

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**ESTUDIO DEL POTENCIAL ANTAGONISTA DE HONGOS ENDOFÍTICOS  
PARA EL BIOCONTROL DEL NEMATODO BARRENADOR *Radopholus  
similis* EN PLANTACIONES DE BANANO EN COSTA RICA.**

**POR**

**ROY DONALD MENJIVAR BARAHONA**

**Turrialba, Costa Rica**

**2005**

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

**Estudio del Potencial Antagonista de Hongos Endofíticos  
para el Biocontrol del Nematodo Barrenador *Radopholus similis* (Cobb)  
Thorne, en Plantaciones de Banano en Costa Rica.**

**Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de  
Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar al grado de :**

**Magíster Scientiae**

**Por:**

**ROY DONALD MENJIVAR BARAHONA**

**Turrialba, Costa Rica  
2005**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE**

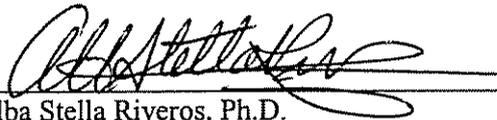
**FIRMANTES:**



Luis Pocasangre, Ph.D.  
**Consejero Principal.**



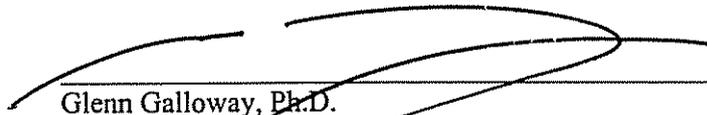
Franklin Rosales, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Alba Stella Riveros, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Miguel Quesada, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Glenn Galloway, Ph.D.  
**Director Programa de Educación y  
Decano de la Escuela de Posgrado**



Roy Donald Menjivar Barahona  
**Candidato**

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso.

A mi esposa Bessy y mi hijo que esta por nacer.

A mi madre Yolanda Barahona.

A mis hermanos Denia, Carlos, Elvin, Mabel y Rony.

Mis abuelos Andres y Florida Murillo.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Luis Pocasangre, consejero principal, por su valioso apoyo, orientación y disposición brindada durante mi investigación.

A los Drs. Alba Stella Riveros y Franklin Rosales, por los conocimientos y consejos brindados.

Al MSc. Miguel Quesada y todo el personal de nematología de CDADM, Ing. Harold Molina, Fernando, Juan Carlos, Salvador, Oscar, Roger, Alexis y Lepy, por todo el apoyo y afecto recibido.

A mi familia, mi madre Yolanda Barahona, mis hermanos Denia, Carlos, Elvin, Mabel y Rony, quienes siempre estuvieron pendientes brindándome su apoyo y consejos valiosos.

A mi esposa Bessy Torres, quien sin su apoyo incondicional y esmero no hubiera logrado alcanzar la meta propuesta.

Al INIBAP por el apoyo brindado en mi investigación.

Al DAAD por el soporte económico obtenido para poder realizar mis estudios.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY .....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	4
1.1.1.  Objetivo general.....	4
1.1.2.  Objetivos específicos .....	4
1.1.3.  Hipótesis .....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1.  Origen y Taxonomía del Banano.....	5
2.2.  Descripción Botánica del Banano .....	5
2.3.  Importancia del Cultivo.....	7
2.4.  Principales Enfermedades del Banano .....	7
2.4.1.  Sigatoka negra <i>Mycosphaerella fijiensis</i> .....	7
2.4.2.  Marchitez por <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> (FOC).....	8
2.4.3.  Moko causado por <i>Rastonia solanacearum</i> .....	8
2.4.4.  Nematodos.....	9
2.5.  Suelos Supresivos.....	11
2.5.1.  Principales microorganismos que interfieren en la supresividad.....	12
2.5.1.1.  Bacterias .....	12
2.5.1.2.  Micorrizas .....	13
2.5.1.3.  Hongos facultativos .....	13
2.5.1.4.  Hongos endofíticos.....	14
2.5.1.4.1. <i>Trichoderma</i> spp. ....	15
2.5.1.4.2. <i>Fusarium oxysporum</i> (CNP).....	16
2.5.2.  Antagonismo .....	17
2.5.3.  Mecanismos de Interacción Antagónica.....	18
2.5.3.1.  Degradación de glucano.....	18
2.5.3.2.  Antibiosis .....	18
2.5.3.3.  Inducción de resistencia .....	18
3. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1.  Ubicación geográfica del experimento .....	20
3.2.  Condiciones meteorológicas .....	20
3.3.  Premuestreo.....	21
3.4.  Material vegetal.....	22
3.5.  Hongos endofíticos.....	22
3.6.  Protección de plantas.....	22
3.7.  Descripción de tratamientos.....	23
3.8.  Establecimiento del experimento .....	23
3.9.  Variables evaluadas .....	24
3.10.  Biocontrol de nematodos.....	24

3.11. Variable de crecimiento.....	25
3.11.1.    Vivero.....	25
3.11.2.    Campo definitivo .....	25
3.12. Variables de rendimiento.....	25
3.13. Diseño experimental.....	26
3.14. Análisis de varianza .....	26
3.15. Comparación de contrastes ortogonales.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	28
4.1. Biocontrol .....	28
4.1.1.    BANANITA .....	28
4.1.2.    CARMEN-2 .....	31
4.1.3.    FORMOSA.....	34
4.1.4.    DUACARI-2.....	37
4.2. Variables de Promoción de Crecimiento .....	40
4.2.1.    Etapa de vivero .....	40
4.2.2.    Etapa de campo .....	41
4.2.2.1.  BANANITA .....	41
4.2.2.2.  CARMEN-2.....	43
4.2.2.3.  FORMOSA .....	44
4.2.2.4.  DUACARI-2 .....	44
4.3. Variables de Rendimiento .....	46
4.3.1.    BANANITA.....	46
4.3.2.    CARMEN-2 .....	47
4.3.3.    FORMOSA.....	48
4.3.4.    DUACARI-2.....	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
5.1. Conclusiones.....	52
5.2. Recomendaciones.....	54
6. CITAS BIBLIOGRAFICAS.....	55
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del pre-muestreo de poblaciones de nematodos realizado el 26-08-04, en las 4 fincas experimentales seleccionada.....	21
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos manejados en el estudio de hongos endofíticos como biocontroladores de <i>Radopholus similis</i> en fincas de banano. ....	23
Cuadro 3. Contrastes ortogonales para evaluar la variabilidad de los hongos endofíticos con respecto al absoluto y químico.....	27
Cuadro 4. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca BANANITA.....	29
Cuadro 5. Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca BANANITA.....	29
Cuadro 6. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca CARMEN-2.....	32
Cuadro 7. Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca CARMEN-2.....	32
Cuadro 8. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, testigo absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca FORMOSA.....	35
Cuadro 9. Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca FORMOSA.....	35
Cuadro 10. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, testigo absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca DUACARI-2.....	37
Cuadro 11. Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca DUACARI-2.....	38
Cuadro 12. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de un mes de crecimiento en condiciones de vivero comercial.....	41
Cuadro 13. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. finca BANANITA.....	42
Cuadro 14. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca CARMEN-2.....	43
Cuadro 15. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca FORMOSA.....	44

Cuadro 16. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. finca DUACARI-2. ....	45
Cuadro 17. Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca BANANITA.....	47
Cuadro 18. Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca CARMEN-2. ....	48
Cuadro 19. Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca FORMOSA.....	49
Cuadro 20. Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca DUACARI-2. ....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las cuatro fincas comerciales de CDADM donde se evaluó el efecto de los hongos endofíticos. ....	20
Figura 2. Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de <i>R. similis</i> en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca BANANITA. ....	30
Figura 3. Efecto de hongos endofíticos sobre la Dinámica poblacional de <i>R. similis</i> en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca CARMEN-2. ....	33
Figura 4. Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de <i>R. similis</i> en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca FORMOSA. ....	36
Figura 5. Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de <i>R. similis</i> en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca DUACARI-2. ....	39

## RESUMEN

**Palabras claves:** *Fusarium oxysporum*, nematicida, promoción de crecimiento, protección de plantas, *Trichoderma atroviride*

---

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de biocontrol de hongos endofíticos sobre el nematodo barrenador *Radopholus similis*, en cuatro fincas comerciales de banano en Costa Rica. Dos fincas al este del río Reventazón, Bananita y Carmen-2 y dos al oeste, Formosa y Duacari-2. Seis tratamientos fueron evaluados: 4 con inoculaciones de hongos endofíticos, con uno de dos aislados de *Trichoderma atroviride* o con uno de dos cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* provenientes de suelos supresivos a *R. similis* de Guatemala y Costa Rica; un testigo químico con tres aplicaciones de nematicida; y un testigo absoluto. Un total de 13,000 vitro-plantas del cultivar Valery (*Musa AAA*) fueron inoculadas con uno de los cuatro hongos evaluados. La inoculación se realizó sumergiendo las raíces de las vitro-plantas en una suspensión de esporas a una concentración de  $1 \times 10^6$  por 5 minutos. Posteriormente fueron sembradas en bolsas de polietileno para su endurecimiento en un vivero comercial previo a la siembra en campo definitivo. Los resultados obtenidos para el efecto de biocontrol después de 7 muestreos mensuales demostraron que plantas protegidas con hongos endofíticos tenían densidades de *R. similis* inferiores que el testigo absoluto en las cuatro fincas comerciales, especialmente aquellas inoculadas con el hongo endofítico *T. atroviride* S-2, con diferencias significativas para las fincas Bananita, Carmen-2 y Formosa y el hongo *F. oxysporum* P-12, para las fincas Bananita y Carmen 2. Asimismo, se encontró la misma tendencia de biocontrol a favor de los hongos endofíticos en comparación con el testigo químico. El tratamiento inoculado con el aislado S-2 presentó densidades significativamente inferiores de *R. similis* en las fincas Bananita y Formosa, comparado al tratamiento químico. Aunque presentaron densidades inferiores de nematodos, los tratamientos con los tres hongos endofíticos restantes no fueron distintos estadísticamente que el control químico. Estos datos sugieren que las tres aplicaciones de nematicidas pueden ser sustituida por una sola inoculación de hongos endofíticos sin afectar el manejo de *R. similis*, en plantaciones comerciales. Por otra parte, la inoculación con los hongos endofíticos promovió el crecimiento de las plantas significativamente, lo cual obligo a adelantar la siembra 2 semanas antes de la fecha programada. La misma tendencia de promoción de crecimiento se registró en condiciones de campo, principalmente en las plantas inoculadas con los hongos *T. atroviride*, S-2 y *F. oxysporum* P-12, las cuales presentaron mayor altura de planta, circunferencia de pseudotallo y emisión foliar, que plantas no protegidas. Con respecto a producción, plantas inoculadas con *F. oxysporum* P-12, presentaron mayor peso de racimo y número de manos en las fincas Bananita, Carmen-2 y Duacari-2, diferenciándose estadísticamente del testigo absoluto.

## SUMMARY

**Key Words:** *Fusarium oxysporum*, nematicide, growth promotion, plant protection, *Trichoderma atroviride*.

---

The objective of the present study was to evaluate the biocontrol effect of endophytic fungi on *Radopholus similis*, in four commercial banana farms in Costa Rica. Two farms, Bananita and Carmen-2, were located to the east of the Reventazon River, the two others, Formosa and Duacari-2, to the west of the river. Six treatments were evaluated: four inoculated with an endophytic fungi isolated from *R. similis* suppressive farms in Costa Rica and Guatemala: two with a *Trichoderma atroviride* isolate, two inoculated with one of two non-pathogenic strains of *Fusarium oxysporum*; a chemical control, which received three applications of nematicides; and an absolute control. A total of 13 000 Valery (*Musa* AAA) vitro-plants were inoculated with one of the four endophytic fungi. Plants were inoculated by submerging their roots in a spore suspension ( $1 \times 10^6$  cfu/ml) for 5 minutes. They were then planted in polyethylene bags for hardening in a commercial greenhouse, prior to being planted in the field. Results for biocontrol effect after 7 monthly samples were taken revealed that plants protected with endophytes had lower *R. similis* densities than absolute controls for all four commercial farms, especially those inoculated with the *T. atroviride* isolate S-2, with significant differences in Bananita, Carmen-2 and Formosa, and the *F. oxysporum* isolate P-12, in Bananita and Formosa. The same positive biocontrol effect was observed when comparing endophyte treatments with the chemical treatment. The treatment with isolate S-2 had significantly lower *R. similis* densities in Bananita and Formosa farms than the chemical treatment. Though treatments with the other three endophytic fungi had lower densities than the chemical treatment, these were not significant. These results imply that the three nematicide applications can be substituted by just one inoculation with endophytic fungi without affecting *R. similis* management in commercial plantations. On the other hand, inoculation with the endophytic fungi promoted plant growth significantly, so as to force the field planting date ahead by two weeks. The same growth-promoting tendency was registered under field conditions, especially for plants inoculated with the *T. atroviride* isolate S-2 and the *F. oxysporum* isolate P-12, which demonstrated greater plant height, pseudostem circumference and foliar emission than non-inoculated plants. With respect to production, plants inoculated with *F. oxysporum* P-12 had significantly greater bunch weights and number of hands in Bananita, Carmen-2 and Duacari-2 farms than absolute control plants.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del banano y el plátano constituye una de las principales fuentes de ingreso en la economía de más de 120 países en los trópicos y subtropicos. Además, el banano y plátano representa el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, siendo considerado un producto de consumo básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos para numerosos países en desarrollo (Jones, 2000). En América Latina y el Caribe la producción de Musáceas supera los 31 millones de toneladas de fruta anuales provenientes de 1.4 millones de hectáreas, lo que equivale al 36% de la producción mundial (FAO, 2004).

Dentro de las plagas y enfermedades que afectan la producción de banano y plátano; la Sigatoka negra producida por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es la principal enfermedad que causa reducciones en los rendimientos, alcanzando pérdidas de hasta un 50%. Adicionalmente la enfermedad causa la madurez prematura de la fruta para exportación. Se estima que los costos de control de Sigatoka alcanzan hasta 25% del precio final de la fruta en los mercados de los países importadores (Gauhl, 1994). Otro problema fitosanitario que en la actualidad representa la segunda plaga en importancia para Musáceas son los fitonematodos, ya que pueden ocasionar en plantaciones infestadas, pérdidas en rendimiento hasta de 30% y 50% (Davide, 1996). El daño que causan estos anélidos se localiza en las raíces del cormo, interfiriendo en la absorción del agua, nutrientes, translocación de minerales y el soporte físico de la planta, provocando el volcamiento de las plantas principalmente después de la parición.

A nivel mundial se han cuantificado pérdidas productivas ocasionadas por nematodos que ascienden a \$100 billones de dólares al año, lo que equivale a un 15% del total de perdidas de la producción mundial. (Benzina, 2001; Rivera, 1999; Malaguti, 1997). En banano y plátano, un total de 19 géneros de nematodos han sido asociados al sistema radical del banano, de los cuales, se establece que en importancia económica, los endoparásitos migratorios *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae*, los ectoparásito *Helicotylenchus multicinctus* y *H. dyhisteria*, los endoparásitos sedentarios *Meloydogine incógnita* y *M. javanica* son los más importantes, siendo *R. similis* el más abundante en la mayoría de los

países, constituyendo hasta un 70% de la población de nematodos en las raíces (Araya, 2003).

La problemática de los nematodos en la agricultura esta creciendo, esto debido a que, las prácticas de control con que se manejan no son las adecuadas, ya que se basan exclusivamente en el uso de nematicidas. En la actualidad, las compañías bananeras realizan un control químico con nematicidas o nematostaticos del grupo carbamatos (aldicarb, carbofuran y oxamil) y organofosforados (ethoprofos, fenamifos y terbufos), realizando de tres a cuatro aplicaciones por año. Este método de control en los últimos años ha demostrado su poca eficacia, debido a problemas de biodegradación en condiciones tropicales, perdidas por percolación, lavado superficial del suelo entre otros. Por otra parte, la mayoría de estos agroquímicos están por salir del mercado, lo cual ha provocado que el sector bananero busque nuevas alternativas para poder manejar la problemática de los fitonematodos.

Pocasangre (2003), señala que recientes investigaciones sobre poblaciones de hongos endofíticos presentes en tejidos internos de raíces de banano, presentan una alta actividad antagonista sobre el nematodo barrenador *R. similis*, así como un estímulo en el desarrollo radical y foliar. De igual forma Cañizares (2003), Realizó estudios sobre suelos supresivos en la zona de Sixaola Costa Rica y encontró reducciones hasta un 94% de las poblaciones de *R. similis* en el sistema radical de plátano ubicadas en suelos supresivos. Asimismo, realizó bioensayos y demostró que plantas protegidas con hongos endofíticos que habían sido aislado de suelos supresivos, presentaron reducciones hasta un 86 y 88% en la población final de *R. similis* en el sistema radical de plátano y banano respectivamente, siendo de los géneros *Trichoderma* y cepas no patogénicas de *Fusarium* los hongos con mayor biocontrol.

Esta completamente documentado de la existencia de suelos supresivos a fitonematodos en plantaciones comerciales de banano y plátano (zum Felde 2002; Cañizares 2003; Meneses 2003). Por otra parte, se han aislado poblaciones de hongos endofíticos provenientes de estos suelos supresivos, con potencial de acción de biocontroladora. Investigaciones realizadas en bioensayos bajo condiciones controladas, han demostrado la actividad

biocontroladora de ciertos aislamientos endofíticos sobre *R. similis*. El propósito de la investigación fue evaluar el potencial biocontrolador de cuatro hongos endofíticos élites, sobre el nematodo barrenador *R. similis*, en cuatro plantaciones comerciales de banano, así como estudiar el efecto de los hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento y producción, obtenido de las plantas protegidas con estos aislados.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Estudiar el potencial de hongos endofíticos “elite”, para el biocontrol del nematodo barrenador *R. similis*, en plantaciones comerciales de banano, y el efecto de estos hongos en la promoción del crecimiento de vitroplantas en condiciones de vivero y campo.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de cuatro hongos endofíticos sobre la reproducción del nematodo barrenador *R. similis* en cuatro plantaciones comerciales.

Evaluar el efecto de cuatro hongos endofíticos sobre la promoción del crecimiento de vitroplantas de banano, en vivero y campo.

### **1.1.3. Hipótesis**

Plantas protegidas con hongos endofíticos, adquieren resistencia al ataque del nematodo barrenador *R. similis*.

Los hongos endofíticos inoculados en vitro-plantas promueven el crecimiento y desarrollo de la planta de banano.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Origen y Taxonomía del Banano**

El banano es una planta monocotiledónea herbácea, clasificada según Simmonds (1966) dentro de la familia Musáceas, género *Musa* y orden Zingiberales. El nombre de banano es originario de África y se aplica principalmente a los cultivares cuya fruta es de consumo fresco como el Gros Michel y el Cavendish, la mayoría de los bananos comestibles pertenecen a dos especies silvestres: *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, las cuales en su forma silvestre son diploides y fértiles, mientras los genotipos cultivados son partenocarpios y estériles, condiciones indispensables para obtener fruta comestible (Stover & Simmonds, 1989).

El centro de origen del banano se encuentra ubicado en el sureste Asiático e Indochina, región donde ocurrió su domesticación para ser cultivado (Simmons, 1962; Soto, 1992), posiblemente, el banano inicialmente se utilizó como fuente de fibra (Soto, 1992), posteriormente fue seleccionada por su facilidad para ser consumido crudo, cualidad que hasta hoy es utilizado como postre de fácil consumo por su característica partenocarpia (Price, 1992).

