



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

ESCUELA DE POSGRADO

**Estudio de poblaciones de fitonematodos, nematodos de vida libre,
hongos endofíticos y su relación con propiedades físicas y químicas del
suelo en el cultivo del plátano en Rivas - Nicaragua**

por

JUAN DULEY CASTELLÓN

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

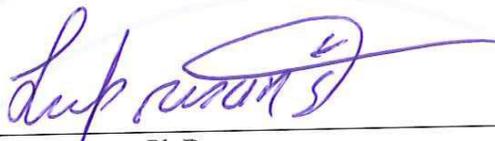
Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2009

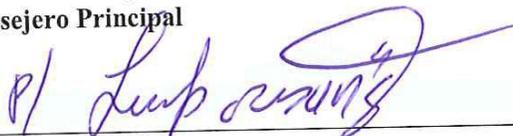
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

FIRMANTES:



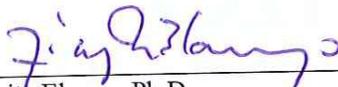
Luis E. Pocasangre, Ph.D.
Consejero Principal



Charles Staver, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



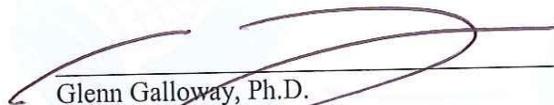
Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



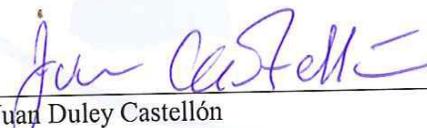
Fritz Elango, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gabriela Soto, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Juan Duley Castellón
Candidato

DIDICATORIA

A Dios por iluminarme en todo momento antes y durante el desarrollo de este trabajo.

A mi esposa.

Jeannette Ríos por brindarme todo su apoyo y paciencia durante esta experiencia.

A mi hija Vilmita Isabel Castellón Ríos por darle un nuevo sentido a mi vida.

A mis padres Paulo Fernando y Juana Isabel por conducirme hacia mi formación y enseñarme día a día en ser consecuente con los demás.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Luis Pocasangre por todo su apoyo y asesoría incondicional brindada durante la realización de este trabajo, sus sugerencias, consejos y orientaciones.

Al Dr. Charles Staver por su disposición de apoyarme en todo momento que le solicitare.

Al Dr. Fernando Casanoves por su apoyo paciente y desinteresado brindado durante el análisis estadístico de este trabajo.

Al Dr. Fritz Elango por sus sabias orientaciones durante la realización de este trabajo de investigación.

Al Doctor y taxónomo en nematodos de la universidad de california Howard Ferris, por su apoyo incondicional en el adiestramiento brindado para la identificaciones de poblaciones de nematodos.

A la M.Sc. Gabriela Soto por compartir su experiencia y conocimientos en Agricultura Ecológica y Suelo.

A Bioversity International y su equipo de trabajo en CATIE, por el apoyo brindado en este trabajo.

Al equipo de trabajo de la Asociación de Productores de Plátano y Guineo de Rivas, Nicaragua (APLARI) por todo su apoyo durante la fase de campo.

A los responsables de los laboratorio de MIP, Biotecnología y Suelos de la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería (EIAG) Rivas, Nicaragua por todo su apoyo logístico durante el desarrollo de este trabajo.

BIOGRAFÍA

Juan Duley Castellón, autor de este documento de investigación, nació el 1 de mayo de 1975 en el departamento de León, Nicaragua. Graduado en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria (UNA) como Ingeniero Agrónomo con orientación en Fitotecnia. Desempeña labores para la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-LEÓN como responsable de la Finca Experimental El Ojoche. Durante el período 2004–2007 se desempeñó como responsable del seguimiento del comportamiento fenológico de parcelas demostrativas de materiales mejorados de Musáceas a nivel nacional, coordinado por Bioversity International (Antes INIBAP) y cofinanciado por el Fondo Común de Alimentos Básicos. Fue representante por Nicaragua en Reunión Internacional del proyecto Evaluación y Difusión de germoplasmas mejorados de Musáceas, con la participación de productores (FAO–CFC-UNAN-LEÓN) Ámsterdam, Holanda. Durante el período 2009–2011 se desempeña como coordinador por Nicaragua del proyecto de Bananos en Sistemas Agroforestales a desarrollarse en cuatro países de América Latina, coordinado por Bioversity International y cofinanciado por Universidades de Alemania (Gtz).

CONTENIDO

DIDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
SUMMARY	XII
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 Objetivos del estudio	15
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	15
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
1.2 Hipótesis del estudio	16
2 MARCO CONCEPTUAL.....	17
2.1 El cultivo del plátano y su importancia económica	17
2.2 Los fitonematodos y su importancia en la producción de plátano	20
2.3 El nematodo lesionador <i>Pratylenchus</i> spp.	21
2.4 Nematodos de vida libre (NVL) en el cultivo del plátano.....	21
2.5 Microorganismos con potencial antagonico	22
2.6 Importancia de los Hongos endofíticos (HE) como alternativa para la promoción de crecimiento.....	23
2.7 Cepas no patogénicas de <i>Fusarium</i> como promotoras de crecimiento	24
2.8 Calidad y salud del suelo	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 Área del estudio	26
3.2 Pre-diagnóstico	26
3.3 Métodos de muestreo	26
3.4 Toma de muestra (diagnóstico).....	27
3.5 Determinación propiedades físicas y químicas relacionadas con la calidad y salud de suelo en musáceas.....	28
3.6 Método de análisis de las muestras en el laboratorio	29

3.6.1	<i>Análisis del sistema radical y extracción de fitonematodos a nivel de laboratorio</i>	29
3.6.2	<i>Extracción de fitonematodos (FN)</i>	29
3.6.3	<i>Extracción de nematodos de vida libre (NVL)</i>	30
3.6.4	<i>Aislamiento de hongos endofíticos (HE) del sistema radical del plátano</i>	31
3.6.5	<i>Preparación de suspensión de esporas</i>	32
3.6.6	<i>Inoculación de micro corno con hongos endofíticos</i>	32
3.6.7	<i>Descripción de diseño experimental</i>	33
3.6.8	<i>Variables evaluadas</i>	34
3.6.9	<i>Análisis de datos</i>	34
3.7	<i>Variables a evaluar para nematodos de vida libre</i>	35
3.7.1	<i>Índice de Diversidad (Shannon-Weiner) (H')</i>	35
3.7.2	<i>Índice de Dominancia (Simpson) (λ)</i>	35
3.7.3	<i>Proporción de Bacterívoros y Fungívoros (B/F)</i>	36
4	RESULTADOS	37
4.1	Pre- Diagnóstico.....	37
4.2	(-1) indica el número de productores que no realizan esta práctica	38
4.3	Poblaciones de fitonematodos	38
4.4	Nematodos totales, fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) en 100 g de suelo	43
4.5	Distribución porcentual de grupos tróficos en 100 g de suelo en las dos localidades	44
4.6	Índice de la comunidad de nematodos	46
	4.6.1 Proporción B/F.....	47
4.7	Resultados de análisis de suelo practicado en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua.....	48
4.8	Relación de fitonematodos y raíces con características físicas y químicas de suelo	49
4.9	Relación de NVL con características físicas y químicas de suelo	50
4.10	r=coeficiente de correlación, p=probabilidad de varianza	51
4.11	Hongos endofíticos encontrados.....	51
4.12	52	
4.13	Efecto de los hongos endofíticos sobre promoción de crecimiento.....	52
5	DISCUSION	54

5.1	Población de fitonematodos.....	54
5.2	Grupos tróficos de la comunidad de nematodos.....	55
5.3	Nematodos totales, fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) en 100 g de suelo.....	56
5.4	Distribución porcentual de grupos tróficos en 100 g de suelo, tierra firme, estación verano e invierno.....	57
5.5	Índice de la comunidad de nematodos.....	58
5.6	Análisis de suelo practicado en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua.....	59
5.7	Relación de fitonematodos y raíces con características de suelos.....	60
5.8	Relación de NVL con características físicas y químicas de suelos.....	61
5.9	Efecto de hongos endofíticos sobre promoción de crecimiento.....	61
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
6.1	CONCLUSIONES.....	63
6.2	RECOMENDACIONES.....	64
7	BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS		75

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. INFORMACIÓN OBTENIDA DE 20 LOTES DE PLÁTANO (PRE-DIAGNÓSTICO)	38
CUADRO 2. COMPOSICIÓN DE FITONEMATODOS EN 100 G DE RAÍCES ENTRE LOCALIDAD, ESTACIÓN Y NIVEL TECNOLÓGICO EN 16 LOTES DE PLÁTANOS, RIVAS, NICARAGUA.	41
CUADRO 3. COMPOSICIÓN DE FITONEMATODOS Y NEMATODOS DE VIDA LIBRE ENTRE LOCALIDAD, ESTACIÓN Y NIVEL TECNOLÓGICO EN 16 LOTES DE PLÁTANOS, RIVAS, NICARAGUA.	44
CUADRO 4. CLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE NVL Y PORCENTUAL DE GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATODOS EN TIERRA FIRME, CON MANEJO TECNOLÓGICO ALTO Y BAJO.	44
CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE NVL Y PORCENTUAL DE GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATODOS EN TIERRA FIRME, CON MANEJO TECNOLÓGICO ALTO Y BAJO.	45
CUADRO 6. CLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE NVL Y PORCENTUAL DE GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATODOS EN LA ISLA DE OMETEPE CON MANEJO ALTO Y BAJO.....	45
CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE NVL Y PORCENTUAL DE GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATODOS EN LA ISLA DE OMETEPE, CON MANEJO TECNOLÓGICO ALTO Y BAJO.	46
CUADRO 8. COMPORTAMIENTO DE ÍNDICES DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE ENTRE LOCALIDAD, ESTACIÓN Y NIVELES TECNOLÓGICOS EN 16 LOTES DE PLÁTANOS EN RIVAS, NICARAGUA.	47
CUADRO 9. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS PARA LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELO EN 16 LOTES DE PLÁTANO, RIVAS, NICARAGUA	49
CUADRO 10. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO CON LA PRESENCIA DE FITONEMATODOS EN EL SISTEMA RADICAL DE 16 LOTES DE PLÁTANO. RIVAS, NICARAGUA	50
CUADRO 11. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO CON LA PRESENCIA DE NEMATODOS EN 100 G DE SUELO EN 16 LOTES DE PLÁTANO, RIVAS, NICARAGUA.....	51
CUADRO 12. CEPAS DE HONGOS ENDOFÍTICOS AISLADOS DEL SISTEMA RADICAL DE PLÁTANO EN 16 LOTES. RIVAS, NICARAGUA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISEÑO DE MUESTREO EN CAMPO UTILIZADO PARA FITONEMATODOS, NEMATODOS DE VIDA LIBRE Y HONGOS ENDOFÍTICOS EN 16 LOTES DE PLÁTANO, RIVAS, NICARAGUA. P= PARCELA. (= PLANTA DE PLÁTANO)	28
FIGURA 2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE FITONEMATODOS DEL SISTEMA RADICAL DE PLÁTANO (ARAYA 1999)	30
FIGURA 3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE EN 100 G DE SUELO POR EL MÉTODO BAERMANN MODIFICADO (HOOPER 1961).....	31
FIGURA 4. PROTOCOLO PARA EL AISLAMIENTO DE HONGOS ENDOFÍTICO DE RAÍCES DE PLÁTANO (POCASANGRE 2000).....	32
FIGURA 5. PROTOCOLO PARA LA PREPARACIÓN DE SUSPENSIÓN DE ESPORAS DE HONGOS ENDOFÍTICOS (POCASANGRE 2000)	32
FIGURA 6. PROTOCOLO PARA LA INOCULACIÓN DE MICRO CORMO DE PLÁTANO CON HONGOS ENDOFÍTICOS PARA EVALUAR LA PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO (CAÑIZARES 2003).	33
FIGURA 7. COMPARACIÓN DE LAS INTERACCIONES Y DIFERENCIAS DE LA PRESENCIA DE ÓRDENES DE FITONEMATODOS DE 16 LOTES DE PLÁTANO EN RIVAS, NICARAGUA	42
FIGURA 8. ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE LSD FISHER PARA COMPARAR LAS PROPORCIONES DE NEMATODOS BACTERIÓFAGOS Y FUNGÍVOROS EN 16 LOTES DE PLÁTANO EN RIVAS, NICARAGUA.	48
FIGURA 9. EFECTO DE 44 AISLADOS DE HONGOS ENDOFÍTICOS EN LA PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL DE MICRO CORMO DE PLÁTANO (AAB) HARTÓN ENANO A NIVEL DE INVERNADERO. TA=TESTIGO ABSOLUTO O CONTROL.	53
FIGURA 10. EFECTO DE 44 AISLADOS DE HONGOS ENDOFÍTICOS EN LA PROMOCIÓN DEL PESO DE TALLO DE MICRO CORMO DE PLÁTANO (AAB) HARTÓN ENANO A NIVEL DE INVERNADERO. TA=TESTIGO ABSOLUTO O CONTROL.....	53

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue comparar poblaciones de fitonematodos, nematodos de vida libre (NVL), hongos endofíticos y las características físicas y químicas del suelo de 16 lotes de plátano en verano e invierno en dos estaciones del año, dos localidades y dos niveles tecnológicos de producción alto y bajo. Las variables respuesta fitonematodos y relaciones de propiedades físicas y químicas del suelo fueron analizadas con un ANAVA y las variables de NVL con los índices de diversidad Shannon y dominancia de Simpson. Se encontraron interacciones y diferencias significativas para: *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* y fitonematodos totales ($p=0.05$), Las bajas poblaciones de fitonematodos encontradas no alcanzan los umbrales económicos. Adicionalmente, no se registraron interacciones entre, índices de necrosis y la presencia de *Radopholus similis* por localidad, estación y nivel tecnológico. Con relación a los grupos tróficos de NVL, predominaron los bacterivoros seguido de los fitonematodos. Los NVL fueron más abundantes en la estación de invierno, que en verano. Los índices de diversidad de Shannon y el índices de dominancia de Simpson fueron significativos ($p=0.05$) únicamente entre estaciones y localidad. No se registró diferencias significativas en los índices de enriquecimiento por localidad, estación y niveles tecnológicos. El análisis de suelo aplicado a los 16 lotes registró diferencias significativas ($p=0.05$) únicamente para el nivel tecnológico alto de las dos localidades para las variables de P, Cu, zin y Mg. Se registró correlación negativa entre el índice de necrosis y la densidad aparente, así como entre las raíces funcionales y la profundidad real del suelo. Contrariamente, se determinó correlación positiva entre *Helicotylenchus* y la profundidad real, así como el pH y la presencia de *Pratylenchus* y raíz funcional. Se logro recuperar del sistema radical del plátano 59 aislamientos de hongos endofíticos de los cuales el 73% provinieron de lotes del nivel tecnológico bajo y 27% del alto. Un total de 44 aislados fueron utilizados para pruebas de promoción de crecimiento de microcormo de plátano hartón enano de los cuales tres tratamientos (T23, T17 y T20) promovieron el crecimiento del sistema radical y follaje en comparación con el testigo absoluto.

