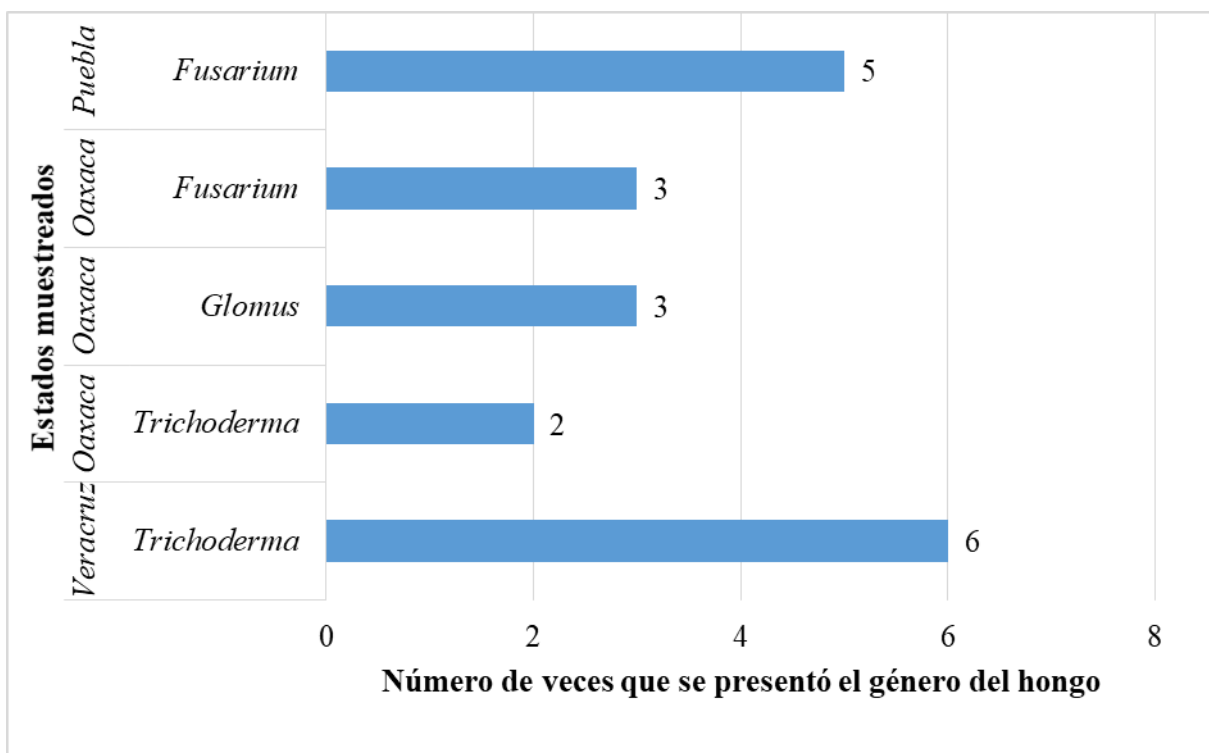
AIAgénero de *Fusarium* =  $8/19 = 0.4210$

IAgénero de *Glomus* =  $3 / 19 = 0.1578$

**Cuadro 5. Índices de abundancia de los géneros de hongos encontrados en tres estados muestreados**

<b>Hongo aislado</b>	<b>IAgénero</b>	<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Punto GPS</b>
<i>Trichoderma</i>	0.4210	Veracruz, Oaxaca	8	20,154665, -96.89412
<i>Glomus</i>	0.1578	Oaxaca	2	18,9.1400, -96,6.0990
<i>Fusarium</i>	0.4210	Oaxaca, Puebla	8	18,9.1850, -96,6.1120

En general, se detectaron tres géneros de hongos endófitos de raíz de plantas de plátano de distintas variedades y el estado dónde se encontró mayor cantidad de géneros de hongos endófitos fue Oaxaca (Figura 12). Los géneros más ampliamente distribuidos dentro de la raíz fueron *Fusarium* y *Trichoderma*, el género *Glomus* se presentó con menor frecuencia (Figura 12). De acuerdo con Hernández- Domínguez *et al.*, (2019) los factores de precipitación, temperatura y radiación solar, así como la disturbancia de la estructura del suelo por labores culturales influyen en la diversidad de estas dos especies de hongos, de esta manera ellos encontraron que cuando la temperatura, precipitación y radiación solar fue mayor la cantidad de esporas encontradas en el suelo disminuyó, así mismo cuando a la parcela se le realizaron labores de cultivo como deshierbe y remoción de suelo la cantidad de esporas también disminuyó. Por otra parte en el género *Trichoderma* se ha encontrado una amplia diversidad en suelo ya que es una especie que ha sido capaz de adaptarse a distintos ambientes (Du Plessis *et al.*, 2018).