### **2.2. Descripción Botánica del Banano**

Las raíces del banano poseen forma de cordón y aparecen en grupos de 3 ó 4. Posee raíces superficiales y se distribuye en una capa de 30 a 40cm, se encuentra mayor concentración de estas, entre los primeros 15 a 20cm de profundidad. Las raíces son de color blanco, cuando emergen y se vuelven amarillenta y duras, su diámetro oscila entre 5 y 10mm; la longitud varia y puede llegar entre 5 y 10m en crecimiento lateral, si no son obstaculizadas durante su crecimiento, y hasta 1.5m de profundidad. El poder de penetración de las raíces del banano es débil y su distribución radical esta relacionado con la textura y estructura del suelo (Lavillé, 1964; Beugnon & Champion, 1966).

Morfológicamente, el cormo se define como un tallo que desarrolla hojas en la parte superior y raíces adventicias en la parte inferior o rizomorfo; produce una yema vegetativa o retoño que sale de la planta madre y sufre un cambio anatómico y morfológico de los tejidos y al

crecer diametralmente forma el cormo. Los nudos están muy agrupados y en cada uno de ellos hay una hoja cuya base foliar se extiende lateralmente hasta circundarlo. Tanto las hojas bien desarrolladas como las escuamiformes de lámina foliar reducida que las anteceden, subtienden una sola yema lateral o futuro retoño (Champion, 1968). El cormo es un importante órgano de almacenamiento que ayuda a sustentar el crecimiento del racimo y el desarrollo de los hijos de la planta, antes de la floración el cormo contiene cerca del 35% del total de materia orgánica de la planta, el cual baja un 20% al momento que alcanza la madurez del fruto, conforme las reservas se redistribuyen durante el crecimiento (Robinson, 1996).

Las hojas se originan del punto central de crecimiento o meristemo terminal, situado en la parte superior del bulbo, luego se forma precozmente el pecíolo y la nervadura central terminada en filamento, lo que será la vaina posteriormente. La lámina foliar es dorsiventral y glabra. Externamente, el limbo se observa como una lámina delgada, muy verde en su cara superior y más o menos glauca en la inferior, está surcada por una nervadura estriada formada por las venas mayores que resaltan en la cara adaxial. La producción de las hojas cesa cuando emerge la inflorescencia (Soto, 2002).

El pseudotallo ofrece a la planta apoyo y la capacidad de almacenar reservas amiláceas; por otra parte, le permite alcanzar mayor altura y elevar el nivel de las láminas foliares que captan la luz solar. En una planta adulta puede medir 5 m de altura y 40cm de diámetro según el clon. Su estructura es resistente y puede soportar el peso de las láminas foliares y de su inflorescencia que llega hasta 75kg (Aubert, 1973; Simmonds, 1973).

Cuando se han producido cerca de 20 hojas, surge el tallo floral, cuya continuación forma el eje de la inflorescencia, donde las hojas son reemplazadas por brácteas femeninas y masculinas dando origen a la bellota o chira, la inflorescencia esta formada por glomérulos florales dispuestas en dos hileras e insertadas en el caquis, conocidos como coronas (manos), por su parte las flores corresponden a tres clases: postiladas, que forman las manos superiores, neutras, en la sección central y estaminadas, que se ubican en el punto terminal del racimo. El fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores pistiladas que

muestran un gran aumento en volumen; la parte comestible es el resultado del engrosamiento de las paredes del ovario convertido en una masa parenquimatosa cargada de azúcar y almidón (León, 1987).

### **2.3. Importancia del Cultivo**

El cultivo del banano es uno de los más importantes a nivel mundial, con una excelente comercialización que cubre una basta demanda en los mercados del primer mundo, además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingreso en más de 120 países en desarrollo (Jones & Diekmann, 2000). La explotación del musáceas es uno de los cultivos más importantes en cantidad producida con 99 millones de toneladas/año y numero de hectáreas cultivadas de 9 millones (FAO 2004), Además la mayoría de esta producción es consumida como un producto de la dieta básica de millones de personas en África, Asia, América Latina y el Caribe. Como producto en si, ocupa el cuarto lugar en importancia mundial después del arroz, trigo y maíz. Los bananos son comúnmente conocidos por ser uno de los cinco principales productos de exportación a nivel mundial con un valor agregado de más de cinco billones de dólares (\$5.3 billones) de exportación anualmente (Rosales, 1998).

Dentro de las enfermedades que atacan al cultivo del banano, la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) es la principal. Los costos de producción para el control de esta enfermedad junto a los fitonematodos son los de mayor importancia por su efecto en la reducción de los rendimientos (Ortiz *et al.*, 1999; Araya, 2003).

### **2.4. Principales Enfermedades del Banano**

#### **2.4.1. Sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis***

La Sigatoka negra es considerada como uno de los principales factores limitantes en la producción de banano comercial a nivel mundial, reportando pérdidas que alcanzan hasta un 50% de la producción comercial debido a la destrucción del área foliar (Gauhl, 1994; Gold & Gemmill, 1991). Entre los síntomas se pueden mencionar puntos de color café rojizo en el envés de la hoja que avanza progresivamente, reducción del área foliar funcional de la planta, lo cual afecta el crecimiento de la planta, el proceso fotosintético, y la presencia de un

buen número de hojas funcionales al momento de la cosecha. Esto último produce efectos significativos en la producción con racimos pequeños y maduración precoz del racimo (Stover, 1972). En manejo, lo más usado es el control químico, mediante aplicaciones aéreas de fungicidas y el uso de variedades resistentes (Rosero, 1987). Sin embargo, se ha demostrado que desbalances en los contenidos de nitrógeno/potasio, favorecen el desarrollo de la enfermedad, por lo que el mantener un buen estado nutricional de la planta, ayuda a evitar el desarrollo de la enfermedad (Romero, 1998).

#### **2.4.2. Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC)**

El mal de Panamá es una de las enfermedades de musáceas de mayor importancia a través del tiempo, y se muestra en mayor cantidad después de la parición de la planta. Existen reportadas 4 razas que afectan la relación patógeno-hospedero. Originalmente, las plantaciones bananeras fueron plantadas con la variedad Gros Michel, que es altamente susceptible al Mal de Panamá, por esta razón fue reemplazada con cultivares del subgrupo Cavendish. Sin embargo cultivares de este, están siendo atacados por la raza 4 de *Fusarium*. Los síntomas Externos muestran coloración amarilla en los pecíolos de las hojas mas viejas, posteriormente las hojas se amarillean y marchitan hasta secarse, este síntoma es progresivo, llegando a las hojas jóvenes. El cormo puede sobrevivir algún tiempo y los hijos rara vez se infectan cuando están jóvenes. Los síntomas internos se observan al hacer un corte en la base del tallo donde se presenta una coloración oscura cerca del centro del tallo, causada por la invasión del hongo en los tejidos del tallo, lo que obstruye los conductos provocando la muerte de la planta. El manejo se realiza evitando el uso de semillas contaminadas, movimiento de suelo proveniente de fincas contaminadas y desinfectando herramientas antes y después de usarlas. Por otra parte el uso de vitro-plantas puede garantizar un material de siembra libre del patógeno. Actualmente, el uso de variantes somaclonales con resistencia a *Fusarium* es quizás, el método más efectivo para controlar al patógeno (Stover, 1962; Hwang & Ko, 2004).

#### **2.4.3. Moko causado por *Rastonia solanacearum***

Esta enfermedad se disemina con mayor rapidez que el Mal de Panamá, sin embargo los productores poca importancia le dan al problema, por lo que en poco tiempo puede alcanzar

niveles de devastación importantes, especialmente en plátano. Los síntomas son similares al Mal de Panamá por lo que pudieran confundirse, sin embargo esta bacteria puede presentar necrosamiento en los hijos. Para el manejo se recomienda uso de materiales resistentes a la bacteria como el FHIA-03, Cuarentenas locales, regionales y/o nacionales para proteger las áreas que aun no han sido infectadas, uso de vitro-plantas para garantizar un material de siembra libre del patógeno, practicas culturales como desinfección de las herramientas de trabajo, muerte de las plantas que muestren síntomas mediante el uso de Glifosatos o formaldehído, esto se debe realizar con la planta en pié para matar los tejidos y provocar la muerte del patógeno y evitar su diseminación (Soguilon *et al.*, 1998, Merchán, 2003).

#### **2.4.4. Nematodos**

Esta completamente demostrado que los nematodos son el problema principal del sistema radical del banano, debido a que dañan tejidos de raíces y cormos, afectando el crecimiento de la planta y rendimiento por la reducción de las funciones mecánicas (anclaje) y fisiológicas (absorción y transporte de agua y nutrientes) del sistema radial. Los principales nematodos se clasifican en: Lesionadores (*Pratilenchus* spp.), agalladores (*Meloidogyne* spp.), enquistadotes (*Heterodera* spp.) y barrenadores (*Radopholus* spp.), este ultimo representa el principal problema en banano (Dochez, 2000). Plantaciones afectadas por nematodos presentan parches, donde se encuentran volcamiento de las planta, disminución de raíces funcionales y túneles en la parte interna de las raíces (Umaña, 2002). Entre los métodos de control esta: a) químico, el cual se realiza 3 a 4 veces por año, utilizando los grupos Carbamatos y Fosforados, pero el costo económico y ambiental es muy alto, además, estos productos han sido desarrollados para *Meloidogyne* y no para *Radopholus*; b) el control cultural, como el barbecho, rotaciones y cultivos mixtos, los cuales es difícil aplicarlo en cultivares a gran escala, c) el uso de vitro-plantas que garantizan material de siembra libre de nematodos. Sin embargo son más susceptibles que los cormos, además de mostrar poca longevidad productiva; d) el control biológico, mediante el uso de hongos endofíticos presentes en tejidos internos de raíces de banano y plátano ha demostrado un incremento en el desarrollo y resistencia (Pocasangre, 2003).

El nematodo barrenador *R. similis* es el nematodo más importante en la producción de bananos y plátanos en América Central, África Occidental y Australia (Pinochet, 1986; Sarah, 1989; Schipke & Ramsey, 1994). Pérdida económica que oscilan entre 30 a 50% han sido reportadas en Costa Rica y Panamá (Davide, 1996). Actualmente, el nematodo barrenador es controlado por medio de prácticas culturales, nematicidas químicos ( órganofosforados y carbamatos) y con el cultivo de variedades resistentes, especialmente en banano (Marín *et al.*, 1999). Asimismo, los nematicidas son utilizados en gran escala, a pesar de los problemas ambientales que estos conllevan, tales como problemas en la salud humana y animal (Pocasangre *et al.*, 2001).

El nematodo *R. similis* es un endoparásito migratorio que completa su ciclo de vida entre 20-25 días en los tejidos de la raíz y el cormo. Las hembras juveniles y adultas tienen formas móviles que pueden dejar la raíz en caso de condiciones adversas (Sarah, 1996). Los estadios larvales en el suelo pueden fácilmente invadir raíces sanas. La penetración de los nematodos ocurre cerca del ápice radical, pero *R. similis* puede invadir cualquier porción de la raíz. Al migrar inter e intracelularmente, se alimenta de citoplasma y células de parénquima cortical, causando la destrucción de estos tejidos; lo que limita la absorción de agua y nutrientes, provocando una reducción en el desarrollo y crecimiento en la planta, además disminución en el peso del racimo e incremento significativo en el periodo entre dos cosechas sucesivas. Más aun, esta destrucción de las raíces resulta en una tendencia de la planta a desraizarse o volcarse, sobretodo durante vientos y lluvias fuertes, lo que causa severas pérdidas económicas (Pocasangre, 2002).

El desarrollo de una población de fitonematodos en un cultivo, involucra los procesos de supervivencia, diseminación, infección, alimentación y reproducción. En ausencia del hospedante los fitonematodos pueden sobrevivir períodos de semanas o meses en estados de baja actividad metabólica, como el reposo o diapausa, inducido por factores endógenos y ambientales (Arauz, 1998).

La problemática de los fitonematodos en la agricultura ha incrementado en los últimos años, esto debido a que las prácticas de control con que se pretenden manejar no han sido

adecuadas. La lucha química ha sido la más utilizada hasta el momento debido a su rápido efecto, sin embargo, a partir de la cancelación de varios nematicidas del mercado por producir esterilidad masculina, carcinogénesis y otros problemas como el incremento a la resistencia de enfermedades, ha traído como consecuencia un aumento en el costo de la cosecha y la alteración del desarrollo normal de la cadena alimenticia, por lo tanto hay un rompimiento en el equilibrio del ecosistema; sin embargo se puede contribuir a mejorar las condiciones del suelo, tratando de incorporar agentes microbiológicos que permitan el restablecimiento del equilibrio dinámico, reproduciendo antagonistas naturales que puedan regular las poblaciones de fitonematodos (Jiménes, 1999).

Una alternativa a los plaguicidas recientemente desarrollada es la potenciación biológica del material de siembra de banano con microorganismos benéficos para aumentar la resistencia de la planta a la infección. El hecho de que algunas plagas atacan a la planta por la raíz y cormo, han llevado la investigación sobre el uso de la tecnología de potenciación biológica utilizando hongos endofíticos mutualistas para manejar los nematodos, marchites y picudo (Sikora & Pocasangre, 2004).

González y Fernández (2003), sugieren que el método biológico con el incremento de organismos antagonistas como hongos micorrizicos, nematófagos y endofíticos nativos o introducidos, bacterias u otros depredadores naturales, en combinación con fertilizantes orgánicos, representan una alternativa muy apreciable para la obtención de banano en armonía con el ambiente.

## **2.5. Suelos Supresivos**

Según Altieri (1992) y Baker y Paulitz (1996), la supresividad se fundamenta en la existencia de un amplio espectro de microorganismos que forman parte de un sistema complejo de interacciones que conforman la rizosfera, dónde la competencia por las fuentes alimenticias, nichos y dinámicas entre predador-presa ayudan a limitar la población de microorganismos con potencial de plaga.

Los suelos supresivos pueden estar divididos en dos grandes grupos: los naturales y los inducidos. Hablamos de un suelo supresivo natural o constitutivo cuando su supresividad es estable en el tiempo y no esta influida por el historial de cultivos que se hallan realizado en el suelo. Pero cuando la supresividad es inducida o adquirida, la incidencia de la enfermedad comienza a declinar solo después de que en el mismo suelo ha estado creciendo continuamente un cultivo susceptible (Schroth & Hancock, 1982).

Según Alabouvette, (1999) algunos substratos de suelos pueden tener la habilidad natural de reducir la incidencia de las enfermedades en plantas. La calidad de los sustratos para el control de enfermedades esta dada por la supresión de enfermedades o el crecimiento de saprofiticos, en algunos casos la supresión esta basada en la interacción entre algunas poblaciones patogénicas y microflora saprofítica (Stone *et al.*, 2001). El incremento de la habilidad supresora de materiales inertes después de la adición de compost, ha demostrado que la supresión puede ser transferida desde un compost altamente supresivo a un sustrato conductivo (Catxaterra, 2002). Esto significa que si el 90% de un suelo se esteriliza en autoclave y solo el 10% contiene supresividad, este 10% transfiere supresividad a todo el sustrato y baja los signos de infección como el caso de *Phytophthora* en plántulas de cítricos al ser comparado con el crecimiento de plántulas en suelo 100% esterilizado (Westphal & Becker, 2001; Dirac & Menge, 2002).

### **2.5.1. Principales microorganismos que interfieren en la supresividad**

#### **2.5.1.1. Bacterias**

Las bacterias supresoras se caracterizan por la producción de antibióticos, la competencia, la producción de quelatos de hierro (sideroforos), secuestrando el hierro libre, por ejemplo *Pseudomonas* que compite con otros microorganismos por hierro y otros nutrientes (Duffy & Defago, 1999). Los géneros que presentan estas características son *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Flavobacterium*, *Actinobacter* y *Arthrobacter* con excepción de *Pseudomonas*, se conoce que estos no son patógenos en plantas (Hillocks & Waller, 1997). Los antibióticos y los sideroforos pueden funcionar como factores de estrés o de señal de inducción local o sistémica de resistencia (Duffy & Defago, 1999).

### **2.5.1.2. Micorrizas**

Es una relación planta-hongo bien establecida mediante dos fases de desarrollo: una interna, formada por el micelio fúngico colonizando biotróficamente la corteza de la raíz, en íntima asociación con las células radicales (micelio interno), y una externa formada por el micelio extramatricial del hongo a través del suelo (micelio externo), este micelio ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales del suelo, actuando como un puente que conecta la planta con el suelo (Barea *et al.*, 1997).

La protección que las micorrizas confieren a las plantas frente a un ataque de patógenos, es probablemente la interacción de varios mecanismos como ser: mejora de la nutrición y compensación de daño (Jaizme-Vega *et al.*, 1997), competencia por productos de la fotosíntesis y lugares de colonización (Smith, 1998), cambios en la anatomía y arquitectura radical (Jaizme-Vega *et al.*, 1995), cambios microbianos en la rizosfera (Linderman & Paulitz, 1990) y cambios en los constituyentes químicos de los tejidos (Morandi *et al.*, 1984).

### **2.5.1.3. Hongos facultativos**

Hongos infectando huevos o hembras de fitonematodos han sido clasificados como patógenos facultativos o hongos oportunistas facultativos (Sikora, 1992). Estos hongos no dependen de los nematodos para su proliferación sino de la rizosfera que contiene los exudados de raíz y material orgánico; ejemplo de estos hongos son *Verticillium chlamydosporium*, que colonizan masas de huevos y durante el proceso de infección produce enzimas, las cuales rompen la membrana externa de la cáscara del huevo exponiéndolo a una infección (Kerry & Bourne, 1996), también reportan a *V. chlamydosporium* disminuyendo densidades poblacionales de especies de nematodos agalladores y lesionadores; similares resultados fueron encontrados con el hongo facultativo parasitario de *Paecilomyces lilacinus* contra *Meloidogyne* sp. (Kiewnick & Sikora, 2003), y *R. similis* en banano (Mendoza *et al.*, 2004). Estos tipos de hongos podrían ser importantes en sistemas de producción de ciclos cortos, aplicándolos al suelo antes de establecer el cultivo.

#### 2.5.1.4. Hongos endofíticos

Según (Carroll, 1990; Latch, 1993), son hongos que colonizan los tejidos u órganos internos de una planta sin causar ningún tipo de síntoma a la planta. Cuando la colonización de los tejidos le confiere una protección a la planta hospedera contra el ataque de agentes bióticos y abióticos se denominan hongos endofíticos mutualistas. Entre los hongos endofíticos tenemos los siguientes géneros *Acremonium*, *Anthostomella*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Clypeopycni*, *Colletotrichum*, *Coniothyrium*, *Cryptocline*, *Lasiodiploidia*, *Libertella*, *Nodilosporium*, *Phaeosphaeria*, *Phialophora*, *Phoma*, *Phomastospora*, *Phomopsis filiciana*, *Scopulariopsis*, *Verticillium* y *Xylaria* (Petrini *et al.*, 1992). Según Clay (1988) existen dos estrategias para que los hongos endofíticos tengan una simbiosis con las plantas; una es desarrollando una infección que produce una resistencia sistémica mediante una biomasa sustancial interna y por la producción de potentes toxinas que presentan un efecto detrimento hacia los patógenos de las plantas.

Sikora (1992) y Pocasangre (2003), describen que la mayoría de hongos endofíticos son ascomicetos y están presentes en gran parte de su ciclo de vida dentro del tejido de la planta. Estos brindan dos tipos de beneficios a las plantas: pueden alterar la fisiología de la planta llevándolas a aumentar su crecimiento y pueden además incrementar la resistencia al estrés causado por factores abióticos.