SUMMARY

The objective of this research was to compare the population of plant parasitic nematodes from the roots, free living nematodes (FLN), endophytic fungi and the chemical and physical soils properties in 16 plantain farms in summer and winter in two locations and two technological levels high and low. The variables of plant parasitic nematodes as well as the relationships of chemical and physical properties were analyzed with an ANOVA and the variables of free living nematodes with the Shannon diversity index and Simpson Dominance index. The results indicated that there were differences for *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* and total of plant parasitic nematodes ($p=0.05$). The low densities of plant parasitic nematodes cannot reach the economical threshold established for banana. In addition there were not interactions between necrotic index of the root and the *Radopholus similis* for locations, seasons as well as technological level. Regarding to trophic group of FLN the bacteria feeder was the predominant followed by plant parasitic nematode of the soil. In addition the population of FLN was higher in winter than in summer. The diversity index of Shannon and the dominance of Simpson detected differences ($p=0,05$) only in seasons and locations. Furthermore no statistical difference was detected for the enrichment index for locations, seasons and technological level. Concerning to the analysis of soils of 16 farms, detected statistical differences ($p=0,05$) only for the technological level for the variables P, Cu, Zinc and Mg. In addition it was detected a negative correlations between necrotic index of the roots and bulk density as well as functional roots and effective depth of the soil. On the other hand, it was found a positive correlation between *Helicotylenchus* and effective depth of the soil as well as pH with *Pratylenchus* and functional roots. A total of 59 endophytic fungi were recovered from the roots, from which 73% were isolated from plots with low technological level and only 27% from high level. A total of 44 isolates were tested in plant growth promotion bioassay using microcorm of the false horne plantain and the results indicated that the treatments (T23, T17, T20) were effective to increase the root and shoot weight in comparison with the control.

1 INTRODUCCIÓN

El banano y plátano son el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial, por ser el sustento económico y alimenticio de millones de personas en más de 120 países, principalmente en América Latina y el Caribe (ALC), donde la producción se encuentra en manos de pequeños y medianos productores, con manejo en su mayoría de los casos de manera tradicional, destinando el 87% de la producción al consumo local y el 13% al comercio internacional (FAO 2006).

La industria bananera es de gran importancia para el desarrollo socioeconómico en la región, pero es necesario modificar el sistema actual de producción de banano y plátano, empleando tecnologías que tiendan a reducir la cantidad de agroquímicos utilizados en la producción. Estas innovaciones tecnológicas deberán garantizar el incremento y mantenimiento de la salud y calidad de vida de los suelos, y disminuir la contaminación ambiental (Espinosa y Mite 2002; Rosales y Jaramillo 2004; Gauggel et ál. 2005).

Estudios de sistemas de producción agrícola en el mundo indican la importancia del ecosistema del suelo en la mayoría de los procesos esenciales para su salud, junto con la productividad y sostenibilidad de los cultivos que se desarrollan (Doran et ál. 1996). Dentro del suelo, los nematodos de vida libre desempeñan un papel muy importante. Los nematodos son los animales multicelulares más abundantes en el suelo y con frecuencia los más diversos, con muchas especies de nematodos encontrados, las cuales pueden ser asignadas a diferentes grupos ecológicos que pueden generar efectos benéficos y/o nefastos en el suelo. Muchas veces los efectos obedecen a las circunstancias, y pueden ocurrir muchas interacciones entre los diferentes grupos y especies de nematodos y microbiota presente (Hodda et ál. 1999). Entre las funciones más importantes de los nematodos en el suelo y los cultivos están: la capacidad de regular el nitrógeno inorgánico, regulación de saprófitos y regulación de rizobacterias o fijación de nódulos de nitrógeno. Estas funciones pueden verse ampliamente afectadas por prácticas agrícolas como pérdida de materia orgánica, uso de agroquímicos y cultivos que producen compuestos biocidas (Niblack 1989).

La fauna de nematodos puede ser efectivamente analizada y la estructura de la comunidad ofrece una herramienta valiosa para evaluar las condiciones del suelo. Los grupos funcionales de los nematodos de vida libre están asociados a la ubicación dentro de grupos tróficos. Sin embargo, una evaluación más completa de la calidad del suelo se debe complementar integrando estos dos factores (fauna y estructura de la comunidad de nematodos) para obtener un mejor entendimiento de la biodiversidad de los nematodos y su funcionamiento (Bongers y Bongers 1997). En los últimos años se han desarrollado numerosas investigaciones sobre el uso de los nematodos de vida libre como indicadores de la salud del suelo: salud uniforme, estabilidad estructural, sostenibilidad, cantidad de nutrientes, contaminación, etc. Estos nematodos pueden ser ubicados fácilmente en grupos que están basados en sus hábitos alimenticios y varios métodos han sido comprobados para interpretar las relaciones con los de calidad del suelo, de los cuales los nematodos son extraídos (Hunt 2000). Los nematodos son muy importantes a nivel de biotas funcionales, porque regulan la descomposición y mineralización de nutrientes. Los análisis de los conjuntos de nematodos presentes en el suelo se pueden enunciar en términos de grupos tróficos presentes, porque la relativa dominancia de ciertos grupos afecta la abundancia de otros (Parmelee et ál. 1995, Yeates et ál. 1993).

En ALC, en los últimos años, se ha registrado una considerable reducción en la productividad de banano y plátano; también se ha presentado un deterioro físico, químico y biológico de los suelos, como consecuencia principalmente del uso intensivo de agroquímicos para el control de fitonematodos (Ravic 2005) consecuentemente esto ha generado pérdida del equilibrio natural del suelo favoreciendo una mayor abundancia de las plagas asociadas a la rizosfera de suelos como los fitonematodos, por lo que desde hace tiempo se ha inclinado hacia la protección y conservación del medioambiente y se han estado dirigiendo estudios sobre posibles métodos de control biológico. El control biológico mediante el uso de bacterias y hongos endofíticos para el manejo de plagas y enfermedades representa una alternativa viable en la producción de banano y plátano (González y Fernández 2003). Los primeros antagonistas considerados fueron los hongos tramperos (*Arthrobotrys* sp., *Dactylaria* sp.). Sin embargo, es muy difícil de producir en masa y además, su eficiencia está ligada a

características del suelo muy estrictas (pH, materia orgánica, micro flora y micro fauna del suelo).

Pocasangre (2003) señala que recientes investigaciones sobre poblaciones de hongos endofíticos presentes en tejidos internos de raíces de banano y plátano demuestran que plantas protegidas con estos hongos han presentado un incremento en el peso radical y foliar en comparación con plantas no protegidas.

Actualmente, en Rivas se estima un área de siembra de 7,500 manzanas de plátanos (5281 ha) de éstas se cosechan y comercializan unos 400 millones de unidades al año, las cuales se encuentran en manos de pequeños y medianos productores, se han presentado reducciones en los rendimientos debido al daño asociado a los fitonematodos, a los que se le asocia el volcamiento de las plantas, reducciones de los ciclos productivos de 1 a 2 años, y una reducción significativa de los rendimientos (APEN 2008). Consecuentemente, con la presente investigación se propuso determinar la presencia de fitonematodos asociados a la rizosfera de 16 lotes del cultivo de plátano (Hartón enano, falso cuerno) además, identificar grupos tróficos de nematodos de vida libre y su variabilidad poblacional en cada localidad, también, determinar la presencia de hongos endofíticos como promotores de crecimiento en micro cormo de plátano (Hartón enano, AAB) a nivel de invernadero, Rivas, Nicaragua.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Comparar las poblaciones de fitonematodos, nematodos de vida libre, hongos endofíticos en dos niveles de tecnología y las características físicas y químicas del suelo en 16 lotes de plátano en Rivas, Nicaragua.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar la población de fitonematodos en época seca y época de lluvias.
- Determinar los grupos tróficos de nematodos de vida libre en el cultivo del plátano.

- Comparar los niveles de tecnología y su relación con poblaciones de fitonematodos y nematodos de vida libre con las propiedades físicas y químicas del suelo como indicadores de la calidad y salud de suelos.
- Determinar la presencia de hongos endofíticos y su potencial en la promoción de crecimiento en micro cormos de plátano hartón enano a nivel de invernadero.

1.2 Hipótesis del estudio

- Las poblaciones de fitonematodos en el cultivo del plátano difieren en las épocas seca y época de lluvia.
- Existen diferentes grupos tróficos de nematodos de vida libre asociados al cultivo del plátano.
- Los niveles de tecnología se relacionan con las poblaciones de fitonematodos y nematodos de vida libre, así como con propiedades físicas y químicas del suelo.
- Los hongos endofíticos provenientes de la rizosfera del plátano ejercen la promoción de crecimiento de micro cormo de plátano hartón enano a nivel de invernadero.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 El cultivo del plátano y su importancia económica

El plátano tiene su centro de origen en el continente Asiático, principalmente en las zonas de Filipinas, India y Nueva Guinea. El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden escitamineales, a la familia de las Musáceas, subfamilia Musoideae y tiene dos géneros *Musa* y *Encete*. Las especies más importantes dentro de esta familia son: *Acuminata* y *Balbisiana* (sección *Eumusa* género *Musa*), de donde por cruzamientos inter específicos han dado origen a la mayoría de los cultivares de plátano comestibles más importantes del mundo (Stover y Simmonds 1987). La subfamilia Musoideae tiene dos géneros: el *Encete* al cual pertenecen numerosas plantas ornamentales y el *Musa*. Morfológicamente, la planta de plátano consiste de un sistema de raíces fibrosas, un cormo subterráneo y un falso tallo de baja lignificación (pseudotallo) que sostiene las hojas, flores y frutos.

El cormo es un tallo subterráneo en el ápice donde se encuentra el punto vegetativo o meristemo apical, a partir de los cuales surgen las raíces y el pseudotallo. La forma del cormo está influenciada por la textura y estructura del suelo, puede variar desde cónica en suelos pesados a cilíndrica achatada en suelos livianos. El diámetro no excede los 30 cm. La consistencia suele ser carnosas debido a su alto contenido de parénquima.

Las Raíces tienen forma de cordón y aparecen en grupos de 3 ó 4. Son de color blanco cuando emergen y a medida que aumenta la edad de la planta se tornan amarillentas y duras. Su diámetro oscila entre 1.0 y 5.0 mm. En suelos fértiles, bien drenados y profundos, las raíces se pueden extender 1.5 m en profundidad y hasta 5.0 m lateralmente. También, las raíces forman conexiones y relaciones con otros organismos, como bacterias y micorrizas para trabajar juntas por el beneficio mutuo, confiriendo mayor capacidad en la absorción de agua, nutrientes y minerales esenciales.

Belalcázar et ál. (2003) señalan que todos los órganos de la planta de plátano son importantes y cumplen con una función determinada. Sin embargo, las raíces y las hojas podrían ser consideradas como los dos órganos más importantes, porque de su

comportamiento fisiológico y de su estado fitosanitario dependen la absorción de agua y elementos nutritivos y la actividad fotosintética, procesos estrechamente relacionados con la producción y rendimiento de un cultivar. La coloración de las raíces tiende a ser distinta conforme su edad; muchas veces cuando están recién emergidas del cormo presentan coloraciones de blanca a blanca cremosa, generalmente pueden ser suaves y frágiles y conforme aumenta la edad de la planta van cambiando su coloración de blanco cremoso a café, o café oscuro cuando está ya ha logrado su desarrollo completo. Su tamaño, color y grosor tiende a guardar algún tipo de relación con las características del suelo, principalmente con la textura.

La emisión de las raíces se da en la parte superior o debajo de la formación inicial de cada hoja, este proceso ocurre siempre en la base del cormo (parte inferior) en los primeros 30 cm de profundidad del suelo y tiende a disminuir hacia la parte superior. La emisión de las raíces primarias puede desarrollarse de manera horizontal, y pueden llegar a medir de 3.5 a 4 metros. El sistema radical generalmente tiende a desarrollarse en los primeros 10 a 20 cm, puede ser esta la razón de por qué no se deben realizar prácticas de laboreo profundo una vez que el cultivo se ha establecido.

El Pseudotallo lo forman cada una de las hojas desarrolladas, casi el 95% está constituido por agua; es a través de éste que circulan los nutrientes, además, sirve para el sostén y desarrollo del fruto y hojas. El pseudotallo se puede manifestar de distintos tamaños dependiendo de los clones a considerar (de 1 a 7 m de altura) y diámetro desde los 20 cm a 50 cm como máximo, la coloración difiere de una variedad a otra y de una región a otra, y muchas veces la tonalidad de coloración puede estar regulada por los factores climáticos (Belalcázar 1998).

El plátano (*Musa* AAB) es una de las principales fuentes de carbohidratos en la dieta de la población en los trópicos. Este cultivo representa en muchos países una fuente de gran importancia. Se estima un área de siembra aproximada de 5 290 107 ha, con una producción anual de 33,349,584 TM, de las cuales el 70% se concentra en los países de África; y el restante en las regiones de América Latina y el Caribe (27%) y Asia (3%). En América Latina, los países como Colombia (38%), Perú (19%) y Ecuador (8%) son los países con mayor

producción a nivel mundial (FAO 2006). El cultivo de plátano en muchos países se limita a unas pocas plantas aisladas en el campo, bordes o jardines. No hay comercialización organizada del cultivo (Lescot 2000). En América tropical los clones de los grupos de plátanos de fritura (AAB) y guineos de cocción (ABB) son de especial importancia, por el hecho de constituir un elemento básico en la alimentación local (León 2000).