**Figura 12. Distribución de géneros de hongos al cuantificar su presencia por estado muestreado**

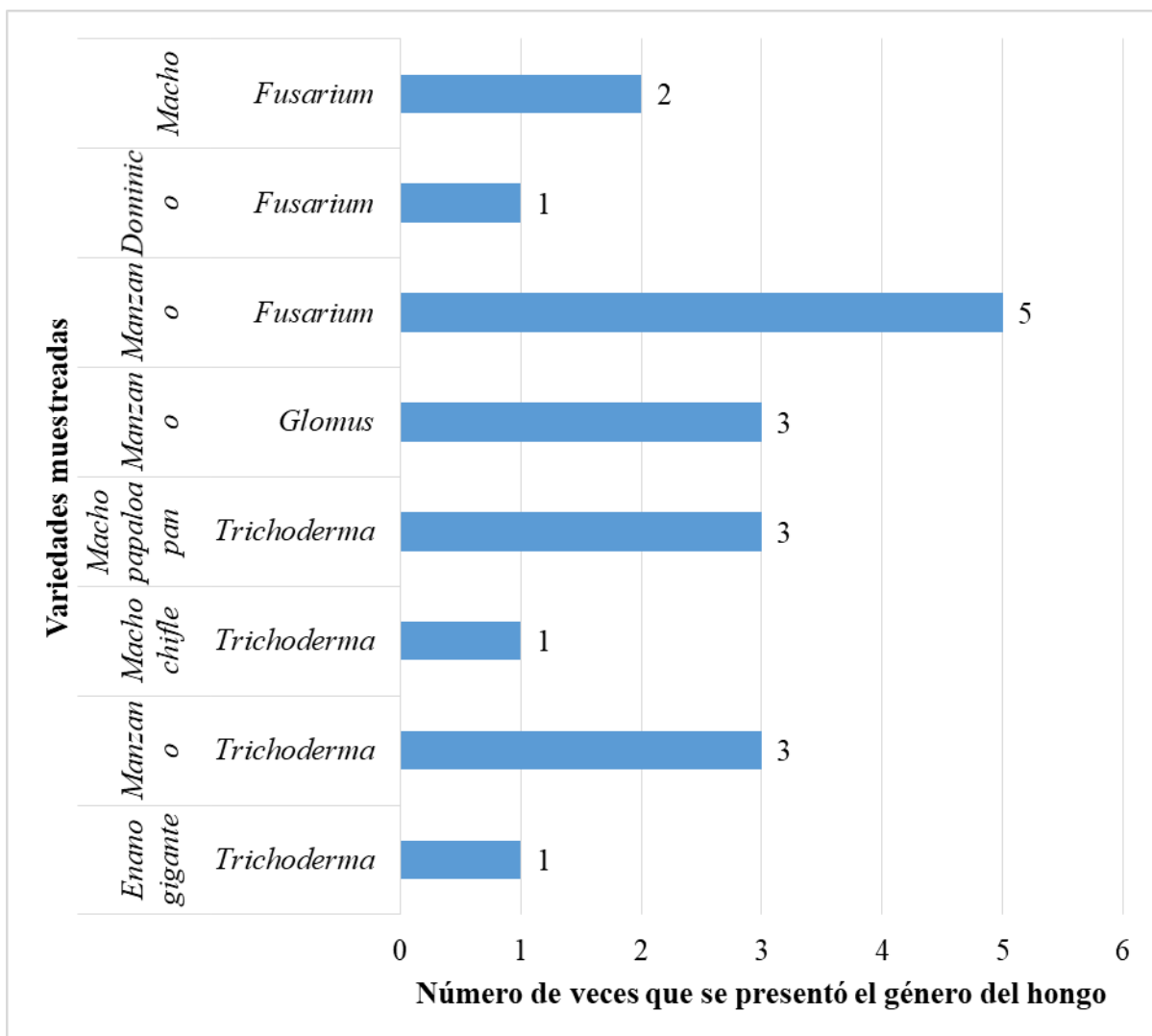
De éstos tres géneros identificados en este estudio solo *Trichoderma* se ha reportado que presenta especies virulentas a nematodos como lo es *Trichoderma viridae* la cual se ha reportado atacando a *Radophulus similis* (Thammaiah, 2019).