El control biológico del nematodo *R. similis* mediante hongos endofíticos ha sido reportado en banano. Reducciones en la tasa de reproducción de *R. similis* de hasta 90% han sido encontradas en condiciones de invernadero. Además, se reporta una amplia diversidad de hongos endofíticos presentes en fincas comerciales de banano en Guatemala, encontrando un total de 132 aislados endofíticos en tres fincas comerciales de banano con suelos supresivos al nematodo barrenador *R. similis*, donde cepas no patogénicas de *Fusarium* y *Trichoderma* fueron las predominantes (Pocasangre *et al.*, 2000). Actualmente estudios sobre antibiosis y parasitismo de endofíticos, son realizados para conocer los mecanismos del biocontrol a *R. similis*, y poder mantener sus poblaciones dentro de una retroalimentación negativa (zum Felde *et al.*, 2002). Larkin y Fravel (1998) también mencionan a *Fusarium* y *Trichoderma* como las más usadas para suprimir el desarrollo de organismos fitopatógenos.

#### **2.5.1.4.1. *Trichoderma* spp.**

El género *Trichoderma* es uno de los hongos ampliamente utilizado, debido a sus múltiples usos en la agricultura, es el fungicida biológico más estudiado y empleado, de igual forma es estimulador de crecimiento en plantas y utilizado como agente de bioremediación ya que degrada algunos grupos de pesticidas de alta persistencia en el ambiente (Esposito & Da Silva, 1998).

*Trichoderma* spp. es un hongo anaerobio facultativo que se encuentra naturalmente en un número importante de suelos agrícolas y otros tipos de medios. Pertenece a la subdivisión Deuteromycete, que se caracterizan por no poseer o no presentar un estado sexual determinado, se encuentra distribuido a nivel mundial y se presenta naturalmente en diferentes rangos de zonas de vida y hábitat, especialmente en aquellos que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición, así mismo en residuos de cultivos, especialmente en aquellos que son atacados por otros hongos, su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por estos microorganismos. Esta capacidad de adaptación a diversas condiciones medioambientales y sustratos, confiere a *Trichoderma* la posibilidad de ser utilizado en la industria de la biotecnología (Hannan, 2001).

Hannan (2001) menciona que a parte de su facilidad para colonizar las raíces de las plantas, *Trichoderma* ha desarrollado mecanismos para atacar y parasitar a otros hongos y así, aprovechar una fuente nutricional adicional. Mecanismos demostrados recientemente, con los cuales *Trichoderma* actúa como biocontrolador y como colonizador de las raíces son: Micoparasitismo, antibiosis, competición por nutrientes y espacio, desactivación de las enzimas de los patógenos, tolerancia al estrés por parte de la planta al ayudar al desarrollo del sistema radical, solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos y resistencia inducida (Hillocks & Waller 1997), estos autores también mencionan que el modo de ataque de *Trichoderma* es por medio de una lisis enzimática que destruye las hifas del hongo patógeno. Hidalgo (1999) describe el comportamiento de *Trichoderma* con respecto al biocontrol de fitonematodos, mediante la capacidad de envolver en micelio al nematodo, además produce metabolitos como Trichodermin, Suzukacilina, Alameticina, Dermadina, penicilina,

Trichotecenosa y Tricorzinianos sintetizados por *T. Harzianum* y Glitoxina producido por *T. atroviridae*, actuando como nematicidas.

#### **2.5.1.4.2. *Fusarium oxysporum* (CNP)**

*Fusarium* es caracterizado por la producción de hongos hialinos, septados, conidias en forma de canoa (como macro conidias) que en la mayoría de las especies se produce en las estructuras fructíferas llamadas sporodochia. Además de esto, en ciertas especies también se producen diversos conidios en el micelio aéreo (denominado a menudo micro conidia). Según la especie o la situación ecológica, las macro conidia o micro conidias, pueden dominar en el substrato natural, clamidiosporas también son producidas por ciertas especies. (Nelson *et al.*, 1983). *Fusarium spp.* Es un hongo con amplia gama de hospederos que presentan variación en su morfología, fisiología y patogenicidad. Tradicionalmente se ha identificado y clasificado a *Fusarium* basado en características morfológicas como: morfología de colonia de cultura monosporica, pigmentación y tasa de crecimiento, especificidad de hospederos y perfil de metabolitos secundarios (Thrane, 1990).

Se han estudiado tres modos de acción de cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum*: competencia por nutrientes en la rizosfera, competencia por la infección de sitios en la rizosfera y la inducción a resistencia (Friting & Regrind, 1993; Hammerschmidt & Kuc, 1995). La habilidad del aislado *F. oxysporum* de colonizar los tejidos de las plantas hospederas es muy importante para la propagación del antagonismo en los tejidos por medio de la generación de tóxicos (Detert, 1996). En el caso de la marchitez de *Fusarium*, la pre inoculación de la planta con una cepa incompatible resulto en la mitigación de síntomas en la planta que fue inoculada con una raza compatible, este fenómeno fue descrito como protección cruzada o premonición (Matta, 1989). La inducción de resistencia ha sido considerada como un mecanismo que podría ser responsable del control de enfermedades inducidas por cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* (Fuchs & Defago, 1994; Kroon *et al.*, 1992).

Vu (2005) hace mención que aislados endofítico de *F. oxysporum* no afecto significativamente el crecimiento de banano en el periodo corto de dos semanas después de

la inoculación, sin embargo al término del periodo largo de 14 semanas, influyo significativamente el crecimiento de banano correspondiendo en un 16-28% de peso fresco en raíces y tallos, en ausencia de *R. similis*. Similares resultados fueron documentados con endofíticos no patogénicos de *Fusarium* sp. promoviendo crecimiento en diferentes cultivares tres meses después de la inoculación con endofíticos (Niere *et al.*, 1999; Pocasangre, 2000). Otros estudios han documentado que aislados de *F. oxysporum* no tiene efecto en el crecimiento de banano con la presencia de nematodo barrenador *R. similis*, aunque si reducen la capacidad reproductiva de los nematodos en el sistema radical (Pocasangre, 2000; Niere, 2001).

En el caso de *Fusarium* como control de *R. similis* en banano, el hongo recubre e inmoviliza al nematodo cubriéndolo con las hifas produciendo sustancias que digieren el cuerpo del nematodo, También existen hongos que atacan nematodos, los atrapan y los digieren o parasitan sus huevos como el caso de *Arthrobotrys dactyloides* (Hillocks & Waller, 1997).

### **2.5.2. Antagonismo**

Sikora (1992) define el termino antagonista como un conjunto de microorganismos, que actúan como parásitos, predadores, competidores que repelen, inhiben o matan a los nematodos parásitos de las plantas, insectos y hongos. Los mecanismos de interacción antagónica son antibiosis, competencia, parasitismo o depredación y otros (Waisel *et al.*, 1996). Dentro de los parásitos está el caso de *Trichoderma* spp. controlando el desarrollo de *Rhizoctonia solani* en semilleros de café (Rincón *et al.*, 1992). La antibiosis esta representada por organismos como *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Fusarium* spp. y *Trichoderma* spp., los cuales producen una variedad de metabolitos como antibióticos, bacteriocinas, enzimas y compuestos volátiles que inhiben la germinación y el crecimiento de microorganismos patógenos (Rivera, 1999).

### **2.5.3. Mecanismos de Interacción Antagónica**

#### **2.5.3.1. Degradación de glucano**

Microorganismos glucanolíticos son aquellos que degradan la pared celular de los hongos fitopatógenos como es el caso del género *Bacillus*, atacando a *Mycosphaerella fijiensis* en banano (Talavera *et. al.*, 1998).

#### **2.5.3.2. Antibiosis**

Es el antagonismo que resulta cuando un microorganismo produce metabolitos secundarios que son tóxicos para otro microorganismo o que inhiben las actividades celulares vitales. Es un fenómeno muy común, responsable de la actividad biocontroladora de muchos organismos tales como *Pseudomonas spp.*, *Bacillus spp.*, *Fusarium spp.* y *Trichoderma spp.*, que han sido desarrolladas como agentes de control biológico de patógenos. Una variedad de diferentes metabolitos como antibióticos, bacteriocinas, enzimas y compuestos volátiles se han descrito y están involucrados en la supresión de diferentes patógenos (Carballo, 2002).

#### **2.5.3.3. Inducción de resistencia**

Esta definida como la resistencia intensificada o fortalecida en una planta con respecto a patógenos, como resultado de un tratamiento previo con un patógeno, un patógeno atenuado o un producto químico que, como tal, no es un pesticida. La manifestación de la resistencia inducida puede ser localizada o sistémica (Alves, 1993; Dantas *et. al.*, 1993). Es localizada, cuando la respuesta de la planta se da en el sitio donde se aplica el tratamiento inductor, y sistémica, cuando la respuesta es efectiva en todas o en algunas partes de la planta, diferente al sitio de inducción (Deverall & Dan, 1995; Riveros & Leopivre, 1998).

La inducción de resistencia se presenta cuando se somete al material vegetal a tratamiento con compuestos químicos naturales o sintéticos. Esta resistencia se manifiesta primero, localmente en las proximidades del punto de necrosis causado por la infección del patógeno, o el contacto con el compuesto químico, y se llama resistencia local adquirida, luego se extiende a las demás zonas de la planta, denominándose resistencia sistémica adquirida o inducción de resistencia sistémica. (Moore *et. al.*, 1999). El mismo autor señala que,

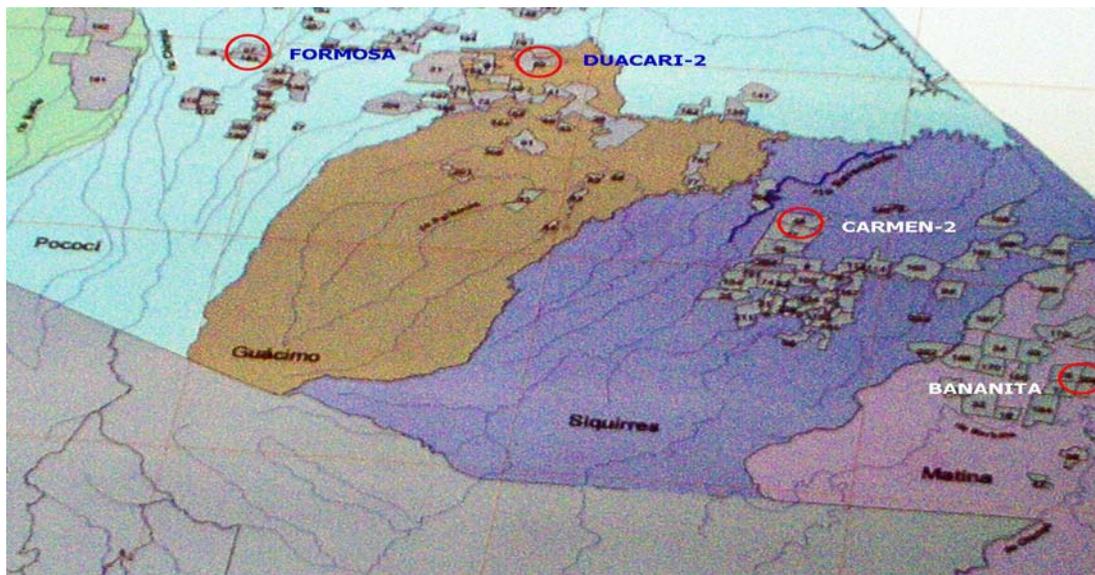
adicionalmente, las plantas pueden adquirir resistencia frente a una amplia gama de agentes patógenos, tales como virus, bacterias y hongos, en respuesta a una determinada infección o a la concentración que se presente del patógeno.

Los hongos endofíticos contribuyen a inducir cambios en la fisiología de las plantas (inducción de resistencia), en su morfología y función. La infección por estos hongos estimula la producción de exudados de la raíz, estos exudados pueden producir efectos alelopáticos en competencia bajo condiciones de estrés biótico y la quelatación de iones metálicos, afectando así el secuestro y disponibilidad de estos (estrés abiótico), (Malinowski *et. al.*, 2000).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica del experimento

La presente investigación se realizó en cuatro fincas comerciales de la provincia de Limón, propiedad de la Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte (CDADM). Estas fincas se encuentran ubicadas dos al Oeste del Río Reventazón, llamadas DUACARI-2 y FORMOSA, las mismas cuentan con una área productiva de 211 Ha y 293 Ha, ubicadas a una altura de 34msnm y 67msnm, en los cantones de Guásimo y Pocasí respectivamente. Las fincas restantes, BANANITA Y CARMEN-2, se encuentran ubicadas al Este del río Reventazón, con 256 Ha, y 448 Ha. en producción, a una altura de 16msnm y 18msnm, en los cantones de Matina y Siquirres, (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las cuatro fincas comerciales de CDADM donde se evaluó el efecto de los hongos endofíticos.

#### 3.2. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas de las zonas donde se instalaron los ensayos, presentan condiciones anuales similares de temperatura, precipitación y humedad relativa, con rangos que oscilan entre los 25-26°C, 3,844mm-3,929mm, y 80%-84% respectivamente. El anexo 1 resume las condiciones climatológicas de las cuatro fincas.

Los suelos presentes en la finca FORMOSA se clasifican de clase cuarta (IV), tercera (III) y segunda (II) con texturas arcillosas y franco arcilloso; DUACARI-2 presenta suelos de clasificación (II) y (III) en igual proporción; con textura franco arcilloso; BANANITA y CARMEN-2 presentan una clasificación (IV) y (III) predominante, respectivamente, con una textura arcillosa para ambas.

### 3.3. Premuestreo

Se realizó un premuestreo en las áreas de las fincas seleccionadas para conocer las poblaciones de fitonematodos presentes, para lo cual se tomaron 10 sub-muestras de raíz por finca. Para la extracción de los nematodos se usó la metodología de macerado y filtrado, de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) que es una adaptación al método de Taylor y Logering (Araya, 1999). Este consiste en separar las raíces funcionales de las no funcionales para ser pesadas; luego se cortan las funcionales en trozos de 2 a 3cm de longitud. De las raíces funcionales se pesan 25 gramos que son llevados a maceración en una licuadora aforada con 200ml de agua corriente por 10 segundos a velocidad baja y 10 a velocidad alta. El contenido es lavado y tamizado en un juego de cribas de 0.23mm (n° 30), 0.15mm (n° 100) y 0.043mm (n° 325). Los nematodos colectados en el último tamiz; posteriormente, se traspasaron a probetas para aforarlas a 250ml. Seguidamente, se tomaron alícuotas de 2ml, para ser depositadas en cámara de conteo y se realizarse dos conteos por muestra con alícuotas diferentes. Los resultados fueron promediados y expresados en base a 100 gramos de raíz, como lo muestra el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Resultados del pre-muestreo de poblaciones de nematodos realizado el 26-08-04, en las 4 fincas experimentales seleccionada.

<b>Fincas</b>	<b>Raíz Funcional (g)</b>	<b>Raíz Muerta (g)</b>	<b><i>Radopholus similis</i></b>
BANANITA	114.9	81.3	19,602
CARMEN-2	149.2	44.5	15,775
DUACARI-2	212.2	69.6	7,450
FORMOSA	249.0	92.9	13,875

### **3.4. Material vegetal**

Vitro-plantas del grupo Cavendish, clon “Valery”, el cual es uno de los cultivares de banano comercial más importante en Costa Rica fueron usadas para el experimento. Las plantas fueron suministradas en fase IV con 6 semanas de endurecimiento colectivo en el vivero, donde el manejo se adecuó a los protocolos de propagación comercial, el cual incluye prácticas como riego y fertilización.

### **3.5. Hongos endofíticos**

Se seleccionaron cuatro aislados de hongos endofíticos de actividad biocontroladora conocida contra *R. similis*. Dos aislados de cepas de *Trichoderma atroviride* provenientes de suelos supresivos de Guatemala y Costa Rica, los otros hongos son cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* provenientes de aislados recolectados en Sixaola y Talamanca (Costa Rica). Estos aislados son conservados en incubadoras a 24°C, su reproducción y producción de inóculo se realizó mediante el protocolo siguiente:

Los hongos endofíticos son cultivados en PDA al 100% durante dos semanas, posteriormente, bajo condiciones asépticas, se remueven las esporas agregando 25ml de agua estéril, para luego hacer un rayado con una espátula de 3cm de ancho y bordes redondeados para facilitar el raspado del micelio. La solución obtenida del rayado del plato Petri es filtrada por medio de gasas y decantada en un beaker de 250ml para obtener la suspensión de esporas. De cada suspensión se realizan conteos por medio de un hematómetro de Neubauer para medir la concentración de esporas, luego esta suspensión es ajustada a una concentración de  $1.0 \times 10^6$  cfu/ml

### **3.6. Protección de plantas**

Un total de 13,000 vitro-plantas en bandejas fueron inoculadas con los cuatro aislados de hongos endofíticos. Para ello se prepararon las suspensiones de esporas en recipientes grandes para a cada aislado, luego se sumergieron las vitro-plantas (en bandejas) por espacio de cinco minutos. Posteriormente, se trasladaron al invernadero para ser trasplantadas en bolsas de polietileno con sustrato de limo y aserrín a relación de 1:1.

### 3.7. Descripción de tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron seis: cuatro hongos endofíticos, un testigo comercial (manejado mediante el uso alterno de 4 diferentes nematicidas) y un testigo absoluto. Los hongos endofíticos evaluados fueron dos aislados de *Trichoderma atroviride* (MT-20 y S-2) y dos de cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* (S-9 y P-12). Estos aislados se seleccionaron por la capacidad de biocontrol mostrado en estudios anteriores realizados por zum Felde (2002), Cañizares (2003) y Meneses (2003). El testigo comercial (T5) consistió en la rotación de cuatro nematicidas durante el ciclo de producción: el primero, Namacur 15 G se aplicó 23.3g / planta, 15 días después de la siembra en campo; la segunda y tercera aplicación se realizó a intervalos de tres meses después de la primera (febrero y mayo) utilizando 23.3g de Mocap 15 G y 20g de Counter 15 G, por planta respectivamente, y una última aplicación en septiembre con Rugby 10G, utilizando 23.3g / planta. El testigo absoluto (T6), consistió en plantas no protegidas por endofíticos ni uso de nematicidas. El Cuadro 2. describe los tratamientos utilizados.

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos manejados en el estudio de hongos endofíticos como biocontroladores de *Radopholus similis* en fincas de banano.

Tratamiento	Código	Origen	Ingrediente activo(I. A.)
T1	MT-20	Guatemala	<i>Trichoderma atroviride</i>
T2	S2	Sixaola	<i>Trichoderma atroviride</i>
T3	S9	Sixaola	<i>Fusarium oxysporum</i> (ANP)
T4	P12	Talamanca	<i>Fusarium oxysporum</i> (ANP)
T5	Testigo comercial		Fenamifos Ethoprofos Terbufos Cadusafos
	Namacur 15 G		
	Mocap 15 G		
	Counter 15 G		
	Rugby 10 G		
T6	Testigo absoluto		Plantas no inoculadas y sin aplicación de nematicida.

### 3.8. Establecimiento del experimento

Las vitro-plantas se sembraron inicialmente en bandejas plásticas para permitir una mejor manipulación del material al momento de ser inoculadas y trasladadas a un vivero comercial

para su etapa de endurecimiento. Posteriormente, las vitro-plantas se colocaron en forma separada y se marcó las bolsas con un color diferente de cada tratamiento. La siembra definitiva en el campo se realizó entre la sexta y séptima semana, después de la inoculación con hongos endofíticos.

En las fincas se seleccionaron las áreas para los respectivos tratamientos, siendo estas demarcadas y aleatorizadas, procediéndose a la siembra bajo un sistema de tres bolillos, a distanciamientos de 2.5 x 2.15m, lo que representa una densidad de 1,850 plantas/Ha y 0.29 Has / tratamiento, quedando representado con 500 plantas cada tratamiento por finca. El área total del ensayo entre las cuatro fincas, correspondió a 8 hectáreas aproximadamente.