La producción de *Musáceas* (plátanos) en Nicaragua se estima alrededor de 25600 ha, ubicándose el 78% en Rivas, 10% en Granada, 9% en Maya y 3% en León y Chinandega (CENAGRO–INEC 2001). El cultivo tiene gran importancia, no sólo por formar parte de la dieta alimenticia de las familias nicaragüenses, sino también, por ser fuente de empleos y generador de divisas, por lo que se considera rubro rentable desde el punto de vista económico y social. Además, es un cultivo que se produce en un 85% por los pequeños y medianos productores (CENAGRO – INEC 2001). En los últimos años, el cultivo ha venido incrementando el área física de siembra, pero los índices de rendimiento siguen siendo muy bajos, atribuidos principalmente a enfermedades como Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y los fitonematodos, a pesar de no contar con estudios que sustenten el grado de daño que estos últimos puedan estar provocando al cultivo (CENAGRO – INEC 2001).

Las exportaciones de plátano en Nicaragua alcanzaron los 3.5 millones de dólares durante el año 2008 (APEN 2008) centrándose un 80% de éstas en la zona de Rivas. Sin embargo, los ingresos que este cultivo proporciona son amenazados por un conjunto de plagas que afectan el anclaje y el área foliar de la planta, como: los fitonematodos, el picudo del plátano (*Cosmopolites sordidus*), la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), el gusano tornillo (*Castniomera* spp.), el moko (*Ralstonia solanacearum*) y la pudrición bacterial del pseudotallo, *Erwinia carotovora* (Jiménez et ál. 2005).

Actualmente los grandes productores de la zona han tratado de manejar los problemas fitosanitarios del cultivo con la aplicación de productos químicos (insecticidas, fungicidas y una amplia gama de nematicidas) muchos de los cuales se comportan como biocidas y contaminantes con fuerte impacto negativo sobre los organismos benéficos del suelo, las aguas subterráneas y la salud humana. Generalmente, los pequeños y medianos productores no tienen acceso a la compra de estos productos para realizar manejo fitosanitario y si algunos lo

hacen es en menor frecuencia (1-2 ciclos/año) sobre todo para el manejo de nematodos, Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y control de hierbas espontáneas (Jiménez et ál. 2005).

2.2 Los fitonematodos y su importancia en la producción de plátano

Un gramo de suelo contiene alrededor de 10,000 nematodos. Está ampliamente documentado que los fitonematodos son la plaga más importante del cultivo de plátano y banano, y están distribuidos en casi todas las zonas productoras del mundo, con más de 100 especies asociadas con la destrucción del sistema radical de las musáceas (Yépez 1972, Gowen y Quénéhervé 1990, Davide 1992) esto representa el daño más severo para el cultivo, pues conduce al debilitamiento generalizado de la planta y consecuentemente a su volcamiento, generando pérdidas mayores del 20% anual (Araya 2003).

La especies pertenecientes a los géneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Meloidogyne* son las que más afectan las plantaciones de banano y plátano, sin embargo, *Radopholus similis* es la especie de mayor importancia en la regiones tropicales y subtropicales, especialmente en plantaciones comerciales del subgrupo Cavendish, con reducciones de 30 a 50% en el rendimiento en Costa Rica y Panamá (Quénéhervé 1990, Davide 1992, Sarah 1998) por otra parte, en Guatemala y Honduras se reportan pérdidas que van de 10 a 20%, debido al ataque de estos grupos de fitonematodos.

En la actualidad, se discute sobre convertir el banano de un cultivo anual, bianual o trianual, debido a que se conoce que en plantaciones viejas los problemas con patógenos del suelo y foliares se incrementan con el tiempo. La experiencia comercial de siembras anuales con altas densidades de plátano ha demostrado que plantaciones jóvenes tienen menos problemas con patógenos, son altamente productivas y son económicamente rentables (Pocasangre et ál. 2004).

Muchos de los síntomas provocados por los grupos de fitonematodos pueden manifestarse de manera similar o distinta en el sistema radical, desde estrías superficiales a lesiones internas en la raíz (necrosis) deformaciones y abultamiento con aspecto nodular. En plantaciones con fuertes ataques de fitonematodos es común encontrar volcamiento de plantas

principalmente las que se encuentran con frutos en desarrollo, por lo que siempre es posible encontrar frutos y plantas de menor tamaño, consecuentemente los ciclos de producción y cosecha pueden retrasarse considerablemente (Yépez 1972, Gowen y Quénéhervé 1990).

2.3 El nematodo lesionador *Pratylenchus* spp.

El nematodo lesionador *Pratylenchus* es una importante plaga de *Musa*. Los daños que ocasiona son muy similares a los de otro parásito de las raíces de los bananos y plátanos como *Radopholus similis*. Tiene una distribución mundial muy parecida a la de *R. similis*, es probable que se haya difundido por el mundo con el material de siembra comercial. Es, asimismo, la causa de importantes daños en ciertas regiones del sudeste asiático, como en Tailandia donde es el principal nematodo que afecta al Pisang Awak (*Musa* ABB). En los países de América Central y del Sur, esta especie se muestra especialmente destructiva en los cultivares Cavendish (*Musa* AAA) de Honduras (Bridge et ál. 1997). En el continente Africano, *P. coffeae* está ampliamente extendido, donde se le reconocen importantes daños en África del Sur y en Ghana, sufriendo pérdidas de producción que llegan hasta el 60% en plantaciones de plátanos (*Musa* AAB). Su distribución está muy localizada en los otros países Africanos en los que, sin duda, se introdujo recientemente. En África occidental, generalmente se encuentra en poblaciones mezcladas con *Helicotylenchus multicinctus*, *Radopholus similis* y *Meloidogyne* spp. El nematodo lesionador parece multiplicarse bien en los cultivares de banano y plátano, incluso en aquellas variedades que han mostrado resistencia frente a *R. similis* (Bridge et ál. 1997).

2.4 Nematodos de vida libre (NVL) en el cultivo del plátano

Las especies de vida libre son abundantes, incluyen los que se alimentan de bacterias, hongos, y de otros nematodos. Existen libres en el mar, suelos húmedos y aguas continentales, siempre en sitios con algún grado de humedad, especialmente en hábitat en los que hay una intensa descomposición de materia orgánica. Los nematodos son el grupo de consumidores de bacterias y hongos más abundante y cosmopolita, por lo que tienen gran importancia en las cadenas tróficas (Poisson et ál. 1976). Los nematodos pueden dividirse en los siguientes grupos tróficos: bacterívoros (*Rhabditida*), fungívoros (*Aphelenchida*), omnívoros (*Dorylaimida*), depredadores (*Mononchida*) y parásitos (*Tylenchida*). De manera general, de la gran diversidad de nematodos existentes, muchos pueden estar situados dentro de alguna de

estas categorías antes señaladas y pueden determinarse de diversas formas, ya sea por identificación de la cabeza (con o sin estilete) forma del esófago ó de acuerdo a sus movimientos: lento ó rápido (Hunt 2000).

Los nematodos que viven en el suelo y los índices derivados del análisis de la estructura de sus comunidades pueden ser capaces de demostrar qué cambios en el manejo del suelo son benéficos o no para la ecología del suelo (Bongers 1990, Yeates 1999, Ferris et ál. 2001). Según estudio realizado por Pattison et ál. (2004) en suelos bananeros de Australia, el análisis de la estructura de la comunidad de nematodos es una eficaz herramienta que se puede usar junto con análisis físicos y químicos para desarrollar un entendimiento más profundo de cómo el manejo del suelo impacta en la salud y calidad de éste.

Salguero (2006) determinó grupos tróficos de nematodos de vida libre en Costa Rica, en plantaciones de banano y sostiene haber encontrado porcentaje más alto en el grupo *Tylenchida* 58% (fitonematodos), seguido por *Rhabditida* 33% (bacterívoros), y finalmente *Dorylaimida* 7% (omnívoros) y *Mononchida* y *Tylenchida* con 2% (depredador y fungívoros).

2.5 Microorganismos con potencial antagónico

La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo, por esto se les conoce como descomponedores primarios que mediante su metabolismo liberan gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas, para así obtener su fuente energética y alimenticia (Sikora 1992, Altieri 1995, Gliessmann 1997). Los hongos son un componente elemental en las comunidades microbianas para el equilibrio y buen funcionamiento de los suelos ya que actúan como parásitos (biótrofos, necrótrofos o patógenos), saprófitos o mutualistas facultativos u obligados (Agris 1998).

Los hongos que colonizan tejidos internos de las plantas sin causar síntomas en la planta hospedera son denominados hongos endofíticos (Carrol 1988, Clay 1988, Carroll 1990, Petrini et ál. 1992, Latch 1993). Los hongos endofíticos han tomado mucha importancia en sistemas de producción tropicales y subtropicales debido a su diversidad, así como su potencial como agentes de control biológico y promotores de crecimiento de distintos órganos

de las plantas. Los hongos endofíticos colonizan los tejidos y órganos internos de una planta sin causar ningún síntoma, confiriendo protección contra el ataque de agentes bióticos y abióticos (Carrol 1990, Latch 1993).

2.6 Importancia de los Hongos endofíticos (HE) como alternativa para la promoción de crecimiento

La palabra endófito se deriva del griego *endon*, que significa dentro y *phyte* que significa planta. Microorganismos antagonistas establecidos en el lugar de siembra antes o a la vez que el patógeno, pueden ser usados para prevenir la infestación de otros agentes con características patogénicas de los cultivos. Varios microorganismos han sido identificados como enemigos naturales de plagas como los nematodos, además de cumplir con funciones de promoción de crecimiento de distintos órganos de las plantas. Los más evaluados incluyen bacterias *Pasteuria penetrans* y *Bacillus thuringiensis* y los hongos *Paecilomyces lilacinus*, *Verticillium chlamydosporium*, *Hirsutella rhossiliensis*, *Catenaria* spp. *Fusarium* no patogénico y *Trichoderma harzianum*. Sin embargo, para la mayoría de ellos las formulaciones comerciales no están disponibles (Talavera 2003).

Los HE son también conocidos por el desarrollo de relaciones planta microorganismo mutualista donde actúan como antagonistas contra plagas y enfermedades (Benítez et ál. 2004, Harman et ál. 2004). El éxito de la mayoría de estos hongos obedece a su alta capacidad de reproducción, habilidad para sobrevivir bajo condiciones desfavorables, eficiencia en el uso de nutrientes, promoción de crecimiento e inducción de los mecanismos de defensa en las plantas.

Investigaciones tendientes en esta dirección, realizadas durante los últimos nueve años en la Universidad de Bonn, Alemania, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Costa Rica y en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Uganda y Nigeria han demostrado que hongos endofíticos presentes en el tejido interno de raíces de banano y plátano pueden ser utilizados como agentes biológicos de promoción de crecimiento y como agentes controladores de fitonematodos y enfermedades. Para el caso particular del control de nematodos se reportan reducciones de hasta el 90% de la población final de *R. similis* en el sistema radical de plantas de bananos protegidas con hongos

endofíticos, estos resultados han sido respaldados por varios experimentos repetidos en el tiempo bajo condiciones controladas (Pocasangre 2000, Pocasangre et ál. 2000, Zum Felde 2002, Cañizares 2003, Meneses et ál. 2003, Chaves 2007).

Pocasangre (2002) señala que estos hongos (HE) también pueden actuar activando mecanismos de resistencia en las plantas (incremento en la cantidad de raíces, peso de follajes, disponibilidad de oxígeno en el suelo, mayor disponibilidad de nutrientes y humedad del suelo) adicionalmente al biocontrol de nematodos, las plantas protegidas con hongos endofíticos han presentado un incremento en la longitud, área, volumen y peso del sistema radical en comparación con plantas no protegidas. Asimismo, el peso foliar y vigor general de las plantas han sido superiores que en plantas no protegidas. Probablemente, este fenómeno de promoción de crecimiento y vigor de la planta esté relacionado con la mayor superficie de exploración y absorción de nutrientes del sistema radical de las planta (Meneses et ál. 2003).

Dentro de las ventajas que presenta el uso de hongos endofíticos se puede destacar su fácil cultivo y multiplicación en medios de cultivo sintéticos, pueden ser conservados por mucho tiempo, producen alta cantidad de inóculo (esporas) tienen capacidad de recolonizar diferentes cultivares de banano y plátano y el costo de preparación y aplicación es más bajo que el uso de nematicidas (Pocasangre et ál. 2004).

2.7 Cepas no patogénicas de *Fusarium* como promotoras de crecimiento

En condiciones de campo, Menjivar (2005) determinó que plantas inoculadas con cepas no patogénicas de *F. oxysporum* presentaron un efecto positivo en la sanidad del sistema radical en las plantas protegidas, y sostiene que éstas presentaron menos raíz muerta, en comparación con el testigo. En cuanto a la variable de producción, las plantas protegidas presentaron mayor peso de racimos, además, presentaron un mayor número de manos y una reducción en los días a floración que plantas no protegidas, demostrando así notable superioridad con respecto al tratamiento con nematicida químico en cuatro lotes de banano comercial en la Zona Atlántica de Costa Rica. Barrios (2006) reporta haber encontrado diferencias significativas para las variables de promoción de crecimiento del área foliar ($p=0.0001$) y diámetro del pseudotallo ($p=0.0093$). El T7 registró el mayor valor para área foliar respecto al testigo (T8) y los otros tratamientos evaluados, mientras que el T6 presentó

el valor más alto para la variable diámetro del pseudotallo. Las variables de crecimiento: altura ($p=0.0223$), peso total planta ($p=0.0001$), peso aéreo ($p=0.0003$) y peso radical ($p=0.0013$).

2.8 Calidad y salud del suelo

La buena salud de un suelo se define como la capacidad de un suelo de funcionar dentro de un ecosistema, sostener la productividad biológica, mantener la calidad de su ambiente y promover el crecimiento de animales y plantas (Doran y Johnes 1996). Se asume que un suelo saludable es aquel que posee una red de alimentación intacta en donde todas las posiciones en la cadena alimenticia se presentan y funcionan apropiadamente (Neher 2001). La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos tienen la misma relevancia para todos los suelos o situaciones (USDA 1999). Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo como: realizando mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo, para monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo; comparar valores medidos con los de una condición del suelo estándar o de referencia. Para determinar la calidad y salud de suelos existen diversos métodos (Methods for Assessing Soil Quality, Trejo et ál. 1999, Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura), sin embargo, para efecto de este estudio se utilizó el método descrito en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura (USDA 1999) por ser práctico y sencillo. De este método se seleccionaron y evaluaron las variables cómo: densidad aparente, pH, textura y profundidad efectiva en el cultivo del plátano. En este estudio se consideró calidad de suelo similar a salud de suelo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área del estudio

El estudio se llevó a cabo en el Departamento de Rivas, ubicado en la parte sur del litoral pacífico de Nicaragua, a una altura promedio de 57 msnm (metros sobre el nivel del mar) entre las coordenadas 11°26' latitud norte y 85°49' longitud oeste, con temperaturas promedios de 27 a 32°C y precipitaciones anuales de 1400 a 1500 mm y humedad relativa en el ambiente que oscilan entre 40 a 75% en época seca y de 80 a 100% en períodos de invierno. Cuenta con dos estaciones bien marcadas con 6 meses de lluvia y 6 meses de verano y una extensión territorial de 2,161 km² y una población de 41,703 habitantes. Se caracteriza por presentar suelos de origen volcánico (Andisol), desde franco a franco limoso arcilloso, los cuales han sido utilizados para la explotación cañera, frutales, granos básicos, ganadería y el cultivo de las musáceas, particularmente plátano y guineos.