#### 6.4 Abundancia y distribución de hongos benéficos endófitos y antagonistas a nematodos asociados a raíz de plátano de diferentes variedades

**Cuadro 6. Índices de abundancia de los géneros de hongos encontrados en diferentes variedades muestreadas**

Género de hongo aislado	IA género	Variedad
<i>Trichoderma</i>	0.4210	Enano gigante, manzano, macho chifle, macho papaloapan
<i>Glomus</i>	0.1578	Manzano
<i>Fusarium</i>	0.4210	Manzano, dominico, macho

La mayor abundancia la presentaron los géneros *Trichoderma* y *Fusarium*, sin embargo, el primero se encuentra mayormente distribuido en más variedades, es decir lo podemos encontrar de manera endófito al muestrear cualquier variedad de las que se mencionan en la gráfica de la figura 13. De acuerdo con Zum, (2002) quien aisló hongos endófitos de cuatro plantas de banano de Guatemala, encontró que *Fusarium* y *Trichoderma* spp. fueron los endófitos más comúnmente encontrados, probablemente por su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas y a hábitats donde los hongos le permiten sobrevivir en diferentes suelos y asociarse a diferentes variedades (Silvia *et al.*, 2013).



**Figura 13. Distribución de géneros de hongos al cuantificar su presencia por variedad muestreada**

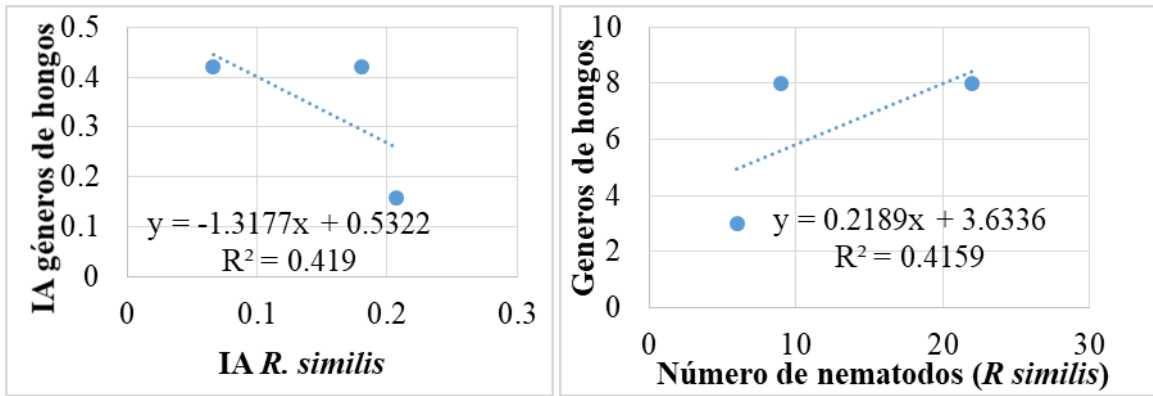
También en la gráfica 11 se puede observar que la variedad manzano es la que tiene asociada a su raíz mayor cantidad de géneros de hongo a diferencia de las demás variedades. De acuerdo con Xiaomi *et al.* (2010) indican que los nichos y la estructura genética de las poblaciones de *Trichoderma* endófito se han relacionado con la diferencias en microambientes de la superficie y el interior de las raíces, este fenómeno es respaldado con el hecho de que estas Trichodermas tienen una mayor conservación genética y son compatibles con microambientes relativamente estables dentro de las raíces, lo que podría ser un factor por el cual esta variedad de plátano tuvo mayor diversidad de géneros de hongos presentes.

### **6.5 Relación entre la abundancia y distribución de géneros de hongo antagonistas y presencia de *Radopholus similis***

Para determinar la correlación entre las variables índice de abundancia de géneros de hongos con el índice de abundancia *R. similis* se determinó el coeficiente de correlación, el cual fue de -0.6473312, mientras que  $R^2 = \text{Coeficiente de determinación} = 0.419$ , lo que indica una correlación inversa, es decir; una correlación negativa la cual es una relación contradictoria entre estas dos variables, de modo que el valor del índice de abundancia de géneros de hongos (IA géneros de hongos) es probablemente bajo cuando el valor de índice de abundancia de *R. similis* (IA *R. similis*) es alto. Además es evidente que el valor -0.6473312 no representa una fuerte relación por que no se acerca a 1, así mismo esto no implica que un comportamiento tenga alguna influencia causal sobre el otro.

Lo mismo sucede entre la relación de géneros de hongos y número de nematodos (*R. similis*), donde el índice de correlación fue de 0.644902022 (Figura 14 A), mientras que el índice de determinación fue de 0.415898618 (Figura 14 B).