### **3.9. Variables evaluadas**

Para estudiar si los hongos endofíticos presentaban un potencial de biocontrol al fitonematodo, además de evaluar su efecto sobre la promoción de crecimiento de la planta y producción, se determinaron las siguientes variables: a) biocontrol: de raíz funcional, raíz muerta y población del nematodo barrenador *R. similis*; b) promoción de crecimiento: altura de la planta, circunferencia (diámetro en vivero) y emisión foliar; c) producción: peso de racimo, número de manos, días a parición, días a cosecha y altura del hijo.

### **3.10. Biocontrol de nematodos**

En la evaluación de población de fitonematodos, se realizaron siete muestreos, partiendo dos meses después de la siembra en campo, hasta un mes después de la floración, seleccionándose al azar por muestreo 10 plantas/tratamiento de cada finca, a las cuales se les extrajo una muestra de raíz de una excavación de 30 x 30 x 30cm. Una vez lavada la muestra se procedió a separar y pesar en gramos la raíz funcional y raíz muerta. La extracción del nematodo barrenador *R. similis* del tejido radical, se realizó mediante el método de macerado y tamizado utilizado en el laboratorio de nematología de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) que es una adaptación al método de Taylor y Logering, ya explicado en la sección 3.3.

### **3.11. Variable de crecimiento**

#### **3.11.1. Vivero**

Las variables de crecimiento a nivel de vivero, fueron: altura, diámetro del pseudotallo y emisión foliar. Para estas medidas, se evaluaron al azar 100 vitro-plantas por tratamiento 30 días después de inoculadas, midiéndose con una regla graduada en cm la altura hasta la inserción de la hoja bandera, con un Vernier el diámetro de la base del pseudotallo y visualmente el conteo de hojas.

#### **3.11.2. Campo definitivo**

En campo, para evaluar las variables de crecimiento, se aleatorizaron 25 plantas por tratamiento / finca, las cuales fueron marcadas con una cinta en la hoja No. 1, registrándose los datos a partir de un mes después de la siembra hasta floración. En total, se realizaron seis muestreos mensuales desde un mes después de siembra hasta la floración, excepto en la finca Bananita que se tomaron ocho por el retraso mostrado durante el crecimiento. Se evaluó: a) altura de la planta, en metros, partiendo de la base del pseudotallo hasta la inserción de la hoja bandera, b) la circunferencia, a una altura de 15cm de la base del pseudotallo utilizando una cinta métrica, expresando los datos en centímetros, c) emisión foliar, se contaron todas las hojas en el primer muestreo, incluyendo la hoja bandera, (la cual fue enumerada conforme al despliegue bajo una escala de 0.1 a 0.8), marcando la hoja no. 1 como punto de partida para los siguientes muestreos.

### **3.12. Variables de rendimiento**

El peso de racimo se obtuvo utilizando una balanza de reloj en libras. El tiempo a floración y de floración a cosecha es expresado en días; mientras la altura del hijo de sucesión se obtuvo con una estadia graduada en centímetros. El tamaño de la muestra para todas las variables fue uniforme en todos los tratamientos dentro de la misma finca. Sin embargo entre fincas no se logro obtener la misma muestra, debido a la desigualdad de los tratamientos en alcanzar los picos de producción, especialmente el testigo, por lo que se considero un mínimo de 28 unidades experimentales por tratamiento, como el caso de FORMOSA, y un máximo de 100 que fue alcanzado en CARMEN-2.

### 3.13. Diseño experimental

El diseño estadístico utilizado para los tres parámetros (biocontrol de fitonematodos, variables de crecimiento y rendimiento) fue un completo al azar (DCA) con mediciones en el tiempo para los dos primeros con 10 y 25 repeticiones respectivamente, excepto en vivero que fueron 100, mientras en producción el número de repeticiones fue diferente para cada finca. Se evaluaron 12 variables en forma separada con respecto a las 4 fincas, debido a factores agroclimáticos y edáficos que difieren entre las fincas ubicadas al Este y Oeste del Río Reventazón, donde las primeras (FORMOSA y DUACARI-2) son fincas más nuevas, con una mejor distribución de las precipitaciones, suelos de origen volcánico y un historial menor en cuanto a daños por fitonematodos en comparación a la zona Este (BANANITA y CARMEN-2) donde se dan más casos de inundaciones por sus suelos arcillosos y precipitaciones más concentradas en el tiempo. Así mismo, se realizó una prueba de t para comprobar esa variabilidad entre los parámetros con respecto a la ubicación de las fincas con el río.

El modelo matemático es:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{k(i)} + M_j + TM_{ij} + e_{k(ij)}$$

Donde  $Y_{ij}$  = Variable de respuesta.

$\mu$  = Promedio general.

$T_i$  = Efecto del  $i$ ésimo tratamiento.

$e_{k(i)}$  = Error debido al tratamiento.

$M_j$  = Efecto de la medición.

$TM_{ij}$  = Efecto entre la interacción tratamiento por medición.

$e_{k(ij)}$  = Error debido a la medición.

### 3.14. Análisis de varianza

Los datos de cada variable evaluada, se analizaron por medio de un análisis de varianza ANAVA, para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, utilizando el procedimiento GLM (General Linear Models Procedura) del programa estadístico SAS V. 8. Los resultados de nematodos fueron transformados antes de realizar el análisis estadístico utilizando  $\ln(x + 1)$ . Se realizaron contrastes ortogonales entre los tratamientos

para la variable de supresión al fitonematodo, y las medias fueron comparadas mediante una prueba de rangos múltiples de Duncan ( $P < 0.05$ ).

### 3.15. Comparación de contrastes ortogonales

Se realizaron pruebas de comparación de contrastes ortogonales entre los 6 tratamientos, para comparar los resultados de las variables entre el testigo absoluto y el resto, el testigo químico contra los endofíticos, entre los aislados de *Trichoderma* y de *Fusarium*, entre los aislados de *Trichoderma* y por ultimo entre los aislados de *Fusarium*, quedando representados los contrastes de la siguiente forma:

**Cuadro 3.** Contrastes ortogonales para evaluar la variabilidad de los hongos endofíticos con respecto al absoluto y químico.

Tratamientos	Contrastes ortogonales					
T6 vs. T1, T2, T3, T4, T5	1	1	1	1	1	-5
T5 vs. T1, T2, T3, T4	1	1	1	1	-4	0
T1, T2 vs. T3, T4	1	1	-1	-1	0	0
T1 vs. T2	1	-1	0	0	0	0
T3 vs. T4	0	0	1	-1	0	0

## **4. RESULTADOS Y DISCUSION**

Los resultados registrados por la prueba de t, demostraron que existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en las variables de biocontrol, promoción de crecimiento y producción, con respecto a la ubicación de las fincas en el este u oeste del Río Reventazón, como se muestra en el anexo 2. Consecuentemente los análisis estadísticos se realizaron en forma independiente para todas las fincas, mediante un DCA descrito en el numeral 3.13.

### **4.1. Biocontrol**

En la rizosfera existe una diversidad de microorganismos interactuando, encontrándose poblaciones de hongos y bacterias que condicionan la dinámica poblacional de los nematodos en el sistema radical, desencadenando reacciones de defensa en la planta huésped (Sikora 1992). La efectividad de hongos endofíticos para el biocontrol de fitonematodos ha sido reportada por varios autores en el cultivo de banano, por ejemplo Sikora (1992) y Schuster *et al.* (1995) menciona a hongos endofíticos colonizando tejidos radicales de vitro-plantas de banano inhibiendo nematodos endoparásitos. Pocasangre (2000), reporta reducciones en la tasa de reproducción de *R. similis* hasta 90%. Sin embargo todos estos trabajos han sido desarrollados bajo condiciones de invernadero. Los resultados obtenidos en la presente investigación son estudios pioneros del uso de hongos endofíticos para el biocontrol de *R. similis*, bajo condiciones de campo en ocho hectáreas del cultivo de banano.

#### **4.1.1. BANANITA**

Mediante el análisis de contrastes ortogonales, las poblaciones de *R. similis* mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos sobre el biocontrol del fitonematodo, (cuadro 4), especialmente el testigo absoluto que difiere estadísticamente de los hongos endofíticos y el testigo químico ( $p < 0.0001$ ). Sin embargo, no se detectaron esas diferencias estadísticas significativas entre los hongos endofíticos y el tratamiento químico ( $p > 0.6539$ ).

Cuadro 4. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca BANANITA.

Contrastes	Valor F	P > F
Absoluto vs. Resto	21.02	0.0001
Químico vs. Endofítico	0.20	0.6539
<i>Trichoderma</i> vs. <i>Fusarium</i>	11.02	0.0016
MT-20 vs. S2	33.31	0.0001
S9 vs. P12	1.46	0.2326

(\*) Diferencia significativa (  $p < 0.05$  ) (\*\*) Diferencia altamente significativa (  $p < 0.01$  )

Los resultados de las variables de biocontrol expresadas en el Cuadro 5, muestran a plantas protegidas con hongos endofíticos con poblaciones de *R. similis* por debajo del testigo absoluto, presentándose incluso el T2 con diferencia estadística a favor. Así mismo, después de tres aplicaciones de nematicidas, únicamente el T2 difiere estadísticamente del tratamiento químico con un mejor biocontrol. Los demás aislados endofíticos presentan cantidades de *R. similis* estadísticamente similares al tratamiento químico. Por consiguiente, se puede inferir que los hongos endofíticos pueden reemplazar el uso de nematicidas, sin afectar el sistema de manejo del fitonematodo.

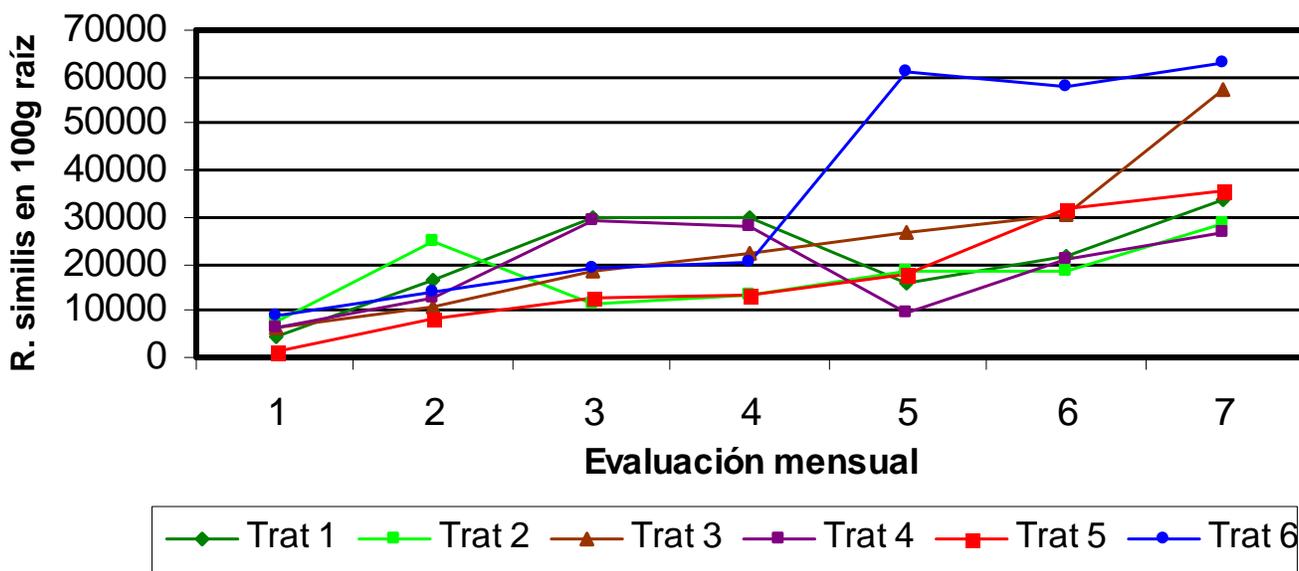
**Cuadro 5.** Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de *Radopholus similis* y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca BANANITA.

Tratamiento	Descripción	Raíz funcional (g)	Raíz Muerta (g)	<i>Radopholus similis</i> /100g Raíz
T1	MT-20	58.166 ab	8.323 ab	21,661 ab
T2	S2	56.233 ab	9.246 a	16,078 c
T3	S9	52.549 b	8.406 ab	24,832 ab
T4	P12	54.996 ab	6.354 b	19,083 b
T5	Químico	62.131 a	8.679 a	17,196 b
T6	Absoluto	52.493 b	8.759 a	35,876 a

n = 10 \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

La dinámica poblacional de *R. similis* en esta finca representada por la Figura 2, expresa las fluctuaciones del fitonematodo en el sistema radical del cultivo, mostrando diferencias en el tiempo tanto por muestreo como por tratamiento. En los primeros tres muestreos, el tratamiento T5 presento niveles bajos en comparación al resto, debiéndose a las

incorporaciones de nematicida quince días antes del primero, tercero y sexto muestreo, aunque este último no mostró similar efecto que los dos anteriores, ya que la población siguió incrementándose. Sin embargo, los tratamientos T3 y el testigo absoluto, expresaron siempre un comportamiento creciente, siendo más notorio, después del cuarto muestreo, mientras que los endofíticos T2, T4 y T1 comenzaron a disminuir sus poblaciones con respecto al resto. Estas bajas densidades del fitonematodo en plantas inoculadas con endofíticos, se debe a la colonización de los hongos en los tejidos radicales de la planta, evitando la penetración y reproducción del patógeno (Niere *et al.*, 1999).



**Figura 2.** Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de *R. similis* en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca BANANITA.

Los resultados obtenidos con la variable de raíz funcional presentan a los endofíticos con mayor producción radical que el testigo absoluto, aunque esas diferencias no se muestren estadísticamente. Similar comportamiento presentaron los aislados con el tratamiento químico, pues si bien este último presentó el mayor valor con 61.131g, solamente difiere del T3. Para los tratamientos que han sido manejados con endofíticos, ninguno muestra valores que difieran entre ellos. En lo que respecta a la variable de raíz muerta, únicamente el tratamiento T4 difiere estadísticamente del testigo absoluto y tratamiento químico, presentando el menor valor de raíz muerta (cuadro 5), siendo importante destacar que la necrosis del sistema radical es el resultado combinado de la acción de los fitonematodos y

patógenos secundarios como bacterias y hongos que pueden provocar la muerte del sistema radical.

La raíz funcional, que es la responsable de transmitir los nutrientes y sostén que necesita la planta para su desarrollo y producción, ha sido estudiada utilizando diferentes microorganismos, que pueden compararse con los resultados obtenidos en esta investigación, como el uso del hongo rizosférico *Glomus intrradice* y la bacteria *Bacillus* spp. (Jaizme *et al.*, 2005). Estos autores encontraron un efecto en el desarrollo del sistema radical del banano, mejorando la nutrición y salud de la planta. Resultados similares fueron encontrados por Reissinger (1995), quien uso hongos endofíticos en banano encontrando promoción de crecimiento en el sistema radical. Por otra parte, Hallmann & Sikora (1994) trabajaron con hongos endofíticos en tomate encontrando el mismo efecto en promoción de crecimiento. Recientemente, se encontró que una cepa de *Trichoderma* contribuye al crecimiento en cuanto a profundidad de las raíces del maíz y algunos pastos, haciendo que estos cultivos sean más resistentes a la sequía. (Hannan, 2001). De igual forma Pocasangre (2002), menciona que plantas inoculadas con aislados endofíticos presentaron pesos superiores del sistema radical y foliar en comparación con plantas no protegidas. Cañizares (2003), también obtuvo resultados similares, encontrando vitro-plantas inoculadas con endofíticos, con un 38% más de peso radical que el testigo.

#### **4.1.2. CARMEN-2**

La variabilidad de las poblaciones de *R. similis* en esta finca, como lo muestran los contrastes ortogonales en el Cuadro 6, presenta una diferencia significativa, al comparar el testigo absoluto con los demás tratamientos ( $p < 0.0280$ ). Sin embargo, cuando se analizan los hongos endofíticos con el tratamiento químico, estos no muestran diferencias estadísticas significativas entre ellos ( $p > 0.2111$ ), lo que demuestra que los aislados pueden ser sustitutos del control químico.

Cuadro 6. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca CARMEN-2.

Contrastes	Valor F	P > F
Absoluto vs. Resto	5.10	0.0280
Químico vs. Endofítico	1.60	0.2111
<i>Trichoderma</i> vs. <i>Fusarium</i>	0.41	0.5227
MT-20 vs. S2	8.91	0.0043
S9 vs. P12	1.15	0.2885

(\*) Diferencia significativa (  $p < 0.05$  ) (\*\*) Diferencia altamente significativa (  $p < 0.01$  )

Al comparar las variables de biocontrol para esta finca, expresadas en el Cuadro 7, se observa que plantas protegidas con hongos endofíticos, tienen poblaciones del fitonematodo menores que el testigo absoluto, mostrándose incluso diferencias estadísticas significativas a favor para tres endofíticos. Con respecto al tratamiento químico, ningún aislado difiere estadísticamente. Sin embargo, a excepción de T1, los tratamientos con hongos endofíticos presentan menos densidad de fitonematodos que el tratamiento químico. El tratamiento T2, expresa la mayor supresividad al nematodo *R. similis* con un valor de 10,402 fitonematodos/100 g raíz, presentando diferencia del testigo absoluto, el cual muestra la mayor población con 20,982 fitonematodos/100 g raíz, siendo estos resultados congruentes con los obtenidos en la finca Bananita donde el T2 realizó el mejor biocontrol.

**Cuadro 7.** Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de *Radopholus similis* y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca CARMEN-2.

Tratamiento	Descripción	Raíz funcional (g)	Raíz Muerta (g)	<i>Radopholus similis</i> /100g Raíz
T1	MT-20	62.607 b	11.437 a	18,346 a
T2	S2	75.221 a	6.473 b	10,402 b
T3	S9	67.831 ab	7.466 b	14,232 b
T4	P12	67.437 ab	6.256 b	10,539 b
T5	Químico	65.964 ab	5.660 b	14,342 ab
T6	Absoluto	64.894 b	10.230 a	20,982 a

N = 10 \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Trabajos similares con el biocontrol del fitonematodo pero con micorrizas, son reportados por Fernández *et al.*, (2003), mencionando que inoculando en forma temprana plantas de banano

con *Glomus*, lograron disminuir el daño de *R. similis* y *M. incognita* hasta un 58%. De igual forma con el hongo *Paecilomyces lilacinus* y la bacteria *B. thuringiensis* var. *Kurstaki* y *Corynebacterium paurometabulum*, han tenido éxito en el control de *R. similis* tanto en condiciones controladas como en campo.