3.2 Pre-diagnóstico

Se realizó un pre- diagnóstico en campo con el objetivo de conocer el historial de manejo de cada lote y para esto se realizó un dialogo con cada uno de los productores apoyado por un formato de encuesta (Anexo 1) que incluía preguntas sobre tamaño del lote, manejo agronómico, material que utiliza para renovación de la plantación, tipo de tecnología que ha utilizado (vitroplantas, cormo, micro cormo, siembra directa de cormos, aplicación de nematicidas, dosis, aplicación de herbicidas, riego (goteo, aspersión, mangueras, baldes) y aplicación de fertilizantes químicos). Además, se corroboró que la plantación estuviese en la fase de floración – producción y que al menos tuviese 2 años de haberse establecido. El pre diagnóstico también permitió trazar los criterios de selección de los lotes en estudio de acuerdo al tipo de manejo aplicado y fueron agrupados en “alta” y “baja” tecnología.

3.3 Métodos de muestreo

Se realizaron 2 muestreos (uno en época de secano enero- abril y otro en período de lluvias junio-septiembre del 2009) en un total de 16 lotes de plátanos, de los cuales 8 se determinaron en la variedad Hartón enano (AAB) ubicados en las comunidades del municipio de Rivas, tierra firme y 8 en el cultivo (falso cuerno AAB) ubicados en las comunidades del

municipio de la Isla de Ometepe; Departamento de Rivas, Nicaragua. De una base de datos de 100 productores que integran la Asociación de Productores de Plátanos y Guineo de Rivas (APLARI).se seleccionaron 20 para ser entrevistados y de estos (20) se seleccionaron 16 para el estudio.

3.4 Toma de muestra (diagnóstico)

En cada localidad (Tierra firme - Isla de Ometepe) se tomaron 2 muestreos (uno en período de secano y otro en período de lluvias) y en cada época se tomaron las mismas 8 fincas y en cada finca (repeticiones) se delimitó un lote. Dentro de cada lote se delimitaron 6 parcelas (repeticiones dentro de finca) de 25 x 20 m (500 m²) y dentro de cada una de ellas se tomaron 3 plantas recién paridas/florecidas. El muestro del período de lluvia se tomó en los mismos lotes y parcelas delimitadas para el período de secano pero este es considerado independiente del anterior ya que se trataba de otras plantas. De esta manera se seleccionaron 16 fincas (lotes) divididas en dos niveles de tecnología (alta y baja) con 96 parcelas y 576 plantas muestreadas en las dos estaciones (secano= verano, lluvia=invierno). La Figura 1 ilustra el diseño del muestreo en una de las 16 fincas. En resumen 16 lotes x 6 parcelas/lote x 3 plantas /parcela x 2 estaciones = 576 plantas / 2 estaciones.

Asimismo, se extrajo una muestra de suelo con raíces (2 kg) en el centro de la planta madre e hijo (interface) se mezclaron para obtener una muestra compuesta y lograr mayor representatividad de cada parcela, la muestra se extrajo mediante el método tradicional (Araya 1999) el cual consistió en extraer la muestra de suelo y raíces con un palín de 28 cm de alto por 13 cm de ancho a 50 cm de la base de la planta (interface) en dirección hacia el centro de la calle y a 30 cm de profundidad, de esta muestra se extrajeron los fitonematodos y hongos endofíticos. Para la extracción de nematodos de vida libre se tomó una muestra de suelo con el uso de un barreno a 10 cm de profundidad y a 50 cm de interface (Salguero 2006). Para el análisis de suelo se extrajo una muestra de suelo con un barreno a 30 cm de profundidad en cada uno de los lotes estudiados. Cada muestra fue previamente codificada, y luego trasladada al Laboratorio de Suelos de la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería de Rivas (EIAG) para ser procesadas y analizadas.

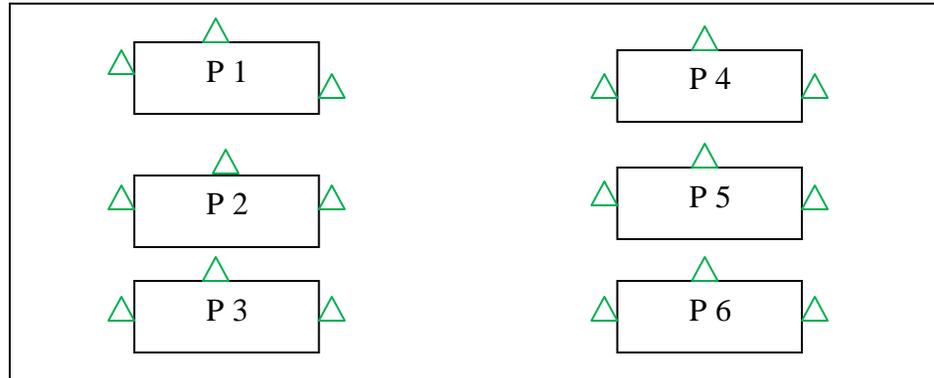


Figura 1. Diseño de muestreo en campo utilizado para fitonematodos, nematodos de vida libre y hongos endofíticos en 16 lotes de plátano, Rivas, Nicaragua. P= Parcela. (△ = planta de plátano)

3.5 Determinación propiedades físicas y químicas relacionadas con la calidad y salud de suelo en musáceas

Los análisis para determinar los indicadores de la calidad y salud del suelo se realizaron en el primer muestreo comprendido en la época de secano (enero – abril, 2009) y cada uno de ellos (densidad aparente, pH, textura y profundidad efectiva y análisis de suelo) se tomó a 50 cm de distancia de la planta madre e hijo (interface) en dirección hacia el centro de la calle.

La variable densidad aparente (DA) se tomó usando un cilindro metálico de 5 cm de diámetro por 5 cm de alto en suelo no disturbado, estos fueron rotulados con el código de cada lote y luego fueron llevados a los Laboratorios de Suelos de la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería (EIAG) donde se anotó el peso húmedo y fueron colocadas en bolsa de papel y secadas a 110 °C por 24 h en un horno eléctrico. La DA se obtuvo dividiendo el peso seco de cada muestra entre el volumen del cilindro al que corresponde, el porcentaje de humedad se determinó por diferencia entre el peso húmedo inicial y el peso seco final de cada muestra. El pH se tomó en cada una de las 6 parcelas en estudio y se logró determinar la acidez o alcalinidad de cada uno de los lotes en estudio. El pH se tomó en campo con un potenciómetro (pH ep by HANNA) el cual fue calibrado con soluciones buffer con pH

conocido de 4 y 7 y antes de tomarse el pH de cada parcela, el potenciómetro se pasaba por agua destilada por cada muestra analizada.

La variable textura del suelo se determinó en el laboratorio de suelo de la EIAG mediante el método granulométrico de Bouyoucos. La textura se tomó en una muestra compuesta de las 6 parcelas o replicas dentro de un lote. La variable profundidad efectiva se determinó con la ayuda de un barreno holandés con tamaño de 100 cm, y permitió conocer la profundidad real a la cual las raíces del cultivo pueden estar explorando nutrientes, este se realizó una vez y en una de las 6 parcelas, seleccionada de manera aleatoria.

3.6 Método de análisis de las muestras en el laboratorio

3.6.1 Análisis del sistema radical y extracción de fitonematodos a nivel de laboratorio

De las muestras extraídas en campo (sección 3.4) se separaron las raíces del suelo y se lavaron con agua potable para remover partículas de suelo y residuos. Seguidamente con un cuchillo o una tijera, se separaron las raíces funcionales (raíces de color blanco o crema) y no funcionales (raíces de color negro o necróticas) y se pesaron por separado. Posteriormente los segmentos de las raíces funcionales se depositaron en una bandeja plástica para tratar de homogenizar. De esta bandeja se tomaron 5 segmentos de 10 cm de largo para determinarle el índice de necrosis el cual permitió evaluar el daño interno provocado por los fitonematodos.

3.6.2 Extracción de fitonematodos (FN)

Se tomaron 25 g de raíces funcionales para determinar los fitonematodos, los cuales fueron extraídos por el método de macerado y filtrado primero se colocaron los 25 g de raíces funcionales en un contenedor plástico con 300 ml de agua potable. Se licuaron las raíces a baja velocidad por 10 segundos y luego en alta por 10 segundos. Seguidamente la solución del licuado se pasó en un juego de cribas superpuestas de arriba hacia abajo de 250, 106 y 0.25 μ m (60, 140 y 500 mesh). Se lavó la criba de 250 μ m por 2 minutos y la de 106 μ m por un minuto. El contenido de la criba de 0.25 μ m se recolectó en beaker para identificar y cuantificar la población de fitonematodos. Se tomaron alícuotas de 2 ml después de

homogenizar la suspensión y se transfirieron a micro cámaras de conteo. Se realizaron dos conteos de fitonematodos por alícuota en un microscopio invertido (UKA, *Technic Profesional Microscope*) con aumento de 40x. A partir de los nematodos cuantificados por alícuota, se estimó la cantidad total de nematodos por 100 g de raíz a través de una extrapolación con relación al volumen total de raíces procesadas. Asimismo, los fitonematodos se identificaron hasta nivel de grupo como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Proceso de extracción de fitonematodos del sistema radical de plátano (Araya 1999)

3.6.3 Extracción de nematodos de vida libre (NVL)

Para la extracción de los nematodos de vida libre se obtuvieron de una muestra de suelo extraída de cada replica (sección 3.4) utilizando un barreno holandés a 10 cm de profundidad (Salguero 2006) las que fueron depositadas en bolsas plásticas previamente identificadas con el número de finca y parcelas o replica de cada lote en estudio, posteriormente fueron trasladadas a los laboratorios de suelos de la EIAG y usando el método de Baermann modificado (Hooper 1961) el suelo de cada una de las 6 parcelas o réplicas, se pasó por un tamiz de 2 a 4 mm para remover partículas grandes. Se pesaron 250 g del suelo tamizado y se colocó sobre un filtro (papel tolla) que estaba sobrepuesto en un tamiz de 2 mm dentro de un contenedor plástico. Luego se le agregó agua potable al contenedor hasta que llegó al nivel del suelo, con el objetivo de mantener el suelo completamente húmedo y no sumergido. Después de transcurridas 48 horas, se procedió a filtrar el agua del contenedor por un tamiz de 25 μm por dos veces para colectar los nematodos de la solución y luego se transfirió la solución a un tubo de ensayo hasta completar 20 ml de solución de agua, en la cual se procedió a realizar un conteo general de los nematodos presentes. Las lecturas para determinar la cantidad total de nematodos de vida libre se realizaron en alícuotas de 2 ml.

Después de transcurrida una hora y logrando que los nematodos se concentraran en el fondo del recipiente (tubo de ensayo) se extrajeron 15 ml de 20 ml quedando 5 ml para realizar la identificación y conteo de los NVL. La identificación se realizó en alícuotas de 0.10 ml de la solución que se depositaron en un porta objeto al cual se le sobre puso un cubre objeto para ser flameado por 3-5 segundos logrando la inmovilización de los nematodos, lo cual facilitó su identificación a nivel de orden en un microscopio invertido (UKA, *Technic Professional Microscope*) (Figura 3).



Figura 3. Proceso de obtención de nematodos de vida libre en 100 g de suelo por el método Baermann modificado (Hooper 1961)

3.6.4 Aislamiento de hongos endofíticos (HE) del sistema radical del plátano

Las raíces principales (funcionales) fueron cortadas transversalmente en secciones de 1 a 1.5 cm, bajo condiciones asépticas en cámara de flujo laminar (*Biosafety Cabinet, labconco – Delta*), y desechando sus dos extremos. Los segmentos de raíces se colocaron dentro de frascos de vidrio previamente auto clavados (35 minutos a 120 bares de presión y 240°C) y se esterilizaron superficialmente en una solución de NaOCl al 2.5% durante 3 minutos; subsecuentemente fueron lavadas tres veces con agua estéril durante 3 minutos. Cinco segmentos esterilizados, seleccionados al azar, se sembraron en platos Petri (90 mm) con PDA 10% + Ácido Láctico (hasta ajustar un pH=5) y se almacenaron en oscuridad a 23°C hasta que se observó crecimiento del micelio. Los aislados fueron transferidos a platos Petri (90 mm) con PDA 100% + Ácido Láctico hasta que se obtuvieron aislados puros. Se clasificaron y cuantificaron los morfotipos de hongos endofíticos de cada lote siguiendo la metodología descrita por Pocasangre (2000) (Figura 4).

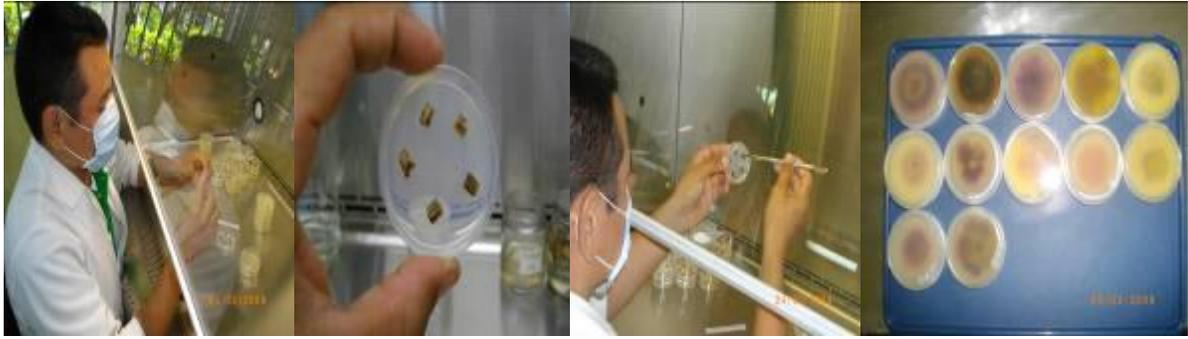


Figura 4. Protocolo para el aislamiento de hongos endofítico de raíces de plátano (Pocasangre 2000)

3.6.5 Preparación de suspensión de esporas

La suspensión de esporas se realizó con cultivos de *Fusarium* no patogénico de dos semanas de crecimiento en PDA al 100%; para lo cual a cada plato Petri se agregaron 20 ml de agua destilada y con la ayuda de una aza plástica (esterilizada) se removieron las esporas y el micelio. La solución obtenida se filtró en un beaker por medio de una gasa y se llevó a un volumen de 100 ml utilizando un hematocímetro de Neubauer en un microscopio (UKA, *Technic Profesional Microscope*) con aumento 40x y finalmente la solución se ajustó a una concentración de 1×10^6 ufc/ml (Figura 5).