Los géneros de hongos aislados no presentaban virulencia para *Radophulus similis*, por eso no existe una relación de asociación entre ambos.



**Figura 14. Relación entre índice de abundancia de hongos con el índice de abundancia de *R. similis* (A). Relación entre la distribución de los géneros de hongos con la distribución de nematodos**

## VII. CONCLUSIONES

Se concluye que la abundancia y distribución de *Radopholus similis* no se determinó por la presencia de los hongos endófitos encontrados en las diferentes variedades muestreadas ya que el valor obtenido en ambos no presenta relación.

*Rhadopholus similis* es una especie de rápida reproducción que se puede localizar en las distintas variedades de plátano, con un cuerpo sin segmentos y de color casi transparente con boca y sin extremidades.

Los hongos endófitos antagonistas a nematodos (*Radopholus similis*) presentes en la raíz de las diferentes variedades de plátano (*Musa sp*) fueron *Trichoderma*, *Fusarium* y *Glomus*.

Con respecto a los estados muestreados Oaxaca presentó la mayor diversidad de géneros de hongos endófitos.

En las variedades de plátano muestreadas la que contó con mayor presencia de hongos endófitos fue el manzano.

En recopilación de datos *Trichoderma* y *Fusarium* fueron los géneros de hongos endófitos con mayor presencia en los estados de Veracruz y Puebla respectivamente, siendo *Glomus* el género con menor índice.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. 2004. Fitopatología; 4ª edición; Edit, Limusa; México, pp. 809.
- Aranzazu Hernández y Castrillón Arias. 2001. Enfermedades del cultivo de plátano y su manejo integrado. En: González C., Arévalo E., Díaz A., Galindo R., Manejo fitosanitario del plátano. pp 48.
- Araya, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. En Rivas, G., y Rosales, F. (eds.), Manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. pp. 79-102.
- Barnett H.L. y Hunter B. Barry. 1998. Ilustred genera of imperfect fungi. 4ta edición. p 234.
- Brenes- Gamboa. 2017. Parámetros de producción y calidad de cultivares de banano FHIA-17, FHIA-25 y Yangambi. *SCielo*. 28(3):719-733.
- Castrillón Arias. 2003. Manejo integrado de nematodos del plátano y banano. Manizales. Socolen. Resumen Bogotá. D.C. p 65.
- Cobb, N. A. (1892). Banana disease in Fiji. *Bull. Misc. Info., Royal Gardens, Kew* (London). pp 48-49.
- Damián, G. J. 2016. Manejo Integrado de Nematodos en la Agricultura Protegida. Sesión del Quinto Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Intagri-Universidad de Almería. Gto., México.
- Du Plessis Ihan L, Druzhinina Irina, Lea Atanasova, Yarden Oded y Jacobs Karin. 2018. The diversity of *Trichoderma* species from soil in South Africa, with five new additions. *Mycologia*. 10:1-25.
- FAO. 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1193662/> Consultado 05/02/ 2021.
- Galván, S, V. 1992. Los Frutales Tropicales en los Subtropicales, Plátano. *Mundi-Prensa*. España. 27:16.
- Gamboa-Gaitán Ma, Fetcher N, Wen S, Bayman P. 2005 Effects of Fungicides on Endophytic Fungi and Photosynthesis in Seedlings of a Tropical Tree, *Guarea guidonia* (Meliaceae). *Acta biol Colomb*. 10 (2):41-47.