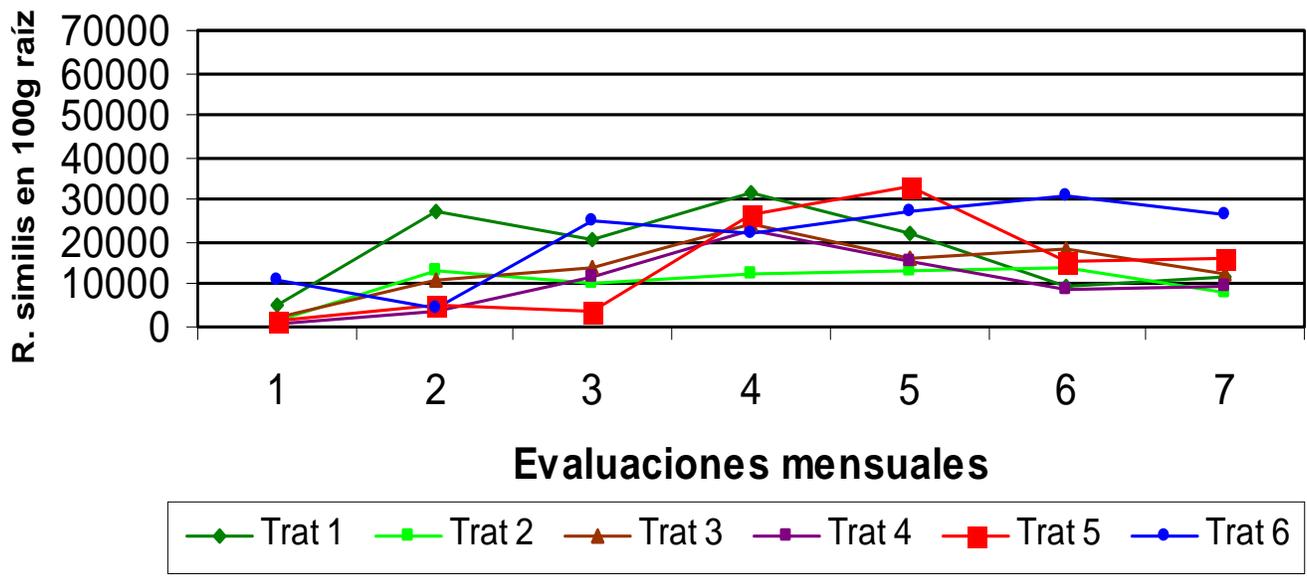


Figura 3. Efecto de hongos endofíticos sobre la Dinámica poblacional de *R. similis* en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca CARMEN-2.

Está completamente establecido que las poblaciones de fitonematos son fluctuantes a través del tiempo. Por lo tanto el estudio de la dinámica de poblaciones es importante para detectar en que momento aumentan las poblaciones y diseñar una estrategia de manejo del patógeno. (Araya 1995; Bongers & Bongers, 1998). En CARMEN-2, las poblaciones de *R. similis* mostraron un comportamiento oscilante desde los primeros muestreos, como se observa en la (Figura 3). Sin embargo los tratamientos endofíticos a lo largo del tiempo se comportaron con una tendencia similar, a excepción del tratamiento T1. El tratamiento T2 presento densidades de nematodos cerca del nivel crítico durante todos los muestreos, y por debajo del resto de todos los tratamientos en los muestreos 1, 4, 5 y 7. El tratamiento químico expresa una dinámica con tendencia a superar la presentada por los endofíticos, sin embargo en los primeros tres muestreos no fue así, debido quizás a las dos aplicaciones de

nematicidas que se sometió al tratamiento, por coincidir la disminución de la población al incorporarse la tercera descarga después del quinto muestreo.

Para la variable de raíz funcional, muestra valores muy similares para la mayoría de los tratamientos. Sin embargo los endofíticos superan al testigo absoluto en valor, sin diferir estadísticamente, a excepción del T2, que presenta el mayor peso de radical. Al comparar los endofíticos con el tratamiento químico, este último presenta menor raíz que los primeros, aunque estadísticamente no difieran. Al analizar Los contenidos de raíz muerta, las plantas protegidas con hongos endofíticos, muestran menor daño que el testigo absoluto con diferencias estadísticas a excepción de T1. Adicionalmente al comportamiento de los hongos endofíticos con el testigo absoluto, el químico tampoco muestra superioridad a los inoculados. Con lo anterior se ratifica la relación de las tres variables de biocontrol, donde los tratamientos con endofíticos al presentar menores poblaciones de fitonematodos, obtuvieron menor daño y mayor producción radical.

#### **4.1.3. FORMOSA**

La variabilidad mostrada de los fitonematodos con respecto a los tratamientos en la finca FORMOSA, se observa en los contrastes ortogonales presentados en el cuadro 8, donde se muestra al igual que las fincas anteriores, una diferencia altamente significativa entre el testigo absoluto con los demás tratamientos ( $p < 0.0007$ ). Adicionalmente, las poblaciones de los endofíticos también expresan diferencias significativas al ser comparados con el tratamiento químico ( $p < 0.0002$ ), caso que BANANITA y CARMEN-2, no lo presentaron.

Cuadro 8. Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, testigo absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca FORMOSA.

Contrastes	Valor F	P > F
Absoluto vs. Resto	13.02	0.0007
Químico vs. Endofítico	16.25	0.0002
<i>Trichoderma</i> vs. <i>Fusarium</i>	51.34	0.0001
MT-20 vs. S2	2.03	0.0001
S9 vs. P12	1.56	0.2172

(\*) Diferencia significativa (  $p < 0.05$  ) (\*\*) Diferencia altamente significativa (  $p < 0.01$  )

El Cuadro 9 resume los resultados para las variables de biocontrol, donde las poblaciones de *R. similis* muestran una disminución en su densidad bajo el efecto de los tratamientos con hongos endofíticos al compararlos con el testigo absoluto que presenta la mayor población con 28,677 nematodos/ 100g / raíz. Es importante destacar que el tratamiento T2 presento una densidad de fitonematodos estadísticamente inferiores que el tratamiento químico y testigo absoluto, presentando únicamente 13,468 nematodos / 100g / raíz, en comparación con 28,113 nematodos / 100g / raíz del químico, siendo el tratamiento más consistente en biocontrol para las tres fincas analizadas, al mostrar una tendencia a disminuir las poblaciones del fitonematodo.

**Cuadro 9.** Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de *Radopholus similis* y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca FORMOSA.

Tratamiento	Descripción	Raíz funcional (g)	Raíz Muerta (g)	<i>Radopholus similis</i> /100g Raíz
T1	MT-20	77.774 ab	14.910 b	18,234 ab
T2	S2	84.471 a	7.423 c	13.468 c
T3	S9	68.983 bc	22.640 a	25,251 a
T4	P12	67.930 bc	11.157 bc	15.918 ab
T5	Químico	70.491 bc	20.011 a	28,113 a
T6	Absoluto	62.021 c	14.354 b	28,677 a

\*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

En relación al efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de *R. similis*, se observo que en los primeros 3 muestreos tuvieron comportamientos similares, posiblemente porque aun existía una baja cantidad de inculo del patógeno por la escasez de sitios

parasíticos, el cual fue aumentando con el crecimiento fenológico de la planta. Sin embargo, los tratamientos T2 y T4 mostraron la menor densidad del fitonematodo en todos los muestreos, a excepción del T3. El tratamiento químico y el testigo absoluto, en los últimos tres muestreos presentaron niveles muy por encima del resto, como producto del crecimiento poblacional del fitonematodo, mientras que los conformado por los endofíticos disminuyeron. El tratamiento T2 a partir del cuarto muestreo, comenzó a disminuir su población, manteniéndose en niveles por debajo de los otros tratamientos, a excepción del tratamiento T4, quien en el sexto y séptimo muestreo sus niveles decrecieron llegando a igualarlo.

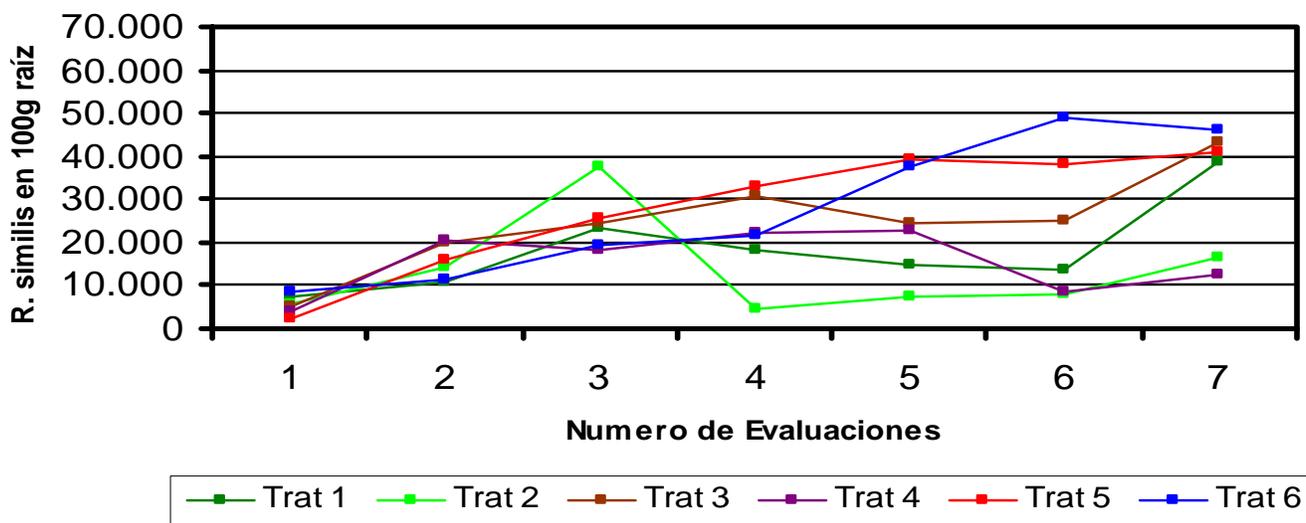


Figura 4. Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de *R. similis* en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca FORMOSA.

La producción de raíz funcional, indica que los endofíticos obtuvieron mayor peso de raíz con respecto al testigo absoluto y el tratamiento químico, difiriendo estadísticamente de los tratamientos T1 y T2 para el absoluto, y únicamente T2 para el químico. Es importante resaltar que el endofítico T2 con 84.471g fue superior a todos los tratamientos, y similar únicamente con los valores del T1. En relación a la variable de raíz muerta, solamente los aislados T2 y T4 presentaron menor daño radical, sin embargo el T2 fue mejor estadísticamente al testigo absoluto. En relación a los tratamientos con hongos endofíticos y el tratamiento químico, con excepción de T3, plantas protegidas con los hongos presentaron estadísticamente menor daño radical.

#### 4.1.4. DUACARI-2

El testigo absoluto presento' poblaciones con diferencias altamente significativas al ser comparado con los tratamientos restantes ( $p < 0.0001$ ). Al analizar los endofíticos con el tratamiento químico, estos demostraron también una variabilidad altamente significativa en sus poblaciones ( $p < 0.0001$ ).

**Cuadro 10.** Contrastes ortogonales para comparar el efecto de biocontrol entre hongos endofíticos, testigo absoluto y químico, después de 7 muestreos mensuales en finca DUACARI-2.

Contrastes	Valor F	P > F
Absoluto vs. Resto	86.81	0.0001
Químico vs. Endofítico	24.07	0.0001
<i>Trichoderma</i> vs. <i>Fusarium</i>	11.87	0.0011
MT-20 vs. S2	2.36	0.1301
S9 vs. P12	4.58	0.0369

(\*) Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (\*\*) Diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ )

Al hacer un análisis sobre las poblaciones del fitonematodo *R. similis* en finca DUACARI-2, se pudo observar en el cuadro 11, al testigo Absoluto presentando la menor población (7,379 nematodos / 100g / Raíz), con respecto a los endofíticos, aunque su valor no difiere de T4, esto puede darse como producto de la aleatorización de los tratamientos y el patrón de dispersión del fitonematodo, habiéndose instalado el testigo absoluto en un parche donde las poblaciones eran mínimas. Así mismo esta finca en general ha presentado un historial en comportamiento y manejo de las plagas, bastante atípico, con poblaciones bajas de fitonematodos y mayor productividad que el resto de las fincas de la CDADM, pudiendo ingerir una correlación entre el comportamiento con la biodiversidad de microorganismos presentes. Al hacer comparación con las medias de los 4 endofíticos y el tratamiento químico, no se encontraron diferencias estadísticamente entre ellos, aunque el T4 con 7,339 nematodos / 100g. / Raíz, sea el de menor población del fitonematodo.

Cuadro 11. Efecto de hongos endofíticos sobre el biocontrol de *Radopholus similis* y la sanidad radical, después de 7 muestreos realizados en finca DUACARI-2.

Tratamiento	Descripción	Raíz funcional (g)	Raíz Muerta (g)	<i>Radopholus similis</i> /100g Raiz
T1	MT-20	67.026 c	11.886 a	14,275 a
T2	S2	73.736 bc	11.867 a	12,354 a
T3	S9	79.976 ab	10.249 ab	12,248 a
T4	P12	84.769 a	9.831 ab	7,339 ab
T5	Químico	85.643 a	11.979 a	9,182 ab
T6	Absoluto	82.911 ab	7.069 b	7,379 b

\*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

El comportamiento de las poblaciones del fitonematodo *R. similis* para esta finca fue más fluctuante en comparación a las fincas descritas anteriormente, como se puede observar en la figura 3, debido posiblemente al rol que pueden estar jugando los microorganismos benéficos con las plaga. A partir del segundo muestreo, todos los tratamientos resultaron con diferencias marcadas, exhibiendo mayor interacciones entre ellos hasta el quinto muestreo. Desde el segundo muestreo hasta el cuarto, el tratamientos químico y testigo absoluto expresaron una mayor supresividad al fitonematodo, como consecuencia para el tratamiento químico, por las dos incorporaciones de nematicidas aplicadas hasta el tercer muestreo, mostrando un incremento posterior por encima del resto y marcando otra caída con una tercera incorporación de nematicida al sexto muestreo. Para el testigo absoluto posiblemente por haberse instalado al momento de aleatorizar los tratamientos en un área con bajas poblaciones del fitonematodo, ya que, con el tiempo la población comenzó a incrementarse significativamente después del cuarto muestreo. Respecto a los tratamientos con hongos endofíticos, T4 mostró una dinámica más estable y poco fluctuante durante todos los muestreos con respecto a los demás, donde el tratamiento T2 tuvo una drástica disminución en su población a partir del cuarto muestreo.

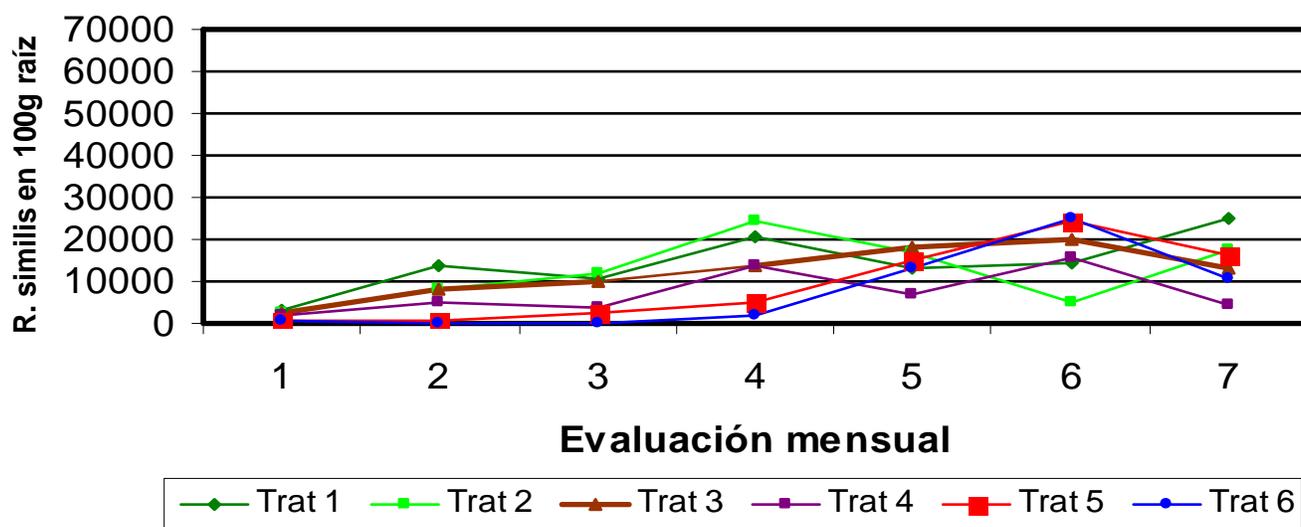


Figura 5. Efecto de hongos endofíticos sobre la dinámica poblacional de *R. similis* en el sistema radical de banano, después de 7 muestreos mensuales en campo definitivo. Finca DUACARI-2.

Para la variable de raíz funcional, plantas protegidas con hongos endofíticos, muestran valores que no difieren del testigo absoluto. Sin embargo al comparar los endofíticos con el tratamiento químico, se observa que los aislados T4 y T3 no diferencian estadísticamente, aunque manifiesten una producción radical menor. Entre los endofíticos, el T4 con 84.769g. de raíz, presenta la mayor producción radical, sin diferir del T3. Para raíz muerta, los tratamientos con hongos endofíticos correspondientes a T3 y T4, no difieren estadísticamente del testigo absoluto y tratamiento químico, siendo este último con 7.069g, el de menor valor.

Con base en los resultados de las densidades poblacionales de *R. similis* obtenidos en las cuatro fincas (BANANITA, CARMEN-2, FORMOSA y DUACARI-2), se puede decir que no existen diferencias entre plantas protegidas con hongos endofíticos y el tratamiento químico, por lo cual puede sustituirse sin afectar el manejo del fitonematodo, brindando además un aporte al reestablecimiento del equilibrio de la biota del suelo al reducir la contaminación por causa de los nematicidas.

## 4.2. Variables de Promoción de Crecimiento

Trabajos con *Trichoderma* sobre pasto estrella realizados por Agudelo *et al.* (2001) demostró una ganancia en peso seco cercana al 23%, mientras en longitud de raíces y estolones incremento en un 30%. En banano, Meneses (2003), demostró que las plantas inoculadas con los hongos endofíticos correspondiente al genero *Trichoderma*, tuvieron un incremento altamente significativo en peso del sistema foliar con un 29%, al compararlo con el testigo absoluto. Resultados similares fueron encontrados por zum Felde (2002), quien encontró que plantas inoculadas con los aislados del genero *Trichoderma* y *Fusarium*, incrementan el peso de raíces y del sistema foliar en plantas de banano. Todos estos resultado han sido satisfactorios, pretendiéndose ratificarlos en este experimento bajo condiciones de campo, donde las variables equivalentes a este parámetro se evaluaron en dos etapas, la primera correspondió en la etapa de endurecimiento, llevada a cabo en un vivero comercial, donde se midieron las variables de altura, diámetro y emisión foliar, y la segunda en campo definitivo, donde se repitieron las mismas variables y únicamente se cambio el diámetro por circunferencia.

### 4.2.1. Etapa de vivero

Al analizar la promoción de crecimiento en vivero, estos presentaron diferencias altamente significativas a favor a las planta inoculada con hongos endofíticos ( $p < 0.0001$ ). El cuadro 12 muestra la variable altura, donde los endofíticos superaran al testigo, mostrando diferencias significativas, siendo el tratamiento T2 con 18.155cm el de mayor valor y el testigo con 11.81cm el menor. La variable diámetro, mostró también un valor superior en las plantas inoculadas con endofíticos, en comparación con el testigo absoluto. Sin embargo, entre los hongos endofíticos, el tratamiento T2 con 1.243cm presenta el mayor diámetro. La variable de emisión foliar, mostró la misma tendencia; con excepción del T4, todos los hongos endofíticos presentaron mayor numero de hojas (8.110 h, 8.053h y 7.793h respectivamente). Este efecto de promoción de crecimiento fue demostrado por Pocasangre (2004), quien encontró una promoción de crecimiento para las variables altura, diámetro y emisión de hojas en plantas de banano. Vu (2005) encontró en aislados no patogénicos de *F. oxysporum*, efectos sobre el crecimiento de banano en un periodo de 14 semanas, influyendo significativamente sobre el crecimiento de banano en un 16-28% de peso fresco en raíces y

tallos, en ausencia de *R. similis*. Similares resultados fueron documentados con endofíticos no patogénicos de *Fusarium sp*, promoviendo crecimiento en diferentes cultivares de banano, tres meses después de la inoculación (Niere *et al.*, 1999; Pocasangre, 2000).