Figura 5. Protocolo para la preparación de suspensión de esporas de hongos endofíticos (Pocasangre 2000)

3.6.6 Inoculación de micro corno con hongos endofíticos

Cuarenta y tres cultivos de hongos endofíticos y uno de *Trichoderma* spp obtenidos del sistema radical del plátano con dos semanas de crecimiento (medio PDA + ácido láctico)

fueron utilizados para la preparación de una suspensión de esporas, la cual fue ajustada a una suspensión de 1×10^6 ufc/ml, utilizando un hematocímetro de Neubauer. Antes de la inoculación se procedió a realizar una limpieza superficial de la semilla (cormo) para separar material necrótico y raíces muertas, además se lavaron con agua potable. La inoculación se realizó sumergiendo el micro cormo en la suspensión de esporas durante 5 minutos (Pocasangre 2000). Posteriormente, fueron sembrados en bolsas negras de polietileno (8x12 cm) usando sustrato a base de suelo y arena (relación 1:1) previamente esterilizado en horno de presión a 200°C de temperatura por 4 horas. Una vez sembrados los cormos se mantuvieron durante 4 semanas bajo condiciones de invernadero, a una temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, con frecuencia de riego, según capacidad de campo. Los 44 tratamientos fueron comparados contra un tratamiento control referencial (sin hongos endofíticos) para evaluar el potencial de promoción de crecimiento de micro cormo de plátano (Hartón enano AAB) (Figura 6).



Figura 6. Protocolo para la inoculación de micro cormo de plátano con hongos endofíticos para evaluar la promoción de crecimiento (Cañizares 2003).

3.6.7 Descripción de diseño experimental

El muestro del período de lluvia se tomó en los mismos lotes y parcelas delimitadas para el período de secano pero este es considerado independiente del anterior ya que se trataba de otras plantas. De esta manera se seleccionaron 16 fincas (Lotes) divididas en dos niveles de tecnología (alta y baja) con 96 parcelas y 576 plantas muestreadas en las dos estaciones (seco=verano, lluvia=invierno).

3.6.8 Variables evaluadas

Se determinaron las poblaciones de nematodos, obteniendo de esta manera las siguientes variables: número de nematodos totales por muestra, grupos tróficos y comparación entre la población de nematodos de vida libre (NVL) y fitonematodos (FN), índice de necrosis, peso total de raíces funcionales. Los individuos encontrados fueron identificados dentro de un orden de acuerdo a sus características (Hunt 2000).

3.6.9 Análisis de datos

El diseño estadístico corresponde a un diseño en bloques completamente al azar con estructura factorial de tratamientos, con los factores nivel tecnológico (alto y bajo), época del año (invierno y verano) y ubicación (tierra firme o isla). El modelo para el análisis de varianza es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + T_j + E_k + U_l + T_jE_k + T_jU_l + E_kU_l + T_jE_kU_l + \varepsilon_{ijkl}$$

donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

μ = Media general.

β_i = Efecto del i-esimo bloque (finca)

T_j = Efecto del i-esimo tratamiento (alto y bajo nivel tecnológico)

E_k = Efecto del i-esimo tratamiento (verano e invierno estación)

U_l = Efecto del i-esimo tratamiento (tierra firme e isla ubicación)

T_jE_k = Efecto del i-esimo tratamiento (nivel tecnológico y estación)

T_jU_l = Efecto del i-esimo tratamiento (nivel tecnológico y ubicación)

E_kU_l = Efecto del i-esimo tratamiento (estación y ubicación)

$T_jE_kU_l$ = Efecto del i-esimo tratamiento (nivel tecnológico, estación y ubicación)

ε_{ijkl} = Término de error aleatorio e independiente distribuido normal con media cero y varianza constante.

Para cada una de las variables evaluadas se trabajó con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Para el análisis de la relación de calidad de suelo se realizaron análisis de correlación simple para determinar cuáles son los factores de calidad de suelo asociados con la presencia o ausencia de cada grupo trófico de nematodos. El modelo se basa en:

$$\hat{p} = \frac{e^{b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n}}{1 + e^{b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n}}$$

donde:

p = Probabilidad de la presencia del grupo trófico

X1 = Factores físico-químicos del suelo

3.7 Variables a evaluar para nematodos de vida libre

Mediante las lecturas en el microscopio invertido (UKA, *Technic Profesional Microscope*) se caracterizaron las poblaciones de nematodos, para obtener las siguientes variables: número de nematodos totales por localidad, estación y nivel tecnológico, grupos tróficos y comparación entre la población de nematodos de vida libre (NVL) y fitonematodos (FN) en 100 g de suelo. Los individuos encontrados fueron identificados dentro de un orden de acuerdo a sus características (Hunt 2000). A partir de estos datos se calcularon los índices que se presentan a continuación.

3.7.1 Índice de Diversidad (Shannon-Weiner) (H')

La diversidad es una medida de los diferentes tipos de nematodos presentes en el suelo. El rango de diversidad se encuentra entre 0-4, valores cercanos a cero son considerados bajos, valores de 2 están en rango medio y valores por encima de 2.5 son considerados altos.

3.7.2 Índice de Dominancia (Simpson) (λ)

Es una medida de cómo una especie puede dominar la comunidad de nematodos. Un alto valor indica más dominancia de una de las taxas de nematodos en la comunidad del suelo.

Valores cercanos a 1 son considerados dominantes y valores cercanos a 0 son considerados no dominantes.

3.7.3 Proporción de Bacterívoros y Fungívoros (B/F)

Mide la contribución de nematodos bacterívoros y fungívoros al total de la abundancia de nematodos, los cuales están comprendidos entre 1 (totalmente dominado por bacterívoros) y 0, totalmente dominado por fungívoros (Yeates 2003).

4 RESULTADOS

4.1 Pre- Diagnóstico

El pre-diagnóstico permitió identificar el historial de manejo del lote seleccionado dentro de cada finca. Un total de 20 productores fueron entrevistados, apoyados por un formato de encuesta (anexo1) partiendo de una base de datos de 100. Las entrevistas permitieron ubicar por localidad (tierra firme e Isla de Ometepe) a diez productores, separando a cinco con nivel de tecnología alta y cinco con nivel de tecnología baja, también, se logró corroborar in situ el estado de la plantación de cada finca donde se delimitó un lote para el estudio. Los lotes incluidos en el estudio variaban en las técnicas de manejo. La mayoría giró en torno al área, edad del lote, tipo de semilla para siembra, aplicación de fertilizantes, fungicidas, herbicidas, nematicidas, insecticidas y tipo de sistemas de riego (Cuadro 1).

La edad promedio de lotes en tierra firme (nivel alto) es de 2 años y 3 para el nivel bajo, el área promedio en cada uno de los niveles es de 2 ha, las renovaciones de los lotes las realizan en promedio de 1 a 2 años, el material de siembra más usado son los micro cormos, obtenidos en sus propias parcelas (Cuadro 1). El manejo de las semillas antes de la siembra se realiza con tratamientos químicos (*impol*, *mancosep*), con dosis promedio de 0.8 l/barril por cada 600 semillas. Los productores del nivel tecnológico alto de tierra firme aplican urea, potasio y fosforo de fertilizantes químicos y en algunos casos aplican fertilizantes foliares, los del nivel tecnológico bajo aplican en menor cantidad las dosis de urea, potasio y fosforo de fertilizantes a las raíces y para el manejo de enfermedades aplican 3 l/ha/año de fungicida y 1 l/ha/año los del nivel bajo. Únicamente los productores del nivel tecnológico alto manejan nematodos con aplicaciones de nematicidas de 10 kg/ha/año. El manejo de plagas y malezas se realiza con aplicaciones de 1.3 l/ha/año de insecticida y 2.5 l/ha/año de herbicidas. Los productores del nivel bajo aplican 0.2 l/ha/año de insecticida y 0.3 l/ha/año de herbicida (Cuadro 1).

La edad y tamaño promedio de los lotes evaluados en la Isla es de 2 a 4 años (nivel alto y nivel bajo) y 4 ha, la renovación del lote la realizan de 3 a 4 años (nivel alto) y después de los 5 años los del nivel bajo, la siembra de las parcelas la realizan con cormo sin manejo químico antes de establecerlos, además los obtienen de sus propias fincas. Los productores del

nivel alto aplican fertilizantes químicos (urea, potasio y fosforo) a la plantación y de igual manera los productores del nivel tecnológico bajo pero en menor cantidad. Únicamente los productores del nivel tecnológico alto aplican 1 l/ha de fungicida y 1 l/ha de herbicidas (Cuadro 1). Ver anexos 2, 3, 4, 5 y 6 con datos de altura, grosor del perímetro de la planta, textura de los suelos, profundidad real, resultados de análisis químico de los 16 lotes, densidad aparente y tipo de riego por nivel tecnológico.

Cuadro 1. Información obtenida de 20 lotes de plátano (Pre-Diagnóstico)

Manejo actual del lote	Tierra firme		Isla	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Edad del lote (año)	2	3	2	4
Área del lote (ha)	2	2	4	4
Renovación del lote (año)	1 a 2	1 a 3	3 a 4	más de 5
Semilla utilizada	Cormo -1	Cormo	Cormo	Cormo
Origen de la semilla	Propia -1	Propia	Propia-1	Propia
Dosis para tratar semilla (208L)	0.8	0.8	0	0
Fertilización kg/ha/año	979	408	481	308
Fertilización foliar L/ha/año	7	1	0	0
Fungicidas L/ha/año	3	1	1	0
Nematicida kg/ha/año	10	0	0	0
Insecticida L/ha/año	1.3	0.2	0	0
Herbicida L/ha/año	2.5	0.3	1	0

4.2 (-1) indica el número de productores que no realizan esta práctica

4.3 Poblaciones de fitonematodos

Los resultados demuestran que la composición de la población de fitonematodos presentes en el sistema radical de plátano provenientes de 16 lotes ubicados en tierra firme e Isla de Ometepe, Rivas, Nicaragua, son bajas (menores de 10,000 fitonematodos totales por 100 g de raíces) y no llegan a los niveles críticos (10000 a 20000 nematodos en 100 g de raíces) que justifiquen su manejo con aplicación química de nematicidas (Cuadro 2). Además, se determinó que *Pratylenchus coffeae* es el nematodo que mayormente predomina en las poblaciones de los grupos encontrados, seguido de *Meloidogyne incognita*, *Helicotylenchus multicinctus* y en último lugar se encontró *Radopholus similis*, el cual en numerosos estudios realizados en banano y plátano se ubica en primer lugar de importancia entre las plagas que

afectan al cultivo de las musáceas. Se logró determinar que la mayor densidad poblacional de *Pratylenchus coffeae* se encontró en tierra firme, esto puede estar asociado al grado de susceptibilidad que presenta cada variedad, generalmente *Hartón enano* (AAB) utilizado en los dos niveles tecnológico de tierra firme se reporta como un material con cierto grado de susceptibilidad al ataque de nematodos contra la resistencia que puede demostrar *Falso cuerno* (AAB) material que es mayormente sembrado en los dos niveles tecnológicos de la Isla (MIFIC 2009).

Con el análisis de varianza y las pruebas de LSD Fisher no se encontró diferencias significativas ($p=0.05$) entre localidades, estación y nivel tecnológico con la presencia de *Radopholus similis*. Las poblaciones encontradas para cada evento oscilan en medias de 100 a 231 nematodos en 100 g de raíces (Cuadro 2). Se encontró diferencia significativa ($p=0.05$) e interacción en la presencia de *Helicotylenchus* entre localidad y estación. En tierra firme se encontró mayor número de *Helicotylenchus* en la época de verano que en época de invierno, en cambio en la Isla no se encontró diferencia entre las dos estaciones (Cuadro 2, Figura 7e). Se registró diferencias significativas ($p=0.05$) en las poblaciones de *Pratylenchus coffeae* entre localidad, encontrándose mayores valores en tierra firme que en la Isla (Figura 7f), los valores altos se registraron en tierra firme en la estación de verano, también se encontró diferencia significativa entre el nivel tecnológico y la estación con respecto a la presencia de *Pratylenchus coffeae* presentándose mayores valores en el nivel tecnológico alto en la estación de verano (Cuadro 2, Figura 7g).

La presencia de *Meloidogyne* (Cuadro 2, Figura 7h) presentó diferencia e interacciones entre estación, localidad con estación, estación con nivel tecnológico. Las poblaciones de *Meloidogyne* fueron mayores en tierra firme en el nivel tecnológico bajo, en cambio en la Isla no se encontró diferencia entre los promedios para el nivel tecnológico alto (Figura 7h). Se logró determinar que la presencia de *Meloidogyne* en tierra firme fue mayor en la época de invierno que en la época de verano. En cambio en la Isla fue mayor en la época de verano que en la época de invierno (Figura 7i). Se registró diferencias significativas ($p=0.05$) con respecto a la presencia de fitonematodos totales en 100 g de raíces (Cuadro 2, Figura 7j) entre localidad con estación. La presencia de fitonematodos totales fue mayor en tierra firme en la época de invierno que en la época de verano. En la Isla no se encontró diferencia de la presencia de

fitonematodos totales entre las estaciones (Figura 7j). Con relación a las variables del sistema radical se encontró diferencia en el peso total de raíces entre estación y nivel tecnológico (Cuadro 2, Figura 7). En época de verano no hay diferencias en el peso total de raíces entre los niveles tecnológicos (alto y bajo), en cambio entre estaciones se logró determinar que en invierno el nivel tecnológico alto mostró mayor peso total de raíces que el nivel tecnológico bajo (Figura 7d). No se encontró diferencia en el índice de necrosis entre localidad, estación y nivel tecnológico (

Cuadro 2). Se encontró mayor índice de necrosis en tierra firme en la estación de verano, estos índices de necrosis altos en tierra firme se le pueden atribuir a la mayor presencia de fitonematodos totales.