- Gowen Simon y Quénéhervé Patrick. 2017. Nematode parasites of bananas, plantains and abaca. Department of Agriculture. 12(5): 431-537.
- Guzmán Piedrahita, Oscar Adrián. 2011. El nematodo barrenador (*Radopholus similis* [COBB] THORE) del banano y plátano, Luna Azul ISSN 1909-2474. No.33.
- Haishui Yang, Yangyang Zang, Yongge Yuan, Jianjun Tang y Xin Chen. 2012. Selective by host plants affects the distribution of arbuscular mycorrhizal fungus: evidence from ITS rDNA sequence metadata. BioMed Central. 12(50):1-13.
- Hernández-Domínguez Carmela, Vázquez Benites José Andrés, Vázquez Moreno Fabián, Berdeja Arbeu Raúl, Morales Fernández Sigfrido David y Reyes López Delfino. 2019. Abundance and genetic diversity of *Fusarium oxysporum* and *Trichoderma* sp. In muse AAB. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(8): 1783-1796.
- INTAGRI. 2017. Control de Nematodos desde una Perspectiva Integral. Serie Fitosanidad Núm. 91. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/control-de-nematodos-desde-una-perspectiva-integral>
- INTAGRI. 2020. Tipos de Plátanos en México. Serie Frutales, Núm. 68. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/tipos-de-platano-en-mexico>
- Jaramillo M. M. y Rivillas C. A. 2001. Efecto de *Glomus manihotis* y *Glomus fitosum* en el manejo de nematodos fitopatógenos en plantas propagadas de plátano y banano en Colombia. En: Memorias 22 Congreso de la Asociación de Medellín Colombia. 22:23.
- Krebs, C.K., 1993. "Factors that limit distributions: Dispersal". In Ecology, C. K. Krebs. John Wiley and Sons. p. 41-56.
- Luc, M., Sikora, R.A. y Bridge, J. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2nd Edition. CABI Publishing.
- Manzanilla, L, R y Marban, M, N. 2012. Biology and host-parasite interactions. Ed. Colegio de Posgraduados, Practical Plant Nematology, 1ª Edición.
- Navarro G. M. 2016. Manejo Integrado de Nematodos en Cultivos Hortícolas. FMC. Guadalajara, Jalisco, México. 186 p.

- Robinson C. John y Galán Saucó Víctor. 2012. Plátanos y Bananas. Ediciones Mundiprensa. 2da edición. España. 299p.
- Rodríguez, R., White, J., Arnol, A.E. & Redman, R. 2009. Fungal endophytes: Diversity and ecological roles. *New Phytol.* 182, 314-330.
- Rosa, L.H. et al. In *Drug Development. A case study based insight into modern strategies* ed. Rundfeldt, C. 1-18.
- Rosas-Hernández Leonel, Ramírez-Suárez Ángel, Alcasio-Rangel Salomé y Morales-Galván. 2020. Diagnóstico y análisis filogenético del nematodo barrenador *Radopholus similis* en plátano (*Musa paradisiaca* L.). Laboratorio de Nematología “Dr. Carlos Sosa-Moss”. Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal. SENASICA-SAGARPA.
- Roy S., Roy K., Sarkar S., Rathod A., Hore J. 2018. Intra-specific morphological and morphometric variability of *Radopholus similis* (Coob, 1893) Thorne 1949. *Applied and Natural Science Foundation.* 10(3): 841-846.
- Sánchez-Fernández Rosa Elvira, Sánchez-Ortiz Brenda Lorena, Sandoval-Espinosa Yunueth Karina Monserrat, Ulloa-Benítez Álvaro, Armendáriz-Guillén Beatriz, García-Méndez Marbella Claudia y Macías-Rubalcava Martha Lydia. 201. Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas.* 16(2):132-146, pp 1.
- Schulz B. y Boyle C. 2005. The endophytic continuum. *Mycol. Res.* 109, 661-686.
- SIAP. 2016. Principales Variedades de Plátano que se Cultivan México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. p 8.
- Silvia Valenzuela M., Rojas Martínez R., Mancilla López R., Macías Rubalcaba M., Aranda Ocampo S. y Zavaleta Mejía E. 2020. Hongos endófitos: una alternativa biológica para el control de nematodos fitoparásitos. *Nematropica.* 50(1).
- Solis, R, A. 2007. El Cultivo de Plátano (género *Musa*) en México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. p 81.
- Subhashini Pon, Thahgaradjou T. y Roja S. 2016. Métodos diferenciales de localización de hongos endófitos en pastos marinos. *Micología.* 7(3): 112-123.

- Tello, M. J. C. 2016. Los Nematodos. Sesión del Quinto Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Intagri-Universidad de Almería. Gto., México.
- Thammaiah N, Shirol M, Prakash Patil y Praveen J. 2019. Management of burrowing nematode, *Radopholus similis* in banana by using biocontrol agents. Journal of Entomology and Zoology Studies. 7(3): 985-989.
- Walker C. 1992. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales)- a possible way forward. Agronomie, EDP Sciences.12 (10). pp 887-897.
- Xiaomin Xia, Timothy K. Lie, Xiaoming Qian, Zhonghui Zheng, Yaojian Huang y Yuemao Shen. 2010. Species diversity, distribution and genetic structure of endophytic and epiphytic *Trichoderma* associated with banana roots. Plant Microbe Interactions. 61: 619-625.
- Zum Felde A. 2002. Detección de hongos endofíticos de banano (*Musa*) para efectos antagónicos hacia el nematodo excavador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. M.Sc. Tesis, Universidad de Bonn, Alemania.