**Cuadro 12.** Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de un mes de crecimiento en condiciones de vivero comercial.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Emisión foliar
T1	MT-20	17.762 a	1.186 b	8.110 a
T2	S2	18.155 a	1.243 a	7.793 a
T3	S9	18.095 a	1.173 b	8.053 a
T4	P12	13.610 b	0.978 c	7.093 b
T5	Testigo	11.810 c	0.869 d	6.860 b

N = 100. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

#### 4.2.2. Etapa de campo

Esta muy bien documentado que algunos agentes biocontroladores como hongos micorrizicos arbusculares y rizobacterias tienen efecto positivo en el crecimiento de la planta y su sanidad (Elsen *et al.*, 2003). Reissinger (1995), probó que *Fusarium oxysporum* V4W5 obtenido del este de África, mostró un efecto positivo en el crecimiento del banano, pero no afectan reproducción de *R. similis*.

##### 4.2.2.1. BANANITA

Para la variable altura y circunferencia de pseudotallo, plantas protegidas con hongos endofíticos presentaron a favor, diferencia significativa en comparación con el testigo absoluto. Sin embargo para ambas variables no se registraron diferencias significativas con el tratamiento químico (cuadro 13). Entre los endofíticos, los tratamientos T2 y T3 presentan una mayor altura, mientras en la variable de circunferencia sobresalen T2 y T4.

Cuadro 13. Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca BANANITA.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Circunferencia (cm)	Emisión foliar
T1	MT-20	63.088 a	31.485 a	5.234 a
T2	S2	61.593 a	32.114 a	4.924 b
T3	S9	61.558 a	30.800 a	4.738 b
T4	P12	61.191 a	31.511 a	5.024 ab
T5	Químico	60.192 a	32.058 a	4.861 b
T6	Absoluto	50.644 b	27.811 b	4.769 b

N = 25. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

En la variable de emisión foliar, el cuadro 13 muestra que plantas protegidas con hongos endofíticos superan al testigo absoluto en número de hojas emitidas por mes, especialmente el tratamiento T1 que tiene la mayor cantidad de hojas emitidas con 5.234 hojas, además de ser estadísticamente diferente. Al comparar los aislados con el tratamiento químico, todos lo superan en valor, excepto T3. Estos valores comprueban que plantas inoculadas con endofíticos, proveen un estímulo de crecimiento, en comparación con planta testigo, siendo de mucha importancia este efecto debido a que está comprobado que la emisión foliar representa dentro del comportamiento fisiológico de la planta, un indicador de producción, por la capacidad de fotoasimilados que puede proveer, influyendo en la unidad de producción.

La promoción de crecimiento ejercida por los hongos endofíticos, puede deberse a la inducción de resistencia que se transmiten a la planta por los aislados contra el ataque de fitonematodos, permitiendo una mejor circulación de los nutrientes por los conductos vasculares al reducir su daño (Wuyts *et al.*, 2005). De igual forma, el estímulo mostrado por los hongos para incrementar la producción de biomasa radical en la planta, mostrado en vivero como en campo, permite una mejor absorción de los nutrientes disponibles en el suelo, estimulando más la promoción de crecimiento.

#### 4.2.2.2. CARMEN-2

La varianza de los tratamientos evaluados para altura y circunferencia fue altamente significativa ( $p < 0.0001$ ). Resultados mostrados en el cuadro 14, presentan en la variable altura, plantas protegidas con hongos endofíticos con valores muy superiores al testigo absoluto. Con respecto al tratamiento químico la superioridad sigue mostrándose para los endofíticos aun estadísticamente, excepto para T2 con quien no difieren. El tratamiento T4 posee el valor más alto (134.927cm) de los hongos endofíticos, y el tratamiento químico con 116.993 cm, registro una altura que supera solamente al testigo absoluto (97.181 cm).

Para la variable de circunferencia de pseudotallo, plantas protegidas con hongos endofíticos fueron estadísticamente superiores que el tratamiento químico y testigo absoluto. El tratamiento T4 con 36.818cm, presento el mayor valor, mientras el testigo absoluto el menor (28.413cm). En la emisión foliar, la varianza mostrada por los tratamiento fue altamente significativa ( $p < 0.0061$ ), donde las plantas protegidas con hongos endofíticos fueron superiores en valor y estadísticamente diferentes al testigo absoluto. Sin embargo al ser comparados con el tratamiento químico, solo los tratamientos T4 y T1 lo superan en valor aunque no difieran estadísticamente.

**Cuadro 14.** Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca CARMEN-2.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Circunferencia (cm)	Emisión foliar
T1	MT-20	128.401 ab	35.975 a	5.528 a
T2	S2	121.876 bc	35.211 a	5.314 bc
T3	S9	129.876 ab	35.682 a	5.403 abc
T4	P12	134.927 a	36.818 a	5.542 a
T5	Químico	116.993 c	32.398 b	5.486 ab
T6	Absoluto	97.181 d	28.413 c	5.271 c

n = 25. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

#### 4.2.2.3. FORMOSA

Para la variable altura, los valores reflejados por las plantas protegidas con hongos endofíticos, manifiestan diferencia altamente significativas en favor de los tratamientos T1, T2 y T3, en comparación al testigo absoluto (cuadro 15). Comparaciones del tratamiento químico y los aislados, expresan también los endofíticos diferencias significativas superiores, con excepción de T3 y T4, El tratamiento de mayor altura con 137.850cm, lo representa T2, seguido del endofítico T1 con 131.428cm, sin mostrar diferencias entre ambos, aunque si del resto. El testigo absoluto presenta el valor más bajo de todos los tratamiento con 103.188cm.

**Cuadro 15.** Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca FORMOSA.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Circunferencia (cm)	Emisión foliar
T1	MT-20	131.428 a	37.878 a	5.600 b
T2	S2	137.850 a	39.488 a	5.947 a
T3	S9	112.554 b	34.553 b	5.369 cd
T4	P12	105.038 bc	31.099 c	5.257 d
T5	Químico	112.359 b	33.907 b	5.521 bc
T6	Absoluto	103.188 c	31.187 c	5.237 d

n = 25. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Para emisión foliar, la variabilidad de los tratamientos siempre demuestran diferencias altamente significativas con el testigo absoluto, excepto los tratamientos T3 y T4 (cuadro 15). Comparaciones del tratamiento químico con los aislados, muestran solamente al T2 superior al químico. El endofítico T2 con 5.947 hojas, es el que expreso mejor efecto para esta variable, diferenciándose de todos los tratamientos evaluados.

#### 4.2.2.4. DUACARI-2

Esta finca a lo largo del ciclo productivo, mostró una varianza altamente significativas con respecto a los tratamientos para todas las variables ( $p < 0.0001$ ). Sin embargo, el absoluto presento un comportamiento superior a los hongos endofíticos, para las variables evaluadas. Posiblemente esta respuesta se deba también al efecto de la microbiota existente en la finca

como se menciona anteriormente, o bien, a bajos niveles de inóculo de *R. similis* como lo demuestra el cuadro 11. Los resultados contenidos en el cuadro 16, muestran al testigo absoluto con una altura de 140.192cm, siendo este el valor más alto de todos los tratamientos evaluados. Sin embargo, el endofítico T4 con 139.377cm, representa el segundo valor en altura sin mostrar diferencia estadística del testigo absoluto y tratamiento químico. Mientras que en el segundo grupo, los endofíticos restantes muestran a T2 con el menor valor (116.873cm), pero sin diferir de los tratamientos T3 y T1.

**Cuadro 16.** Efecto de hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento en banano cultivar Valery Musa (AAA), después de 6 muestreos mensuales en condiciones de campo. Finca DUACARI-2.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Circunferencia (cm)	Emisión foliar
T1	MT-20	117.863 b	33.681 b	5.336 c
T2	S2	116.873 b	33.596 b	5.599 b
T3	S9	121.087 b	34.388 b	5.551 b
T4	P12	139.377 a	38.239 a	5.891 a
T5	Químico	133.830 a	37.347 a	5.831 a
T6	Absoluto	140.192 a	37.839 a	5.894 a

\*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Similar comportamiento a la altura, presentaron los tratamientos en las variables de circunferencia y emisión foliar, evidenciándose dos grupos que difieren estadísticamente, entre ellos, donde el primero contiene los valores más altos de las variables, representado por el absoluto como el mejor tratamiento seguido de T4 y tratamiento químico. El segundo grupo contiene a los endofíticos restantes con valores por debajo del primer grupo.

Estos resultados obtenidos en las variables de crecimiento para las cuatro fincas, además del estímulo conferido directamente por los hongos endofíticos, superando al testigo absoluto y muchas veces al tratamiento químico, evidencian el efecto de promoción de crecimiento de estos microorganismos. Dicho estímulo puede deberse como consecuencia a la producción de biomasa radical y biocontrol ejercido sobre el fitonematodo por parte de los hongos endofíticos, permitiendo una mayor eficiencia del sistema radical en la exploración de nutrientes (Sikora & Pocasangre, 2004).

### **4.3. Variables de Rendimiento**

Las variables de rendimiento permiten conocer si el efecto de los endofíticos como biocontroladores del fitonematodo *R. similis* y promotores de crecimiento en el cultivo de banano, influyeron en forma positiva sobre el rendimiento obtenido al final del ciclo. Estudios realizados por Serrano (2005), muestran que un buen desarrollo radical conlleva a mejorar la productividad de la finca. También Speijer et al., (1994) y Fogain. (1997), mencionan que existe una correlación positiva entre la densidad de los fitonematodos y la necrosis radical. Estas variables juegan un papel importante en la unidad productiva, al momento de obtener y transformar los nutrientes en fruto.

Las variables de producción, se realizaron con un tamaño de muestra distinto para cada finca, debido a la influencia de factores abióticos y bióticos a que fue sometido el experimento, provocando una distribución desigual de la producción en el tiempo por cada tratamiento, mostrándose más afectado los tratamientos T3 y el testigo absoluto con el retraso de la cosecha.

#### **4.3.1. BANANITA**

Esta finca presento un ciclo mayor que las otras fincas, debido que fue la última en sembrarse, además de poseer suelos de menor calidad, provocando un retraso de dos meses para alcanzar el punto más alto de producción y poder realizar las evaluaciones respectivas.

El peso del racimo obtenido de los distintos tratamientos evaluados, muestra a tres hongos endofíticos con superioridad al testigo absoluto, de los cuales T4 y T2 difieren de este. Comparaciones del tratamiento químico con los aislados no difieren estadísticamente, excepto T1 que contiene el menor valor (cuadro 17). El endofítico T4 con 37.39lb, se muestra como el tratamiento de mayor producción, sin diferir de T2, T3 y el químico. Similar comportamiento presentaron para la variable número de manos los endofíticos T4 y T2, mostrando igual numero (6.12 manos), siendo este valor superior para los otros tratamiento, aunque no se encontrara diferencia estadística del resto a excepción del endofítico T1 que produjo menos manos.

**Cuadro 17.** Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca BANANITA.

Trat	Código	Días a Floración	Días a Cosecha	Altura Hijo (cm)	Numero Manos	Peso Racimo (lb)
T1	MT-20	269 ab	76 a	202 a	5.69 b	30.91 b
T2	S2	262 bc	79 a	208 a	6.12 a	36.57 a
T3	S9	261 bc	82 a	200 a	5.83 ab	33.20 ab
T4	P12	279 a	67 b	195 a	6.12 a	37.19 a
T5	Químico	252 c	81 a	214 a	6.03 ab	36.59 a
T6	Absoluto	270 ab	80 a	203 a	5.89 ab	31.93 b

n = 32. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

En días a floración, tres de los cuatro endofíticos lo alcanzaron en menor tiempo que el testigo absoluto, sin embargo ninguno se diferencio estadísticamente. El tratamiento químico con 252 días, es el tratamiento que mostró mayor precocidad que el resto, sin diferir de los endofíticos T2 y T3. El tratamiento T4 acumuló el mayor número de días para alcanzar esta variable, junto al testigo absoluto y T1 (cuadro 17). Sin embargo, en el tiempo de parición a cosecha, es T4 quien logra llegar en menor tiempo con 67 días, supero estadísticamente a todos los tratamientos restantes. Adicionalmente, cuando se evaluó el efecto de los endofíticos con el hijo de sucesión, estos presentaron valores muy parecidos con el resto de los tratamientos, sin mostrarse alguna diferencia estadística para todos.

#### 4.3.2. CARMEN-2

Los resultados obtenidos para la variable de rendimiento indican que existieron diferencias significativas para el peso del racimo entre los tratamientos. El endofítico T4, presento el mayor rendimiento con 49.95lb, superando al testigo absoluto y tratamiento químico (cuadro 18). Con respecto al número de manos evaluado, el endofítico T4 registró superioridad a todos los tratamientos con 6.71 manos, aunque este valor no muestre diferencia estadística con los tratamientos T2 y el tratamiento químico.

En días a floración, plantas protegidas con hongos endofíticos fueron estadísticamente diferentes y mostraron mayor precocidad que el testigo absoluto y el tratamiento químico,

siendo T2 con 215 días, el mejor. El testigo absoluto alcanzó esta variable a los 248 días, representando el valor más alto, seguido del tratamiento químico con 226 días. De igual forma para los días a cosecha, los endofíticos mostraron precocidad con respecto al testigo absoluto y el tratamiento químico, con valores por debajo de estos. El testigo absoluto con 87 días presentó el mayor tiempo en alcanzar la variable evaluada, aunque solo se diferencia de los valores mostrados por T2 y T4. Adicionalmente la variable altura del hijo, el testigo absoluto, fue estadísticamente inferior a todos los tratamientos con 230cm, valor por debajo de los que muestran los endofíticos. Al comparar los hongos con el tratamiento químico, solo T1 y T4 tienen valores superiores, aunque no difiera de ninguno.

**Cuadro 18.** Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca CARMEN-2.

Trat	Código	Días a Floración	Días a Cosecha	Altura Hijo (cm)	Numero Manos	Peso Racimo (lb)
T1	MT-20	224 bc	83 ab	273 a	6.42 bc	46.05 b
T2	S2	215 d	82 b	252 b	6.46 abc	45.61 b
T3	S9	217 cd	83 ab	254 b	6.04 d	40.78 c
T4	P12	225 b c	81 b	270 a	6.71 a	49.95 a
T5	Químico	226 b	86 ab	264 ab	6.66 a b	49.18 a
T6	Absoluto	248 a	87 a	230 c	6.27 cd	46.03 b

n = 100. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

#### 4.3.3. FORMOSA

El peso de racimo muestra estadísticamente superior a 2 hongos endofíticos en comparación al testigo absoluto y tratamiento químico, siendo los aislados T1 y T2, los que registraron los mejores pesos de racimo con 48.82lb y 61.78lb respectivamente. Similar comportamiento se muestra para la variable numero de manos, donde el endofítico T2 con 6.82 manos, supera en valor y estadísticamente a todos.

En días a floración, existieron diferencias altamente significativas entre tratamientos, siendo el más precoz el endofítico T2 con 200 días, sigue superando al resto por su precocidad, diferenciándose estadísticamente del testigo absoluto y tratamiento químico. Adicionalmente,

el resto de los aislados también superaron al testigo, mostrándose únicamente T4 sin diferencia. Con respecto al tratamiento químico y los hongos endofíticos, su precocidad solo fue superada por T2 y T1.

**Cuadro 19.** Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar Valery Musa (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca FORMOSA.

Trat	Código	Días a Floración	Días a Cosecha	Altura Hijo (cm)	Numero Manos	Peso Racimo (lb)
T1	MT-20	207 bc	83 ab	202 bc	6.25 b	48.82 b
T2	S2	200 c	85 a	245 a	6.82 a	61.78 a
T3	S9	216 b	82 ab	229 ab	5.56 c	43.14 c
T4	P12	234 a	81 ab	205 bc	5.78 c	38.68 c
T5	Químico	215 b	84 a	194 c	5.75 c	40.39 c
T6	Absoluto	238 a	79 b	217 ab	5.78 c	37.18 c

n = 28. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Para la variable días a cosecha, los tratamiento se comportaron de forma diferente, donde los endofíticos no lograron superar al testigo absoluto que en 79 días alcanzo la variable, sin embargo estadísticamente solo difiere de T2. Comparaciones de los aislados con el tratamiento químico, si manifiestan mayor precocidad, excepto de T2, aunque esos valores no difieran. Para altura del hijo, de los endofíticos solo T2 y T3 superan al absoluto, sin que ninguno muestre diferencia estadística con el. Al ser comparado el tratamiento químico con los aislados, este no supera a ninguno de ellos en valor y difiere de T2 y T3. De los endofíticos el de mayor promoción de crecimiento sobre el hijo, lo mostró T2 con 245cm, superando en altura a todos los tratamientos evaluados.

#### 4.3.4. DUACARI-2

Los resultados obtenidos de las variables evaluadas en esta finca se muestran en el cuadro 20, donde el efecto de los endofíticos en peso de racimo, solo superan con 66.28lb de T4 al testigo absoluto que obtuvo 65.12lb, siendo estos valores los más altos y diferentes del resto de los tratamientos evaluados. Sin embargo al comparar los aislados con el tratamiento químico, son T4 y T3 los que obtuvieron un mayor peso, aunque solo difiere de T4. Similar

comportamiento se expresa en la variable numero de manos, donde el endofítico T4 con 7.49 manos y testigo absoluto con 7.38 manos, son los que presentan los mejores resultados sobre el resto de los tratamientos. Mientras el tratamiento químico no logro alcanzar valores superiores a los aislados, excepto de T1.

**Cuadro 20.** Efecto de hongos endofíticos sobre la producción de banano, cultivar valery *Musa* (AAA), medidas al momento de la cosecha en finca DUACARI-2.

Trat	Código	Días a Floración	Días a Cosecha	Altura Hijo (cm)	Numero Manos	Peso Racimo (lb)
T1	MT-20	207 a	79 a	202 b	5.92 c	42.14 d
T2	S2	210 a	80 a	200 b	6.51 b	46.88 c
T3	S9	204 a	82 a	231 a	6.58 b	52.05 b
T4	P12	184 c	81 a	212 b	7.46 a	66.28 a
T5	Químico	195 b	82 a	196 b	6.49 b	51.30 b
T6	Absoluto	186 c	80 a	198 b	7.38 a	65.12 a

n = 57. \*Promedios acompañados de letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Estos resultados obtenidos muestran que como producto del biocontrol por parte de los endofíticos sobre el nematodo barrenador *R. similis*, y el estímulo de estos aislados sobre la unidad de producción en el desarrollo de biomasa radical y promoción de crecimiento, la producción de fruta de banano fue mayor en lo que respecta a peso de racimo y numero de manos en los tratamientos con hongos endofíticos que el testigo absoluto y el tratamiento químico, reforzando numerosos estudios al rededor del mundo que demuestran que un buen manejo de las poblaciones de fitonematodos, repercuten sobre el peso final del racimo (Davide & Marasigan 1995).

La variable días a floración muestra al endofítico T4 con 184 días, como el más precoz de los tratamientos evaluados, aunque el resto de los aislados no superan al testigo absoluto y tratamiento químico (cuadro 20). Diferente comportamiento se presenta en días a cosecha, donde T1 alcanzo la variable en menor tiempo, sin embargo estadísticamente todos los tratamientos se comportaron similar sin diferenciarse alguno. En relación a la altura del hijo,

el endofítico T3 con 231cm alcanzo el valor más alto, siendo el único que mostró además diferenciarse estadísticamente del resto de los tratamientos evaluados.