Cuadro 2. Composición de fitonematodos en 100 g de raíces entre localidad, estación y nivel tecnológico en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua.

Variables	Localidad		Estación		Nivel tecnológico		Interacciones
	Tierra Firme	Isla	Verano	Invierno	Alto	Bajo	
Raíz funcional (g)	P=0.000		P=0.0129		P=0.0011		
	118.35	94.94	112.99	100.30	115.03	98.26	
Raíz no funcional (g)	P=0.2978		P=0.0317		P=0.0042		LxE, LxN, ExN
	26.32	24.12	27.51	22.94	28.28	22.17	
Peso total raíz (g)	P=0.0001		P=0.0047		P=0.0002		Ex N
	144.67	119.07	140.49	123.24	143.31	120.43	
Índices de necrosis (%)	P=0.0001		P=0.0001		P=0.2778		
	17.58	11.49	18.81	10.52	15.38	13.96	
<i>Radopholus</i> (en 100 g de raíz)	P=0.4486		P=0.5823		P=0.2656		
	231	125	216	139	256	100	
<i>Helicotylenchus</i> (en 100 g de raíz)	P=0.0132		P=0.547		P=0.459		LxE
	1254	158	1129.17	283	1145	266	
<i>Pratylenchus</i> (en 100 g de raíz)	P=0.1105		P=0.0030		P=0.0343		LxE, ExN
	6327	4827	6987	4166	6575	4579	
<i>Meloidogyne</i> spp (en 100 g de raíz)	P=0.0338		P=0.8044		P=0.0595		LxN, LxE
	1658	885	1316	1227	1614	929	
Fitonematodos total (en 100 g de raíz)	P=0.0060		P=0.0879		P=0.0033		LxE
	9470	5995	8804	6662	9591	5875	

Nota: LxE, LxN, ExN, ExN= localidad con estación, localidad con nivel tecnológico, estación con nivel tecnológico; ExN= estación con nivel tecnológico; LxE= localidad con estación; LxE, ExN= localidad con estación, estación con nivel tecnológico; LxN, LxE= localidad con nivel tecnológico, localidad con estación; LxE=localidad con estación.

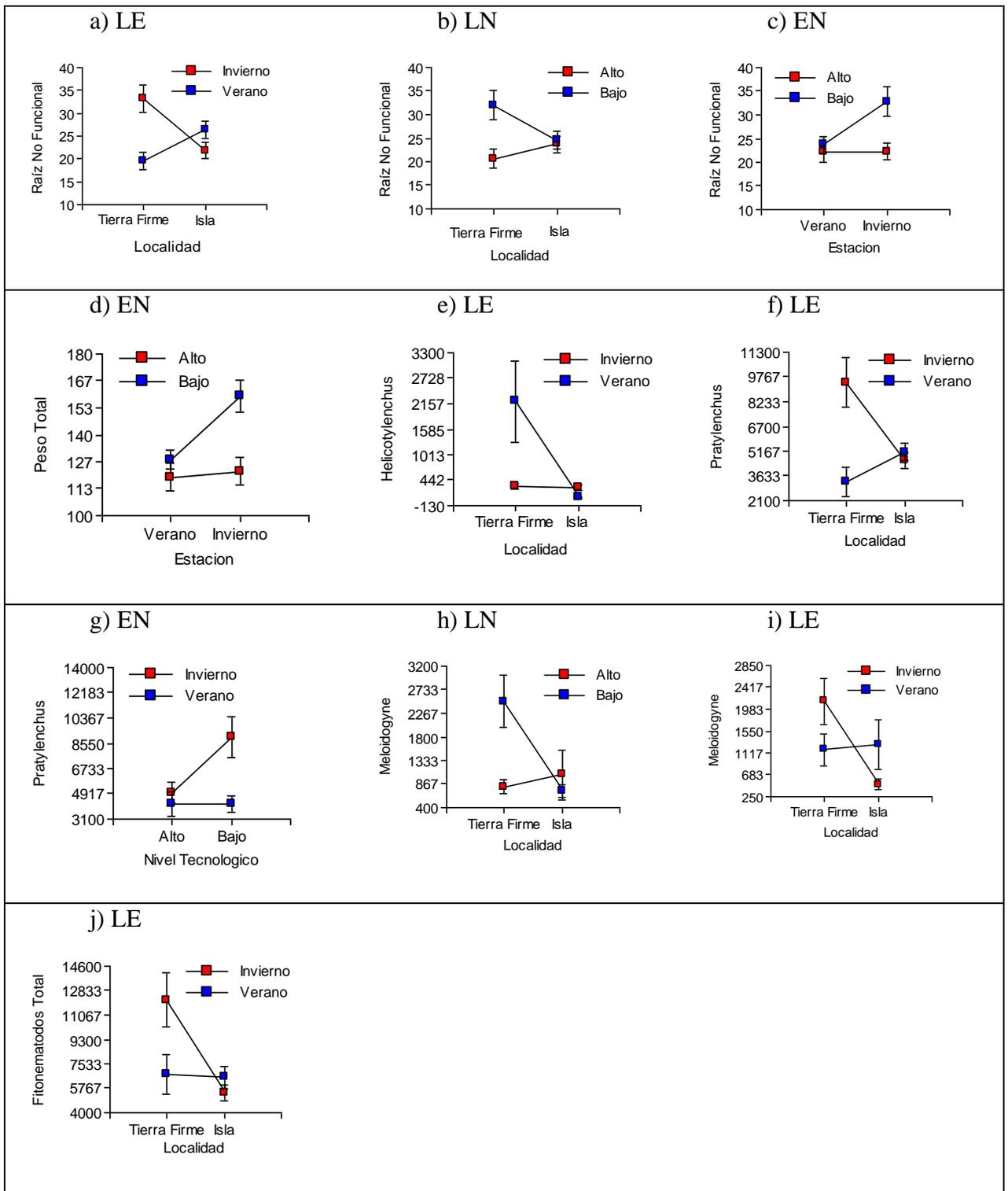


Figura 7. Comparación de las interacciones y diferencias de la presencia de órdenes de fitonematodos de 16 lotes de plátano en Rivas, Nicaragua

4.4 Nematodos totales, fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) en 100 g de suelo

Se determinó la proporción de los grupos tróficos con relación al número total de nematodos extraídos del suelo. Cinco grupos tróficos de nematodos fueron identificados en 100 g de suelo, los parásitos de plantas *Pratylenchus*, *Tylenchida*, bacterívoros (en su mayoría *Alaimida*, *Cephalobida* *Rhabditidae*, y *Wilsonema*), fungívoros (*Aphelenchoide*), depredadores (*Mononchus*) y omnívoros (*Dorylaimida* y *Eudorilaimidus*).

Los resultados de las pruebas *LSD Fisher* realizadas para comparar los grupos tróficos de nematodos en el suelo entre localidad, estación y niveles tecnológicos de los 16 lotes muestreados, registraron diferencias en las variables de fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) entre localidad, estación y nivel tecnológico (Cuadro 3). El análisis de varianza realizado a las poblaciones de nematodos del suelo registró diferencias significativas ($p=0.05$) en las poblaciones de los grupos tróficos de nematodos entre localidad, estación y nivel tecnológico. Las poblaciones de FN son inferiores a los NVL totales presentes entre localidades, estación y nivel tecnológico. En tierra firme se encontró poblaciones de FN en el suelo de 49 nematodos, también se registraron medias de hasta 919 NVL totales. Se encontró interacciones y diferencia ($p=0.05$) entre estaciones con respecto a la presencia de FN en la estación de verano donde se encontraron medias de 55 FN, en cambio en la estación de invierno se encontraron medias de 27 FN, también se presentó diferencia ($p=0.05$) con la presencia de NVL totales en la estación de verano, encontrándose medias de 571 NVL, en cambio en la estación de invierno estos valores fueron superiores con medias de 1638 NVL (Cuadro 3). Se encontró diferencia entre los FN en los niveles tecnológicos, presentando mayores valores el nivel tecnológico alto con medias de 45 FN y 37 en el nivel bajo. No se evidenciaron interacciones y diferencias significativas ($p=0.05$) con la presencia de NVL en los dos niveles tecnológicos (Cuadro 3). Se encontró diferencias significativas ($p=0.05$) con la presencia de NVL entre localidades, en la Isla se registraron valores 1291 NVL y 919 para tierra firme (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición de fitonematodos y nematodos de vida libre entre localidad, estación y nivel tecnológico en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua.

Variable	Localidad		Estación		Nivel Tecnológico	
	Tierra Firme	Isla	Verano	Invierno	Alto	Bajo
Fitonematodo en 100 g de suelo	49 a	33 b	55 a	27 b	45 a	37 b
NVL en 100 g de suelo	919 b	1291 a	571 b	1638 a	1177 a	1032 b

Pruebas de LSD Fisher. Letras diferentes entre filas indican diferencia significativas (p=0.05)

4.5 Distribución porcentual de grupos tróficos en 100 g de suelo en las dos localidades

Se registró variabilidad en la distribución porcentual de los grupos tróficos de nematodos encontrados por localidad, estación y nivel tecnológico. En tierra firme en la estación de invierno, nivel tecnológico alto, se determinó un 62.39% de bacteriófago, 28.44% de fitonematodos, 2.75% de omnívoros, 2.75% de depredadores y 3.67% de fungívoros (Cuadro 4). Estos llegan a conformar un total de 14 órdenes con sus correspondientes grupos tróficos y un promedio total de hasta 109 nematodos en 100 g de suelos (Cuadro 5).

Cuadro 4. Clasificación de órdenes de NVL y porcentual de grupos tróficos de nematodos en tierra firme, con manejo tecnológico alto y bajo.

Grupo trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	68	62.39
<i>Fitonematodo</i>	31	28.44
<i>Omnívoro</i>	3	2.75
<i>Depredador</i>	3	2.75
<i>Fungivoro</i>	4	3.67
TOTAL	109	100.00

Cuadro 5. Clasificación de órdenes de NVL y porcentual de grupos tróficos de nematodos en tierra firme, con manejo tecnológico alto y bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	6	5.13
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	56	51.9
<i>Rhabditidae</i>	<i>Bacteriófago</i>	4	3.72
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	1	1.3
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	2	2.26
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	1.07
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.69
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	2	2.03
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	20	18.65
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	5.71
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.57
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0.31
<i>Aphelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	4	3.79
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	3	2.87
TOTAL		109	100

Los valores encontrados en la Isla demuestran que el 56.4% de los nematodos encontrados corresponden a bacteriófago, 26.8% a fitonematodos, 4.95% omnívoros, 0.8% depredadores y un 10% a fungívoros (Cuadro 6). Importante resaltar que estos llegan a conformar un total de 12 ordenes con su grupo trófico correspondientes y un promedio de hasta 682 nematodos en 100 g de suelos (Cuadro 7).

Cuadro 6. Clasificación de órdenes de NVL y porcentual de grupos tróficos de nematodos en la Isla de Ometepe con manejo alto y bajo.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	386	56.4
<i>Fitonematodo</i>	184	26.8
<i>Omnívoro</i>	34	4.95
<i>Depredador</i>	9	0.8
<i>Fungivoro</i>	73	10.6
Total	684	100

Cuadro 7. Clasificación de órdenes de NVL y porcentual de grupos tróficos de nematodos en la Isla de Ometepe, con manejo tecnológico alto y bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	29	4.3
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	331	48.4
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	17	2.4
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	9	1.3
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	9	1.2
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	34	5
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	100	14.6
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	41	6
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	0.8
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	3	0.5
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	73	10.6
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnivoro</i>	34	4.9
Total		684	100

4.6 Índice de la comunidad de nematodos

Se registraron diferencias significativas entre localidades para el índice de diversidad de Shannon – Weiner ($p=0.036$). No se encontró diferencias significativas en los índices de enriquecimiento y dominancia de Simpson de las comunidades de nematodos entre localidades (Cuadro 8). Hay diferencia significativa en la comunidad de nematodos entre estaciones en los índices de diversidad de Shannon – Weiner ($p=0.0005$) y el índice de dominancia de Simpson ($p=0.0001$). No se detectaron diferencias significativas en los índices de enriquecimiento entre las estaciones (verano e invierno). No se registraron diferencias significativas en ninguno de los índices para los niveles de tecnología (alto y bajo) de cada localidad (Cuadro 8)

Cuadro 8. Comportamiento de Índices de nematodos de vida libre entre localidad, estación y niveles tecnológicos en 16 lotes de plátanos en Rivas, Nicaragua.

Localidad				
	Tierra Firme	Isla	F	p
Índice de enriquecimiento	11.25±0.23 a	11.31±0.27 a	0.03	0.87
Diversidad de Shannon – Weiner	1.75±0.06 a	1.62±0.04 b	5	0.0363
Dominancia de Simpson	0.26±0.02 a	0.29±0.02 a	2.69	0.1161
Estación				
	Verano	Invierno	F	p
Índice de enriquecimiento	11.13±0.26 a	11.44±0.24 a	0.69	0.4168
Diversidad de Shannon – Weiner	1.8±0.06 a	1.57±0.02 b	16.77	0.0005
Dominancia de Simpson	0.23±0.02 b	0.33±0.01 a	25.48	0.0001
Nivel				
	Alto	Bajo	F	p
Índice de enriquecimiento	11.31±0.24 a	0.27±0.02 a	0.03	0.87
Diversidad de Shannon – Weiner	11.31±0.24 a	11.25±0.27 a	1.13	0.3
Dominancia de Simpson	1.72±0.06 a	1.66±0.05 a	0.84	0.3691

Letras distintas entre filas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

4.6.1 Proporción B/F

Se registraron interacciones y diferencias de la proporción de bacteriófago y fungívoros con respecto a la estación con el nivel tecnológico y la localidad con la estación. Se determinaron diferencias en la presencia de bacteriófago y fungívoros. En tierra firme se encontró mayor proporción de bacteriófago en la estación de invierno que en la estación de verano (Figura 8A) en cambio en la Isla se encontraron valores menores, pero mayores valores para fungívoros. Se determinaron interacciones y diferencias de bacteriófago y fungívoros entre la estación y los niveles tecnológicos, en la estación de invierno se registró mayores valores de bacteriófago que fungívoros en el nivel tecnológico bajo, en cambio en verano se registró valores similares para el nivel tecnológico alto (Figura 8B).

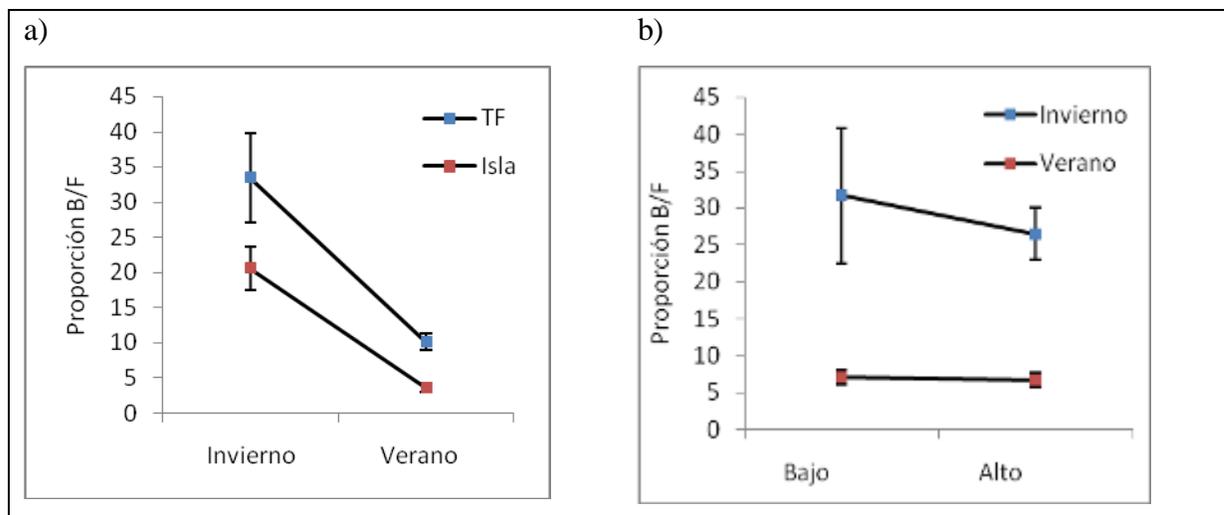


Figura 8. Análisis de la varianza y prueba de LSD Fisher para comparar las proporciones de nematodos bacteriófagos y fungívoros en 16 lotes de plátano en Rivas, Nicaragua.

4.7 Resultados de análisis de suelo practicado en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua

Los análisis de varianza y pruebas de LSD Fisher registraron diferencias significativas ($p=0.037$) con la presencia de fosforo en el nivel tecnológico alto de tierra firme y la Isla en donde la Isla registró mayores valores de medias (Cuadro 9) presentando mayores medias. Se encontró diferencias significativas ($p=0.009$) con la presencia de cobre (Cu) en el nivel tecnológico alto en las dos localidades (tierra firme e isla) los valores de medias del cobre son más altos en la Isla que en tierra firme (Cuadro 9). El zinc (Zn) presentó diferencias significativas ($p=0.032$) en el nivel tecnológico alto entre tierra firme e Isla presentando mayores valores de medias la Isla (Cuadro 9). Se registró diferencia significativa ($p=0.014$) con la presencia de magnesio (Mg) en el nivel tecnológico alto de tierra firme e Isla, presentando mayores valores de medias tierra firme (Cuadro 9). No se encontró diferencias significativas en los análisis de suelos en las dos localidades para el nivel tecnológico bajo).

Cuadro 9. Resultados de análisis de suelos para las variables físicas y químicas de suelo en 16 lotes de plátano, Rivas, Nicaragua

Nivel Tecnológico								
Variable	Alto				Bajo			
	Tierra firme	Isla	F	p	Tierra firme	Isla	F	p
pH	6.8±0.07 a	6.7±0.33 a	0.08	0.7957	7±0.11 a	7.03±0.05 a	0.04	0.8543
MO%	2.99±0.44 a	3.33±0.37 a	0.31	0.6158	3.07±0.71 a	3.03±0.55 a	0.01	0.9417
N%	0.15±0.02 a	0.16±0.02 a	0.36	0.5919	0.15±0.03 a	0.15±0.03 a	0.01	0.9275
P	40.13±12.59b	147.85±18.26 a	12.79	0.0374	60.48±19.43 a	145.63±18.68 a	6.06	0.0908
S	12.73±2.1 a	18.12±3.24 a	1.75	0.2778	13.05±1.3 a	13.48±3.87 a	0.02	0.8987
B	0.2±0.06	0.14±0.08 a	0.27	0.6384	0.5±0.19 a	0.17±0.12 ^a	1.54	0.3023
Fe	79.53±17.57	109.23±16.56 a	0.84	0.4263	103.55±17.15a	102.53±34.58 a	0.023	0.965
Cu	13.05±0.46	15.43±0.19 a	35.32	0.0095	10.75±1.4 a	13.73±2.09 a	2.55	0.2086
Mn	7.12±0.9 b	23.7±6.27 a	8.88	0.0586	13.57±5.34 a	26.85±9.58 a	2.27	0.2291
Zn	1.3±0.24 b	5.25±1.24 a	14.25	0.0325	1.51±0.34 a	4.53±1.85 a	2.37	0.2212
K (Meq/100g)	0.59±0.12 a	0.69±0.14 a	0.58	0.5004	1.23±0.3 a	1.05±0.23 a	0.34	0.6007
Ca (Meq/100g)	17.66±4.42 a	7.99±0.9 a	4.16	0.1341	12.19±3.39 a	10.53±0.8 a	0.3	0.6233
Mg (Meq/100g)	6.01±0.72 a	1.24±0.22 b	26.62	0.0141	3.75±0.49 a	1.75±0.44 a	5.03	0.1106

Letras distintas indican diferencias significativas con un ($p=0.05$).

4.8 Relación de fitonematodos y raíces con características físicas y químicas de suelo

Con el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación negativa entre el índice de necrosis de la raíz y la densidad aparente, indicando que a mayor densidad aparente, menor índice de necrosis (Cuadro 10). Hay correlación negativa entre la presencia de raíz funcional y el pH, indicando que mientras aumente el pH la presencia de raíces funcionales disminuye. Hay correlación positiva entre la presencia de *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* con el pH, lo que indica que a medida que aumente el pH aumentan las poblaciones de estos fitonematodos, a esto se le puede atribuir la disminución de las raíces funcionales a medida

que aumente el pH del suelo. Se encontró correlación negativa entre la profundidad real y raíces no funcionales, a medida que aumente la profundidad real del suelo disminuyen las raíces no funcionales. Se encontró correlación negativa entre la presencia de *Pratylenchus* y la profundidad real, indicando que a mayor profundidad del suelo menor presencia de *Pratylenchus* (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de correlación de Pearson para variables físicas y químicas del suelo con la presencia de fitonematodos en el sistema radical de 16 lotes de plátano. Rivas, Nicaragua

Variables	Densidad Aparente (peso seco/volumen)		Profundidad. Real (cm)		pH	
	r	p	R	P	r	p
Raíz Funcional (g)	-0.09	0.38	0.12	0.24	-0.27	0.01
Raíz No Funcional (g)	-0.11	0.28	-0.25	0.02	0.18	0.08
Peso Total (g)	-0.12	0.26	0.03	0.8	-0.18	0.08
Índice de Necrosis (%)	-0.23	0.02	0.14	0.17	-0.04	0.67
<i>Radopholus</i> (en 100 g de raíz)	-0.05	0.63	-0.03	0.74	0.02	0.82
<i>Helicotylenchus</i> (en 100 g de raíz)	0.04	0.73	0.34	0.0004	-0.19	0.07
<i>Pratylenchus</i> (en 100 g de raíz)	-0.04	0.73	-0.2	0.05	0.22	0.03
<i>Meloidogyne</i> (en 100 g de raíz)	-0.05	0.63	-0.09	0.36	-0.03	0.77
Fitonematodos Total	-0.02	0.83	0.03	0.76	0.03	0.78

r= coeficiente de correlación, p= probabilidad de varianza

4.9 Relación de NVL con características físicas y químicas de suelo

Con el análisis de la correlación de Pearson aplicado a las variables físicas y químicas de suelo y los nematodos de vida libre en 100 g de suelo, se determinó correlación positiva entre la presencia de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* con la densidad aparente (Cuadro 11). Hay correlación positiva entre *Pratylenchus* y *Meloidogyne* con el pH, a medida que aumenta el pH del suelo aumenta la presencia de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* (Cuadro 11). De igual forma se encontró correlación positiva entre profundidad real del suelo y la presencia de *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, entre mayor sea la profundidad del suelo mayor será la presencia de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* (Cuadro 11). No se encontró correlación entre la presencia de los

nematodos de vida libre en el suelo y las variables de suelo (Densidad aparente, pH y profundidad real), la presencia de los fitonematodos en el suelo no tiene correlación con las variables de densidad aparente, pH y profundidad real (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de correlación de Pearson para variables físicas y químicas del suelo con la presencia de nematodos en 100 g de suelo en 16 lotes de plátano, Rivas, Nicaragua

Variables	Densidad Aparente peso/volumen		Profundidad. Real cm		pH	
	r	p	r	P	r	p
NVL Total (en 100 g de suelo)	-0.58	0	-0.55	0	-0.59	0
<i>Meloidogyne</i> (en 100 g de suelo)	0.37	0.0008	0.37	0.0001	0.39	0.0001
<i>Pratylenchus</i> (en 100 g de suelo)	0.39	0.0001	0.43	0.0002	0.42	0.0001
NVL Identificados	-0.07	0.34	-0.03	0.68	-0.05	0.49
Fitonematodos en suelo	0.51	0	0.56	0	0.53	0
NVL en suelo	-0.51	0	-0.56	0	-0.53	0

4.10 r=coeficiente de correlación, p=probabilidad de varianza

4.11 Hongos endofíticos encontrados

Un total de 59 aislamientos de hongos endofíticos fueron recobrados de tejidos internos de raíces de plátano en el departamento de Rivas. Los resultados indican que un mayor número de aislamientos fueron recobrados del nivel tecnológico bajo en comparación con el nivel alto, tanto en tierra firme como en la Isla de Ometepe. Por ejemplo, en tierra firme se aislaron 21 cepa de hongos endofíticos del nivel bajo y solamente 9 del nivel alto. La misma tendencia se presentó en la Isla de Ometepe donde en el nivel bajo se recobraron 18 aislamientos y solamente 11 del nivel alto (cuadro 12). Con relación a los géneros de los hongos endofíticos aislados se encontró que cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* fueron predominantes tanto en tierra firme como en la Isla de Ometepe, 43 aislamientos de un total de 59 fueron clasificados en este género y solamente 2 aislamientos de *Trichoderma* spp fueron recobrados. Por otra parte, 14 hongos fueron aislados y clasificados como otros hongos, debido a que no pudieron ser identificados (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cepas de Hongos endofíticos aislados del sistema radical de plátano en 16 lotes. Rivas, Nicaragua

Nivel	Localidad							
	Tierra firme				Isla			
	Cepa <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> no patogénico	Cepa <i>Trichoderma</i> spp.	Otros	Total	Cepa <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> no patogénico	Cepa <i>Trichoderma</i> spp.	Otros	Total
Alto	5	2	2	9	8	-----	3	11
Bajo	17	-----	4	21	13	-----	5	18
Sub Total	22	2	6	30	21	----	8	29
Total	59 cepas de hongos endofíticos							

4.12

4.13 Efecto de los hongos endofíticos sobre promoción de crecimiento

Con los análisis de varianza y pruebas de LSD de Fisher se encontraron diferencias significativas en cuanto a la promoción de crecimiento que los hongos endofíticos ejercieron en distintos órganos de las plantas, para tal efecto en las Figura 9 y 10 se puede observar que los tratamientos T23, T17 y T20 presentaron mejor promoción de crecimiento del sistema radical que las no tratadas (control). Los tratamientos T23, T17 y T20 corresponden a los aislados de hongos endofíticos (FO23, FO17 y FO20) (anexo 2) provenientes del sistema radical de plátano de la localidad de tierra firme (hartón enano, AAB).

Los resultados del efecto de los 44 hongos endofíticos evaluados sobre el peso total de del tallo indican que solamente 2 tratamientos superaron al control absoluto, dentro de los cuales se encuentran los tratamientos T23, T17 (Figura 10) correspondientes a los aislamientos FOC23 y FOC17. Existe un efecto sobre la promoción de crecimiento en las plantas de plátano protegidas con estos aislamientos endofíticos. Es importante destacar que todos los aislamientos que promovieron el crecimiento de las raíces y del sistema foliar fueron aislados del nivel tecnológico bajo.

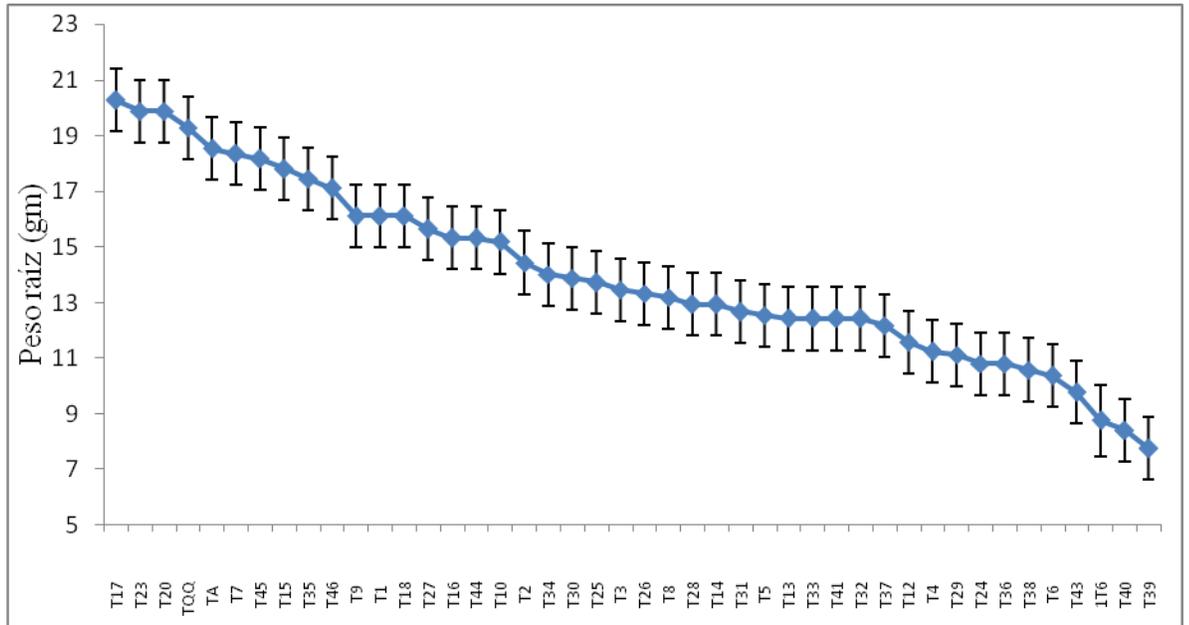


Figura 9. Efecto de 44 aislados de hongos endofíticos en la promoción de crecimiento del sistema radical de micro corno de plátano (AAB) Hartón enano a nivel de invernadero. TA=testigo absoluto o control.