Todos estos resultados obtenidos, producto de la evaluación en el tiempo de cuatro fincas comerciales de banano, representan el primer estudio bajo condiciones de campo, pudiéndose comprobar la capacidad de los hongos endofíticos sobre el biocontrol del nematodo barrenador *Radopholus similis*, la promoción de crecimiento y en la producción, mostrando resultados superiores al testigo absoluto e igual o mejores que el químico.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

1. El análisis de la dinámica población de *R. similis* en plantas protegidas con hongos endofíticos, mantuvieron un mejor biocontrol que el testigo absoluto en las cuatro fincas a través de los siete muestreos mensuales, mostrándose además al endofítico T-2 (*T. atroviride* S-2), con diferencias estadísticas para las fincas BANANITA, CARMEN-2 y FORMOSA.
2. Plantas protegidas con hongos endofíticos presentaron un efecto de biocontrol sobre *R. similis*, demostrando superioridad al químico en las cuatro fincas, sobresaliendo T-2 (*T. atroviride* S-2) en BANANITA, FORMOSA y CARMEN-2, y para la finca DUACARI-2 el endofítico T-4 (*F. oxysporum* CNP P-12), superando en valor al químico, aunque no estadísticamente.
3. El control químico no mostró un manejo eficiente de las poblaciones del fitonematodo *R. similis*, debido que en tres de las cuatro fincas evaluadas (CARMEN-2, FORMOSA y DUACARI-2), no difirió estadísticamente del tratamiento que presentó la mayor densidad poblacional, a pesar de tres aplicaciones de nematicidas realizadas durante el tiempo de muestreos, en comparación a la única inoculación realizado con los endofíticos.
4. Como alternativa al manejo del fitonematodo *R. similis* en plantaciones comerciales de banano, el uso de plantas protegidas con hongos endofíticos representan un impacto positivo tanto a nivel ambiental como económico, ya que han demostrado una capacidad de supresión al fitonematodo, superando incluso al control químico.
5. Plantas protegidas con hongos endofíticos representaron una mejor sanidad radical que el testigo absoluto, diferenciándose estadísticamente T-2 (*T. atroviride* S-2), en las fincas CARMEN-2 y FORMOSA, mientras en BANANITA y DUACARI-2, esa diferencia no es significativa. Adicionalmente, en daño radical, los endofíticos muestran menos raíz muerta que el testigo absoluto, ha excepción de la finca DUACARI-2.

6. Durante la etapa de vivero, las vitro-plantas protegidas con endofíticos, representados en los tratamientos T-1 (*T. atroviride* MT-20), T-2 (*T. atroviride* S-2) y T-3 (*F. oxysporum* CNP S-9), mostraron una mayor promoción de crecimiento, en lo que respecta a altura, diámetro y emisión foliar, que el testigo absoluto. Este efecto de promoción de crecimiento, ocasionó que la siembra en campo definitivo se realizara con 2 semanas de anticipación a la fecha programada.
7. El estudio de las variables de promoción de crecimiento en campo definitivo, demostró que los cuatro hongos endofíticos, tienen un efecto positivo en estas variables, sin embargo T-4 (*F. oxysporum* CNP P12) en CARMEN-2 y DUACARI-2, y T-2 (*T. atroviride* S-2) en BANANITA y FORMOSA, fueron los que mostraron más consistencia y diferencias estadística en comparación al testigo absoluto.
8. Plantas protegidas con hongos endofíticos presentaron mayor producción, siendo T-4 (*F. oxysporum* (CNP) P12) con mejor peso de racimo y número de manos en las fincas BANANITA, CARMEN-2 y DUACARI-2, diferenciándose estadísticamente en comparación al testigo absoluto.
9. Plantas protegidas con hongos endofíticos muestran mayor precocidad en días a floración que el testigo absoluto en las cuatro fincas, sobresaliendo T-2 (*T. atroviride* S-2) y T-3 (*F. oxysporum* CNP S-9) en BANANITA y CARMEN-2. Mientras T-2 (*T. atroviride* S-2) supera a todos en FORMOSA y T-4 (*F. oxysporum* CNP P12) en DUACARI-2.
10. Plantas protegidas con hongos endofíticos presentaron menos días a cosecha que el absoluto en todas las fincas, encontrándose diferencias estadísticas en BANANITA con *F. oxysporum* (CNP) P12, en CARMEN-2 con *T. atroviride* S-2 y *F. oxysporum* (CNP) P12, en FORMOSA es *T. atroviride* S-2, mientras en DUACARI-2 no difiere estadísticamente ningún tratamiento.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar estudios orientados a conocer la transmisión y durabilidad de la protección de la planta madre sobre el hijo de sucesión, y determinar si el grado de biocontrol se mantiene en la siguiente generación.
- Caracterizar el sistema radical mediante programas de winrhizo, con el fin de determinar el efecto de los hongos endofíticos sobre la promoción de crecimiento.
- Estudiar el efecto biocontrolador y la promoción de crecimiento en la interacción hongos endofíticos-planta-fitonematodo, mediante el análisis de la cinética de cambios ultraestructurales.
- Incorporar en los estudios con hongos endofíticos, el comportamiento de las poblaciones de nematodos saprofitos, con el objetivo de determinar el impacto de los nematocidas y los endofíticos en la recuperación de la salud del suelo.

## 6. CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Agudelo, P.; Orduz, S.; Hoyos, L. 2001. Aislamientos de *Trichoderma* y *Glocladium* estimulantes de la germinación y el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) p. 4. *In*: Memorias XXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitopatología, Medellín.
- Altieri, M. A. 1992. Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. Valparaíso. Chile. Centro de Estudios en Tecnologías Aplicadas para América. 162 pp.
- Alves, E. J. 1993. Programa de melhoramiento genético da banana e do platano na EMBRAPA/CNPMP; planejamento, implantação e progressos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Cruz das Almas. 15(3): 83-94.
- Arauz Cavallini, L. F. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 1era edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 467 pp.
- Araya, M.; Centeno, M.; Carrillo, W. 1995. Densidades poblacionales y frecuencia de los nematodos parásitos del banano (*Musa AAA*) en nueve cantones de Costa Rica. *CORBANA* 20(43): 3-6.
- Araya, M. 1999. Metodología usada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces del banano (*Musa sp. AAA*). 16 pp.
- Araya, M. 2003. Situación actual del manejo de Nematodos en banano (*Musa AAA*) y platano (AAB) en el trópico Americano. *In*: Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de las Musáceas. (2003, Guayaquil, Ecuador). Programa y resúmenes. MUSALAC/INIBAP/FONTAGRO. p 183-184.
- Aubert, B. 1973. Particularités anatomiques liées au comportement hydrique des bananiers. *Fruits* 28(9): 589-604.
- Baker, R. R.; Paulitz, T. C. 1996. Theoretical basis for microbial interactions leading to biological control of soil-borne plant pathogens. *In*: Managing soil-borne plant pathogens (1996). Minnesota, USA. Ed. Robert May. The American Phytopathological Society. p. 50-79.
- Barea, J. M.; Azcon, C.; Azcon, R. 1997. Interacción between mycorrhizal fungi and rizosphere microorganisms within the context of sustainable soil-plant system. Blackwell Science, Oxford, p. 65-67.
- Benzing, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la Región Andina. Alemania. Necker-Verlag. 663 pp.
- Beugnon. M; Champion, J. 1966. Étude sur les racines du bananier. *Fruits* 21(7): 309-327.
- Bongers, T.; Bongers, M. 1998. Funcional diversity of nematodos. *Applied Soil Ecology* (10): 239-251.

- Cañizares Monteros, C. A. 2003. Estudio sobre poblaciones de hongos endofíticos provenientes de suelos supresitos al nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en plantaciones de plátano en la zona de Talamanca, Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 75 pp.
- Carballo, M. 2002. Control biológico y bioplaguicidas. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Notas para publicar. SN.
- Carroll, G. C. 1990. Fungal endophytes in vascular plants: Mycological research opportunities in Japan. *Trans. Mycol. Soc. Japan*, 31: 103-116.
- Catxatera, L.; Trillas-Gay, M. I.; Steinberg, C.; Alabouvette, C. 2002. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 467-476.
- Champion, J. 1968. El plátano. Editorial Blume. Barcelona, España. 247 pp.
- Clay, K. 1988. Fungal endophytes of grasses: Biological and chemical diversity. *Natural Toxins* (1): 147-149.
- Dadzie, B. K.; Orchard, J. E. 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Montpellier, Francia, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, 63 pp. (Guías técnicas INIBAP 2).
- Dantas, J. L. L.; Shepherd, W.; Dos, S.; Soares Filho, Z. J.; Cordeiro, S.; Do, O. E.; Silva, E. J.; Alves, A.; Da, S.; Sous y Oliveira. 1993. Programa de melhoramento genético da bananeira em execução no CNPMF/EMBRAPA: Abanicos obtidos, Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF . 43 pp. (EMBRAPA/CNPMF. Documentos, 47).
- Davide, R. G.; Marasigan, L. Q. 1995. Yield loss assessment and evaluation of resistance of banana cultivars to the nematodos *Radopholus similis* Thorne and *Meloidogyne incognita* Chitwood. *Phil. Agric.* 68: 335-349.
- Davide, R. G. 1996. Overview of nematodes as a limiting factor in *Musa* production. *In*: Frison, E. A.; Horry, J. P.; D. De Waele. (Eds.) *New frontiers in resistance breeding for nematode, Fusarium and Sigatoka*. INIBAP, Montpellier, Francia. p. 27-31.
- Dehne, H. W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular micorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopatology* 72: 1115-1119.
- Deter, M. E. (1996). *Studies on Application Methods for Endophytic Fungi for Biological Control of Radopholus similis* (Cobb) Thorne on Banana Diplom Thesis, University of Bonn, Germany. 100 pp.
- Deverall, B; Dan, E. 1995. Induced resistance in legumes. *In*: Hammerschmidt, P.; Kuc, J. (Eds.) *Induced resistance to disease in plants*. The Netherlands, Kluwer. Academic publisher. 152-168 pp.

- Díaz Blandon, J. U. 1999. Manejo de *Pseudomonas solanacearum* E. F. Smith con enmiendas y microorganismos antagónicos en tomate. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Dirac, M. F.; Menge, J. A. 2002. High temperatures are not responsible for lack of infection of citrus roots by *Phytophthora citrophthora* during the summer, but suppressive soil microorganisms may inhibit infection by *P. citrophthora*. Plant and Soil. 241: 243-249.
- Dochez, C.; Speijer, P. R.; Hartman, J.; Vuylsteke, D.; De Waele, D. 2000. Cribado de híbridos de Musa para la resistencia a *Radopholus similis*. InfoMusa. 9(2): 3-4.
- Duffy, B. K.; Defago, G. 1999. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. Applied and environmental microbiology 65(6): 29-38.
- Elsen, A.; Beeterens, R.; De Waele, D. 2003. Effects of an arbuscular mycorrhizal fungi and two plant-parasitic nematodes on *Musa* genotypes differing in root morphology. Biol. Fertil. Soil 38: 367-376.
- Esposito, E.; Da Silva M. 1998. Systematical and environmental application of the genus *Trichoderma*. Critical Review in Microbiology. 24: 89-98.
- FAO. 2004. Economía mundial del banano 1985-2002. Roma. 104 pp.
- Fernandez. E.; Mena, J.; Gonzales, J.; Marquez, M. E. 2005. Control biológico de nematodos en banano. p. 178-1192 *In*: Turner, D. W.; Rosales F. (Eds.). Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. Memorias. Montpellier France.
- Friting, B.; Regrind, M. 1993. Mechanisms of Plant Defense Responses. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, The Netherlands, 480 pp.
- Fogain, R.; Gowen, S. R. 1997. Damage to roots of *Musa* cultivars by *Radopholus similis* with and without protection of nematicides. Nematropica 27(1): 27-32.
- Fuchs, J.; Defago, G. 1994. Induction of resistance in tomato plants against *Fusarium* wilt by the nonpathogenic strain Fo47 of *Fusarium oxysporum*. Environmental and Biotic Factors in Integrated Plant Disease Control, 3<sup>rd</sup> EFPP Conference, The Polish Phytopathological Society, Poznan, Poland, 41 pp.
- Gauhl, F. 1994. Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morlet) on Plantain and Banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America. Ph. D. dissertation, Universität Göttingen, 1989. (translated to English from German by INIBAP, Montpellier, France). 120 pp.
- Gold, C. S.; Gemmill B. 1991. Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases: Proceedings of a Research Coordination Meeting. Cotonoun, Benin. 1993. Memoria. 447 pp.

- Gonzales, R. J. B.; Fernandez, G. E. 2003. Manejo alternativo de nematodos en musáceas. p. 36-38. *In*: Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de las musáceas. 2003, Guayaquil, Ecuador. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO
- Hallaman, J.; Sikora, R.A. 1994. Occurrence of plant parasitic nematodes and non-pathogenic species *Fusarium* in tomato plants in Kenya and their role as mutualistic synergists for biological control of root-knot nematodes. *International Journal of Pest Management*. 40: 321-325.
- Hammerschmidt, R.; Kuc, J. 1995. *Induced Resistance to Disease in Plants*. Kluwer Acad. Public., Dordrecht, The Netherlands, pp. 182.
- Hannan, G. E. 2001. *Trichoderma* spp., Including *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, *T. hamatum* and other spp. Deuteromycetes, moniliales (asexual classification system), (en línea). Consultado el 6 de julio del 2005. Disponible en: [http://www.birdhybrids.com/t-22 .htm](http://www.birdhybrids.com/t-22.htm).
- Hidalgo, N. 1999. *Uso de Trichoderma* spp. en combate biológico. San José. Universidad de Costa Rica.
- Hillocks, R. J.; Waller, J. M. 1997. Associations between soilborne pathogens and other soil-inhabiting microorganisms. *CAB International*. p. 351-364.
- Hoitink, H. A. J.; Boehm, M. J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37: 427-446.
- Hwang, S.; Ko. W. 2004. Cavendish banana cultivar resistant to *Fusarium* wilt acquired through somoclonal variation in Taiwan. *The American Phytopathological Society*. 88(6): 580-587.
- Jaizme, M. C.; Berta, G.; Gianinazzi, S. 1995. Effect of *Glomus intraradices* on root system morphology of micropropagated banana plants. COST Meeting, Dijon. 17-18 February.
- Jaizme, M. C.; Tenoury, P.; Pinochet, J.; Jaumot, M. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Glomus mosseae* in banana. *Plant and soil* 196: 27-35.
- Jaizme, M. C.; Rodríguez, A. S.; Piñero M. S. 2005. Efecto de los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) y de otros microorganismos de la rizosfera en el desarrollo del sistema radical del banano. *In*: Turner, D. W.; Rosales F. (Eds.). *Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo*. Memorias. INIBAP, Montpellier, France. p. 178-1192.
- Jiménez, J. 1999. *El control biológico de plagas en banano*. INISAV. CUBA.

- Jones, D. R.; Diekmann, M. 2000. Quarantine and the safe movement of *Musa* germoplasma. *In: Jones, D. R. (Ed.) Disease of Banana, Abaca and Enset.* CAB International, Wallingford, Oxon, UK. p. 409-423.
- Kerry B. R.; Evans, K. 1996. New strategies for the management of plant parasitic nematodes. *In: Hall R. (Ed). Principles and practice of managing soil borne plant pathogens,* APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. p. 134-152.
- Kiewnick S., Sikora R. A. 2003. Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* strain 251 for the control of root- knot nematodes. *Comm. Appl. Biol. Sci. Ghent University,* 68/4: 132-128.
- Kroon, B. A. M; Scheffer, R. J., and Elgersma, D.M. 1992. Induced resistance in tomato plants against *Fusarium* wilt involved by *Fusarium oxysporum*, *Fusarium spp.* *Dianthi,* Neth. J. Plant Pathol. p. 401-408.
- Latch, G. C. M. 1993. Physiological interactions of endophytic fungi and their hosts. Biotic stress tolerance imparted to grasses by endophytes. *Agriculture, Ecosystems and Environments,* 44: 143-156.
- Larkin, R. P.; Fravel, D. R. 1998. Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Plant disease* 82(9): 1022-1028.
- Laville, E. 1964. Études de la mycoflore des racines du bananier "poyo". *Fruits* 19(8): 435-449.
- León, J. 1987. *Botánica de los cultivos tropicales.* IICA. San José, Costa Rica.
- León, J. 2000. *Botánica de los cultivos tropicales.* 3 ed. San José, Costa Rica, Editorial Agroamérica. 522 pp.
- Linderman, R. G. 1994. Role of VAM fungi in biocontrol. *In Pfleger, F.L.; Linderman, R.G. (Eds) Mycorrhizae and plant health.* St. Paul Minnesota, USA. APS Press. p 1-25.
- Linderman, R. G. Paulitz, T. C. 1990. Mycorrhizal-rizobacterial interactions. *In: Biological control of soil-borne plants pathogens.* Hornby, D.; Cook, R. J.; Henis, Y.; Ko, W. H.; Rovira, A. D.; Shippers, B.; Scott, P. R. (Eds.). Wallingford, UK. CAB International. p. 261-283.
- Lozano Tovar, D. M.; Rodríguez S., M. N.; Vásquez A., N. C.; Sánchez Gutiérrez G. 2000. Efecto de *Metarhizium anisopliae* sobre plagas rizófagas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en Colombia. *Manejo Integrado de Plagas* 30: 58-64.
- Lugo Urribarri, L.; Rivas Platero, G. G.; Rojas Miranda, T; Vázquez, N. 2000. Opciones para el manejo de *Radopholus similis* en banano mediante hongos endomicorrízicos y compost. *Manejo Integrado de Plagas* 38: 28-38.
- Luc, M.; Sikora, R. A.; Bridge, J. 1990. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture.* London, England. CAB International. 615 pp.

- Malaguti, G. 1997. Apuntes acerca de las enfermedades de las plantas, causas y control. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 208 pp.
- Malinowski, D. P.; Belesky, D. P. 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science* 40(4): 923-940.
- Marin, D. H.; Barker, K. R.; Kaplan, D. T.; Sutton, T. B.; Opperman, C. H. 1999. Aggressiveness and damage potential of Central American and Caribbean Populations of *Radopholus* spp. in banana. *Journal of Nematology* 31(4): 377-385.
- Matta, A. 1989. Induced resistance to Fusarium wilt diseases. p 175-196. *In*: Tjamos, E. C.; Beckman, C. H. (Eds.) *Vascular Wilt Diseases of Plants. Studies and control*, Springer Verlag, Berlin, NATO ASI Series H28.
- Mendoza, A.; Sikora, R. A.; Kiewnick, S. 2004. Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* (strain 251) for the control of *Radopholus similis* in banana. *Comm. App. Biol. Sci.*, Ghent University, 69/3: v365-375.
- Meneses Hernández, A. 2003. Utilización de hongos específicos para el control biológico del nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb). Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 67 pp.
- Merchán, V. M.; 2003. Manejo integrado del Moko en cultivos de banano y platano. p. 183-184 *In*: Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoca negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de las Musáceas. (2003, Guayaquil, Ecuador). Programa y resúmenes. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO.
- Moore, N. Y.; Pug, K. G.; Smith, L. J.; Langdon, P. W.; Bentley, S.; Smith, M. K. 1999. Fusarium wilt of banana in Australia. p. 64-75 *In*: *Banana Fusarium wilt management: Towards sustainable cultivation*.
- Morandi, D.; Bailey, J.; Gianninazi, V. 1984. Isoflavonoid accumulation in soybeans roots infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Physiology and Plant Pathology* 24: 357-364.
- Muñoz Ruiz, C.; Virgen Calleros, G.; Herrera Estrella, A.; Olalde Portugal, V. 2001. Introducción de agentes de control biológico de *Rhizoctonia solani* en suelos solarizados o encalados en condiciones de invernadero. *Manejo Integrado de Plagas* 59: 10-14.
- Nelson, P. E.; Toussoun, T. A.; Marassas, W. F. O. 1983. *Fusarium* species, an illustrated manual for identification. Pennsylvania State University, University Park and London. 193 pp.
- Niere, B. I.; Speijer, P. R.; Sikora, R. A. 1999. A novel approach to the biological control of banana nematodes. *Deutscher Tropentag*, 1999.

- Niere, B. I. 2001. Significant of non- pathogenic isolate of *Fusarium oxysporum* Schlecht: Fries for the biological control of the burrowing nematode *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on tissue cultured banana. Ph. D. Thesis, University of Bonn, Germany. 118 pp.
- Ortiz, R. A.; Lopez, A., Ponchner, S.; Segura, A. 1999. El cultivo del Banano. EUNED. San José, C. R. 179 pp.
- Petrini, O.; Sieber, T. N.; Toti, L.; Viret, O. 1992. Ecology, metabolite production and substrate utilization in endophytic fungi. *Natural Toxins* 1: 185-196.
- Pinochet, J. 1986. A note on nematode control practice on bananas in Central America. *Nematropica*, 16(2): 197-203.
- Pocasangre, L.; Sikora, R. A.; Vilich, V.; Schuster, R. P. 2000. Survey of banana endophytic fungi from Central America and screening for biological control of *Radopholus similis*. *Acta Horticulturae* 531: 283-289.
- Pocasangre, L.; Sikora, R. A.; Vilich, V.; Schuster, R. P. 2000. Encuesta sobre los hongos endofíticos del banano de América Central y el cribado para el control biológico del nematodo barrenador (*Radopholus similis*). *InfoMusa* 9(1): 3-5.
- Pocasangre, L.; Sikora, R. A.; Araya, M. 2001. Estado actual de la situación nematológica en los bananos y plátanos en América Latina. *PROMUSA*. *InfoMusa* 10(2): 1-12.
- Pocasangre, L. 2002. Mejoramiento biológico de vitro-plantas de banano mediante la utilización de hongos endofíticos para el control del nematodo barrenador *Radopholus similis*. p. 33-39 *In*: Riveros, A. S.; Pocasangre, L.; Rosales, F. E. 2002. Inducción de resistencia y uso de tecnología limpias para el manejo de plagas en plantas. Memoria del taller internacional realizado en CATIE, Turrialba, Costa Rica, 27-30 de agosto.
- Pocasangre, L. 2003. Nuevas estrategias para el manejo de nematodos en musáceas. *In* Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoca negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de las Musáceas. (2003, Guayaquil, Ecuador). Programa y resúmenes. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO. 38 pp.
- Pocasangre, L.; zum Felde, A.; Meneses, A.; Cañizares, C.; Riveros, A. E.; Rosales, F.; Sikora, R. A. 2004. Manejo alternativo de fitonematodos en banano y plátano. p. 106-112 *In*: Memorias, XVI reunión internacional de ACORBAT, Oaxaca, México.
- Price, N. S. 1992. The origen and developmentof banana and plantain cultivation. p. 1-15 *In*: Gowen, S. (ed) *Bananas and Plantain*. Chapman and Hall, London, England.
- Raaijmakers, J. M.; Bonsall, R. F.; Weller, D. M. 1999. Effect of population density of *Pseudomonas fluorescens* on production of 2,4-Diacetylphloroglucinol in the rhizosphere of wheat. *Phytopathology* 89(6): 470-475.

- Ramírez, C. 1996. Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: Oportunidades en la fitoprotección. *In: X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales 8-12 de Julio. San José, Costa Rica.*
- Reissinger, A. 1995. Untersuchungen zur Wirkung endophytischer Pilze aus Bananen Wurzeln auf *Radopholus similis*. Diplomarbeit, Uni. Bonn.
- Rincón Gonzalez, A. A.; Leguizamon Caicedo, J.; Arbeláez Torres, G. 1992. Control biológico de *Rhizoctonia solani* con *Trichoderma* spp. en semilleros de café. *Cenicafé* 43(3): 73-83.
- Rivas Platero, G. G.; Rojas Miranda, T.; Cuervo Andrade, J. 1998. Interacción del hongo vesículo arbuscular *Glomus* spp. con *Meloidogyne arabicida* en tomate. *Manejo integrado de plagas* 47: 41-43.
- Rivera, C. G. 1999. Conceptos introductorios a la fitopatología . Combate de enfermedades de plantas. Organismos antagonicos. 1. ed. San José , Costa Rica. EUNED. 223 Pp.
- Riveros, A. S.; Leopivre, P. 1998. Mecanismos de defensa asociados con la resistencia total en la interacción *M. fijiensis*–*Musa*. p. 59-62 *In: Seminario internacional sobre producción de plátano. Memorias del 4 al 8 de mayo de 1998. Quindío. Armenia, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, Universidad del Quindío, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Quindío. Comité Departamental de Cafeteros de Quindío.*
- Robinson, J. C. 1996. Bananas and plantains. CAB International, England.
- Romero, R. 1998. Taller internacional sobre producción e banano orgánico y/o ambientalmente amigable. El control de la Sigatoka Negra en producción de banano orgánico. EARTH, Guácimo, Costa Rica. Memorias. INIBAP. p. 138-151.
- Rosales F. 1998. INIBAP a nivel global y regional. p. 11-13 *In: Picq, C. (ed.) Segundo seminario/taller de la red de información sobre banano y plátano de América Latina y el Caribe. Memorias del 10 al 11 de julio de 1997. San Jose, C.R.*
- Rosero, R. A. 1987. Banano y plátano: enfermedades y plagas . 1 ed. Medellín, Colombia. Edición AUGURA. pp. 68.
- Sarah, J. L. 1998. Las prácticas culturales como medio de control de nematodos en banano. p. 138-151 *In: Rosales, F. E.; Tripon, S. C.; Cerna, J. (Eds.). 1999. Producción de banano orgánico y/o, ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional realizado en la EARTH, Guácimo, Costa Rica, 27-29 de julio de 1998. Red internacional para el mejoramiento del banano y el plátano, Montpellier, Francia.*
- Sarah, J. L.; Pinochet, J.; Stanton, J. 1996. El nematodo barrenador del banano *Radopholus similis* Cobb. Plaga de *Musa* - Hoja divulgativa No. 1. Red internacional para el mejoramiento del banano y plátano, Montpellier, Francia.

- Sarah, J. L. 1989. Bananas nematodes and their control in Africa. *Nematropica*, 19(2): 199-217.
- Schipke, L. G.; Ramsey, M. D. 1994. Control of banana burrowing nematode (*Radopholus similis*) by fenamiphos applied through micro-irrigation in North Queensland. *Australia Journal of Experimental Agricultural* 34: 109-114.
- Schuster, R. P.; Sikora, R. A.; Amin, N. 1995. Potential of endophytic fungi for the biological control of plant parasitic nematodes. *Medicine Faculty Landbouww. University of Gent*, 60/3: 1947-1952.
- Schroth. M. N.; Hancock, J. G. 1982. Disease suppressive soil and root-colonizing bacteria. *Science* 216: 1376-1381.
- Sikora, R. A. 1992. Management of the antagonistic potential in agricultural ecosystems for the control of plant parasitic nematodes. *Annual Revue of Phytopathology* 30: 245-270.
- Sikora, R. A.; Pocasangre, L.E. 2004. New Technologies to increase root health and crop production. *InfoMusa*, 13(2): 25-29.
- Simmonds, N. W. 1966. *Bananas*, 2nd ed. Longman. London.
- Simmonds, N. W. 1973. *Los plátanos*. Editorial Blume. Barcelona, España. 539 pp.
- Smith, J.S. 1998. The role of phosphorus nutrition in interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with soilborne nematodes and fungus. *Phytopathology* 78: 371-374.
- Soguilon, C. E.; Magnaye, L. V., Natural, M. P. 1998. Enfermedad "BUGTOK" en banano. Hoja divulgativa No. 6. INIBAP, Montpellier, Francia.
- Soto, M. 1992. *Bananos. cultivo y comercialización*. 2 ed. San José, Costa Rica. 641 pp.
- Soto, M. 2002. *Banano, cultivo y comercialización*. San José, Costa Rica. 1 disco compacto, 8mm.
- Speijer, P. R.; Gold, C. S.; Karamura, E. B; Kashaia, I. N. 1994. Banana weevil and nematode distribution patterns in Highland banana systems in Uganda: preliminary results from a diagnostic survey. Pp. 285-289 *In: Adipala, E.; Bekunda, M. A.; Tenywa, J. S.; Ogenga-Latigo, M. W.; Mugah, J. O. (Eds.) African Crop Science Conference Proceedings, African Crop Science Society, Kampala, Uganda.*
- Stone, A. G.; Traina, S. J.; Hoitink, H. A. J. 2001. Particulate organic matter composition and *Pythium* damping-off of cucumber. *Soil Science Society of America Journal* 65: 761-770.
- Stover, R. H. 1962. Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other *Musa* species. *Phytopatol. Pap No. 4. CMI*. 117 pp.

- Stover, R. H. 1972. Banana, Plantain and Abaca Diseases. Kew, England.
- Stover, R. H.; Simmonds, N. W. 1987. Bananas. 3rd ed. Longman Group. England. 461 pp.
- Stover, R. H.; Simmonds, N. W. 1989. Bananas. 3rd ed. Longman, Singapore Publisher. 468 pp.
- Sturtz, A. V.; Ryan, D. A. J.; Coffin, A. D.; Matheson, B. G.; Arsenault, W. J.; Kimpinski, J.; Christie, B. R. 2004. Stimulation disease suppression in soils: sulphate fertilizers can increase biodiversity and antibiosis ability of root zone bacteria against *Streptomyces scabies*. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 343-352.
- Talavera S., M. E.; Bustamante, E.; Gonzalez, R.; Sánchez, V. 1998. Selección y evaluación en laboratorio y campo de microorganismos glucanólitos antagonistas a *Mycosphaerella fijiensis*. *Manejo integrado de plagas* 47: 24-30.
- Thrane, U. 1990. Grouping *Fusarium* section *Discolor* isolates by statistical analysis of quantitative high performance liquid chromatographic data on secondary metabolite production. *Journal of Microbiological Methods* 12: 23-39.
- Umaña, G. 2002. Manual para el manejo en campo, cosecha y poscosecha de banano orgánico de exportación para pequeños agricultores. San Jose, C.R. Editorama S.A. 57 pp.
- Vu, T. T. 2005. Modes of action of non pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes for bio-enhancement of banana toward *Radopholus similis*. Ph. D. Thesis, University of Bonn, Germany. 102 pp.
- Westphal, A., Becker, J. O. 2001. Impact of soil suppressiveness on various population densities of *Heterodera schachtii*. *Ann. Appl. Biol.* 138: 371-376.
- Wisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (Eds.) 1996. Plant Roots, the Hidden Half. Second edition. 102 pp.
- Wuyts, N.; Lognay, G.; Sagi, L.; Waele, D.; Swennen, R. 2005. Metabolitos secundarios en raíces y sus implicaciones para la resistencia a nematodos en banano (*Musa* spp) p. 178-192 *In*: Turner, D. W.; Rosales F. (ed). Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. Memorias. INIBAP, Montpellier, France.
- zum Felde, A. K. V. 2002. Screening of Endophytic Fungi from Banana (*Musa*) for Antagonistic Effects towards the Burrowing Nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. Thesis M. Sc. Bonn, Germany. Alemania. Universität Bonn. 53 pp.
- zum Felde, A.; Pocasangre, L.; Sikora, R. A.; Mancilla, R. 2002. Estudios sobre poblaciones de hongos endofíticos provenientes de suelos supresivos al nematodo barrenador *Radopholus similis* en plantaciones comerciales de banano en Bandegua. *In*: 2do encuentro de investigadores en Agricultura Orgánica. Memoria, Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ.

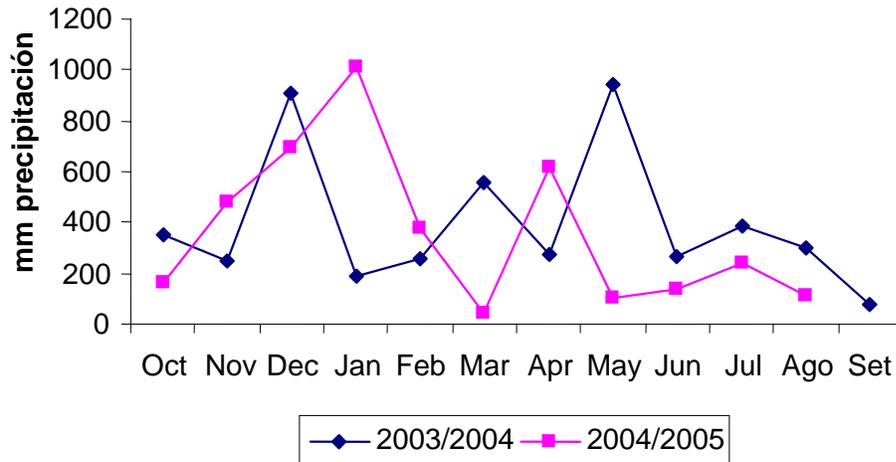
## ANEXOS

**Anexo 1.** Datos climatológicos de las estaciones meteorológicas Perdiz, Duacari, Bananita y Carmen, correspondientes al año 2003.

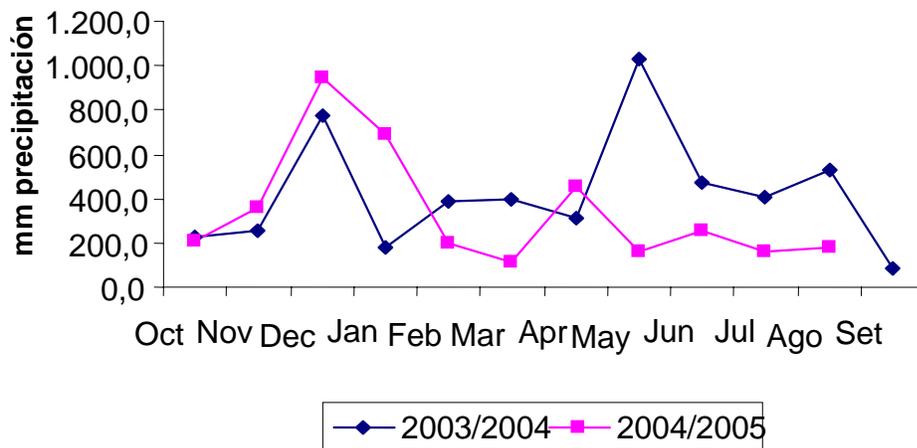
Estación	Temperatura °C			Precipitación (mm)		Humedad Relativa %
	Prom Anual	Min	Max	Día	Total	
PERDIZ	25.4	22.0	30.7	10.7	3922.3	80.4
DUACARI	26.3	22.8	32.1	10.7	3928.7	83.3
BANANITA	26.1	22.8	30.3	9.6	3543.7	82.1
CARMEN	25.8	22.4	31.1	10.4	3843.7	84.0

**Anexo 2.** Prueba de t para muestras independientes donde se analizaron las variables con respecto al efecto sobre las fincas en la zona Este y Oeste del Río Reventazón.

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	N° (1)	N° (2)	Media (1)	Media (2)	T	P
<i>R. similis</i>	Este	Oeste	1,200	480	36.81	30.18	-10.62	< 0.0027
Salud radical	Este	Oeste	1,200	480	64.20	80.02	-5.27	< 0.0001
Daño de raíz	Este	Oeste	1,200	480	9.65	12.61	-5.48	< 0.0001
Altura	Este	Oeste	2,092	1495	106.46	118.45	-5.27	< 0.0001
Circunferencia	Este	Oeste	2,092	1495	30.92	34.18	-5.48	< 0.0001
Emisión foliar	Este	Oeste	2,091	1494	5.12	5.77	-10.62	< 0.0001
Peso racimo	Este	Oeste	786	509	43.47	51.03	-10.03	< 0.0001
Numero manos	Este	Oeste	786	509	6.31	6.49	-3.03	< 0.0025
Días floración	Este	Oeste	786	509	235.13	204.38	19.93	< 0.0001
Días cosecha	Este	Oeste	786	509	82.15	81.22	1.42	0.1558
Altura hijo	Este	Oeste	784	509	244.60	209.46	11.26	< 0.0001



**Anexo 3.** Precipitación mensual promedio 2003/2004 y 2004/2005, para la zona este del río Reventazón, donde se ubican las fincas BANANITA y CARMEN-2. Datos tomados de la estación climatológica BANANITA.



**Anexo 4.** Precipitación mensual promedio 2003/2004 y 2004/2005, para la zona oeste del río Reventazón, donde se ubican las fincas DUACARI-2 y FORMOSA. Datos correspondientes a la estación climatológica DEBASA.

**Anexo 5.** ANAVA para la variable de biocontrol de *Radopholus similis* en BANANITA.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	95	1090.21	11.48	5.04	<0.0001
Error	324	737.31	2.28		
Total	419	1827.50			
<b>CV = 16.36</b>					

**Anexo 6.** ANAVA para la variable de raíz funcional en BANANITA.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	95	78341.48	824.65	1.46	0.0081
Error	324	182782.64	564.14		
Total	419	261124.18			
<b>CV = 42.34</b>					

**Anexo 7.** ANAVA para la variable de raíz muerta en BANANITA.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	95	6989.38	73.57	1.65	0.0008
Error	324	14487.09	44.71		
Total	419	21476.47			
<b>CV = 80.62</b>					

**Anexo 8.** ANAVA para la variable de biocontrol de *Radopholus similis* en CARMEN-2.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	95	1280.68	13.48	2.49	<0.0001
Error	324	14487.09	5.40		
Total	419	3031.46			
<b>CV = 27.38</b>					

**Anexo 9.** ANAVA para la variable de raíz funcional en CARMEN-2.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	95	182670.27	1922.84	2.53	<0.0001
Error	324	246429.32	760.58		
Total	419	429099.59			
<b>CV = 40.76</b>					

**Anexo 10.** ANAVA para la variable de raíz muerta en CARMEN-2.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
<b>Model</b>	95	11007.86	115.87	1.76	0.0002
<b>Error</b>	324	21390.07	66.02		
<b>Total</b>	419	32397.94			
<b>CV = 102.58</b>					

**Anexo 11.** ANAVA para la variable de biocontrol de *Radopholus similis* en FORMOSA.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
<b>Model</b>	95	1297.04	13.65	2.66	<0.0001
<b>Error</b>	324	1661.24	5.13		
<b>Total</b>	419	1827.502958.28			
<b>CV = 25.42</b>					

**Anexo12.** ANAVA para la variable de raíz funcional en FORMOSA.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
<b>Model</b>	95	246227.35	2591.86	2.68	<0.0001
<b>Error</b>	324	312896.25	965.73		
<b>Total</b>	419	559123.60			
<b>CV = 43.19</b>					

**Anexo 13.** ANAVA para la variable de raíz muerta en FORMOSA

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
<b>Model</b>	95	38296.35	403.12	2.73	<0.0001
<b>Error</b>	324	47863.73	147.73		
<b>Total</b>	419	559123.6			
<b>CV = 80.58</b>					

**Anexo 14.** ANAVA para la variable de biocontrol de *Radopholus similis* en DUACARI-2.

Source	DF	Squares	Mean square	F Value	Pr > F
<b>Model</b>	95	4167.98	43.87	5.27	<0.0001
<b>Error</b>	324	2699.68	8.33		
<b>Total</b>	419	6867.65			
<b>CV = 41.27</b>					

**Anexo 15.** ANAVA para la variable de raíz funcional en DUACARI-2.

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Squares</b>	<b>Mean square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Model</b>	95	246036.23	2589.85	2.53	<0.0001
<b>Error</b>	324	332095.28	1024.98		
<b>Total</b>	419	578131.51			
<b>CV = 40.52</b>					

**Anexo 16.** ANAVA para la variable de raíz muerta en DUACARI-2.

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Squares</b>	<b>Mean square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Model</b>	95	20604.96	216.89	2.08	<0.0001
<b>Error</b>	324	33795.37	104.31		
<b>Total</b>	419	54400.33			
<b>CV = 97.45</b>					