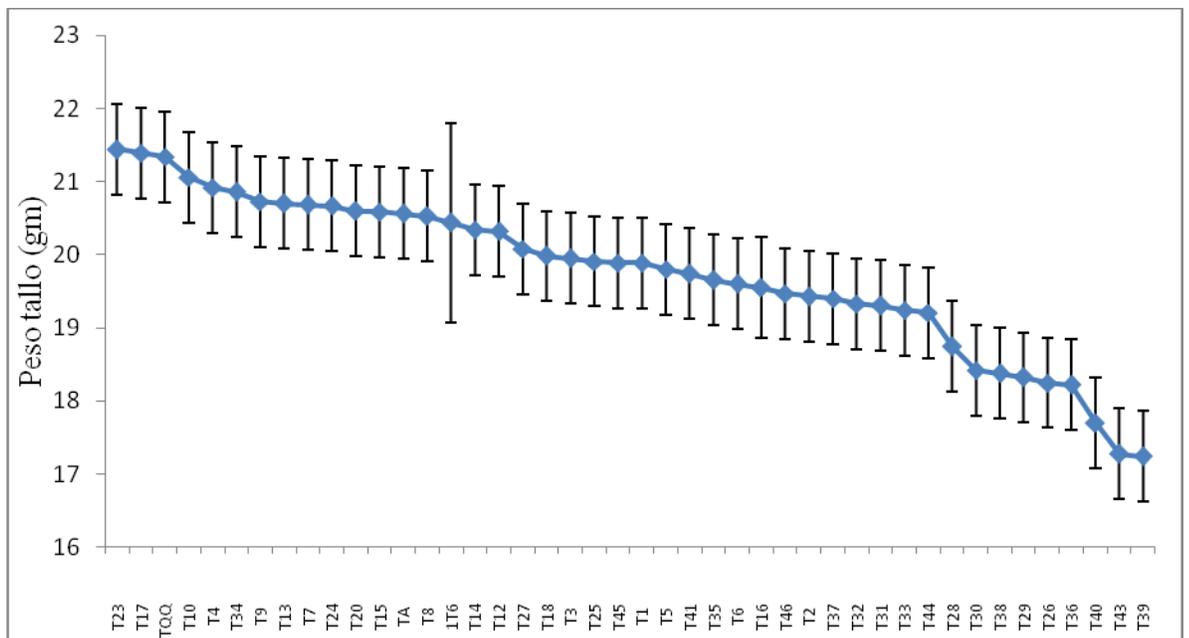


Figura 10. Efecto de 44 aislados de hongos endofíticos en la promoción del peso de tallo de micro corno de plátano (AAB) Hartón enano a nivel de invernadero. TA=testigo absoluto o control.

5 DISCUSION

5.1 Población de fitonematodos

Está completamente documentado que los principales fitonematodos que causan pérdidas económicas en el cultivo del banano y plátano son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, el ectoparásito *Helicotylenchus multicinctus* y el endoparásito sedentario *Meloidogyne* spp. (Gowen & Queneherve 1990, Pocasangre et ál. 2001, Moens & Araya 2003, Araya 2004). Araya (2003) concluye que en banano generalmente se encuentran comunidades poli específicas, compuestas por los 4 principales fitonematodos anteriormente mencionados y que la importancia económica es en el siguiente orden: *R. similis* > *Helicotylenchus* spp. > *Meloidogyne* spp. > *Pratylenchus* spp. Por otra parte, *Radopholus similis* es el más abundante en la mayoría de los países, constituyendo más del 70% de la población de nematodos en las raíces (Yépez 1972).

Los resultados de la presente investigación son consistentes con lo documentado en la literatura, ya que tanto en tierra firme de Rivas como en la isla de Ometepe, los 4 géneros anteriormente mencionados fueron encontrados atacando al cultivo del plátano y el fitonematodo predominante tanto en tierra firme, como en la isla, fue *Pratylenchus* spp. Resultados similares fueron encontrados por Pocasangre et ál. 2001, quienes realizaron evaluaciones de fitonematodos en plátano y banano en República Dominicana, Honduras y Costa Rica y encontraron que *Pratylenchus coffeae* fue el fitonematodo predominante en plátano y *R. similis* en banano. Sin embargo es importante enfatizar que en ambas localidades la densidad poblacional de *Pratylenchus* fue muy baja, registrando cantidades menores de 6500 por 100 g de raíces.

Aunque *R. similis* ha sido reportado como el nematodo principal en plátano en Costa Rica y Ecuador (Cañizares 2003, Triviño 2003) es importante destacar que en el caso de tierra firme y la isla las poblaciones de *R. similis* encontradas fueron bajas, 231 y 125 nematodos por 100 g de raíces respectivamente. Considerando que los umbrales económicos que justifican la aplicación de nematicida es de 10,000 *R. similis*, se puede concluir que estas cantidades de nematodos no son un problema y no se justifica la aplicación de ningún nematicida. Incluso es importante destacar que la mayoría de las fincas bananeras en Costa Rica que aplican dos a

tres ciclos de nematicidas por año tienen poblaciones de *R similis* superiores a 15,000 nematodos por 100 g de raíz (Pocasangre 2007). Resultados similares han sido documentados por Pattison (2006) quien encontró cantidades de *R. similis* en fincas comerciales de Costa Rica superiores a 37,000 *R. similis* por 100 g de raíces.

Con relación a la cantidad de *Pratylenchus coffeae*, y la estación del año, se encontró que la cantidad del nematodo es superior en verano que en invierno. Estos resultados pueden explicarse debido a que en la época de lluvia existen condiciones de hipoxia y pueden afectar la sobrevivencia y tasa de reproducción del nematodo. Sin embargo para la variable de fitonematodos totales no se encontró diferencias significativas entre las estaciones. Con respecto a la presencia de *Pratylenchus coffeae* y fitonematodos totales con el nivel tecnológico sí se encontraron diferencias significativas, donde las mayores densidades poblacionales se presentaron en el nivel tecnológico. Estos datos concuerdan con los encontrados por Meneses. (2003) quien encontró en plantaciones de banano en Costa Rica con dos o más aplicaciones de nematicidas por año presentan mayores densidades poblacionales de fitonematodos que en fincas orgánicas.

Es importante destacar que este estudio sobre fitonematodos en plátano es el primer trabajo sistemático que se realiza en la zona de Rivas y con base en los resultados encontrados se puede concluir que tanto en tierra firme como en la Isla de Ometepe, el problema de fitonematodos no es una verdadera amenaza para la producción de plátano en la región, debido a que el nematodo más importante, *R. similis*, no es el predominante y por otro lado las densidades totales de fitonematodos son bajas. Por lo tanto, no se justifica el combate químico de esta plaga.

5.2 Grupos tróficos de la comunidad de nematodos

Cinco grupos tróficos de nematodos fueron identificados, los parásitos de plantas (*Pratylenchus*, *Tylenchida*), bacterívoros (en su mayoría *Alaimida*, *Cephalobida* *Rhabditidae*, y *Wilsonema*), fungívoros (*Aphelenchoide*), depredadores (*Mononchus*) y omnívoros (*Dorylaimida* y *Eudorilaimidus*). De estos cinco grupos los mas predominantes se describen a continuación: bacterívoros, fitonematodos, omnívoros, fungívoros y por último los depredadores. Los resultados de este estudio indican que las comunidades de nematodos

presentes en los suelos plataneros de tierra firme e Isla no son diversos, comparados con resultados reportados por Hodda et ál. (1999) en suelos productivos de Australia indicando haber encontrado 15 órdenes de NVL. Salguero (2006) menciona haber encontrado cuatro grupos en suelos bananeros de Costa Rica en donde los FN fueron los más comunes encontrados, seguido de bacterívoros, omnívoros y depredadores. En este estudio se encontraron mayores proporciones de FN en las dos localidades para la estación de verano, seguido de los bacterívoros, omnívoros, fungívoros y depredadores. Neher (1999) encontró en suelos de pastura mayores poblaciones del grupo trófico de bacterívoros y FN. Proctor (1990) propuso un esquema en donde explica y predice el papel de los nematodos de vida libre en diferentes ecosistemas. Según este autor, la riqueza y abundancia es mucho mayor en el trópico que en bajas latitudes Así por ejemplo, se han encontrado estos dos grupos (FN y NVL) en distintos suelos (Ferris 1982).

5.3 Nematodos totales, fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) en 100 g de suelo

En este estudio se registraron mayores poblaciones de NVL totales que las poblaciones de FN encontrados tanto en tierra firme como en la Isla de Ometepe. Por ejemplo, en tierra firme se encontraron medias de 49 fitonematodos en comparación con 919 NVL. En la Isla de Ometepe se determinaron medias de 33 FN contra 1291 NVL por 100 g de suelo. Sin embargo, existen estudios que han registrado mayores poblaciones de FN con respecto a los NVL encontrados. Blaschette et ál. (2006) encontraron mayores proporciones de FN en suelos bananeros de seis fincas divididas en sitios buenos y sitios pobres en Costa Rica hasta de un 80% y aproximadamente un 20% para NVL. La relativa abundancia de un grupo de nematodos en el suelo puede estar influenciada por las características climáticas, tipo de suelos, patrones de manejo y uso del suelo, en cada localidad, país o región y cultivo; las condiciones tienden a ser muy heterogéneas (Bertsch 1998, Yeates 2003,). En estudios realizados en Costa Rica en 12 fincas de bananos comerciales ubicadas en la zona atlántica en sitios de alta y baja producción se encontraron resultados similares con respecto a estos cinco grupos, sin embargo, la cantidad de NVL encontrados fueron extremadamente bajos debido al alto uso de pesticidas y nematicidas (Salguero 2006). Por el contrario, en la presente investigación la cantidad de NVL fue alta tanto en la isla como en tierra firme en comparación

al trabajo realizado en banano por Salguero (2006). Carcache (2002) indica haber encontrado en fincas cafetaleras de producción convencional y orgánica en Costa Rica valores de NVL similares a los encontrados en esta investigación (956 a 863 NVL respectivamente en 100 g de suelo).

Con relación a los niveles tecnológicos, no se encontraron diferencias significativas entre niveles tecnológicos. Se determinaron altas poblaciones de NVL con 1177 para el nivel tecnológico alto y 1032 para el nivel tecnológico bajo. Por lo tanto, las medidas de manejo que se aplican en los suelos plataneros de tierra firme e Isla no parecen tener efectos negativos sobre las poblaciones de nematodos de vida libre. Asimismo, es importante destacar que las diferencias tecnológicas entre los productores de tierra firme y la Isla no son tan marcadas como en el caso de banano para exportación y banano orgánico.

5.4 Distribución porcentual de grupos tróficos en 100 g de suelo, tierra firme, estación verano e invierno

Los resultados del presente estudio indican que la presencia de nematodos de vida libre fueron bajos en la estación de verano en comparación con invierno. Posiblemente estos resultados se expliquen debido a que, en el departamento de Rivas, existe un período prolongado de sequías de hasta 4 y 5 meses y la mayoría de los productores no tienen riego, por lo tanto, los suelos permanecen secos y con altas temperaturas que podrían afectar la dinámica poblacional de los NVL. Los nematodos son organismos que generalmente se reproducen y desplazan en presencia de una película de agua entre las partículas del suelo, por lo tanto el contenido de agua en el suelo es un factor ecológico muy importante e influye en la sobrevivencia y abundancia de estos. En suelos secos muchos de ellos mueren mientras otros tienen la capacidad de sobrevivir en ausencia total de agua (Luc et ál. 1990). En esta estación, el patrón de los grupos tróficos encontrado predominaron los fitonematodos, los que por tener hábito de penetrar el sistema radical tienen más posibilidades de sobrevivir. En segundo lugar se encontraron los bacterívoros, semejantes a estos resultados encontró Salguero (2006) en fincas comerciales de banano en Costa Rica quien indica haber encontrado mayor proporción de FN que bacterívoros. Neher (1999) encontró en suelos de pastura en Estados Unidos mayores poblaciones de FN que NVL. Pattison (2006) registró en estudios realizados en

plantaciones comerciales de banano en Costa Rica la predominancia de los FN que los demás grupos.

5.5 Índice de la comunidad de nematodos

Los índices a diversidad y abundancia han sido utilizados por diferentes autores para medir las poblaciones de nematodos de vida libre en banano y plátano (Meneses 2003, Pattison 2006, Salgueros 2006). Neher et ál. 1999 indican que la estructura trófica y abundancia de las actividades de los nematodos permiten comprender mejor el ambiente en el suelo y las interrelaciones de las comunidades presentes. En los resultados de este estudio se cuantificó la población de los nematodos en cada localidad, nivel tecnológico y estación, en la cual se determinó que la diferencia más importante se encontró en la presencia de NVL, lo que viene a sustentar los índices de diversidad y abundancia encontrados. Sin embargo, se encontró mayor diversidad y abundancia entre estaciones que entre localidades. Los niveles tecnológicos no mostraron ningún índice de valor significativo para localidad y estación, así como el índice de enriquecimiento de la comunidad.

Los resultados de la presente investigación indican que no existieron diferencias significativas para los índices de diversidad ni de dominancia entre los niveles tecnológicos, lo cual se explica dado que las diferencias de manejo entre el alto y el bajo no son tan marcadas como en el caso de banano de exportación (más de 3 aplicaciones de nematicidas). Con respecto al índice de diversidad y de dominancia, se determinó que en la estación de invierno ambos índices fueron significativos y las poblaciones de NVL fueron 3 veces mayores que en verano. Estos resultados pueden ser explicados, debido a que en tierra firme existen períodos de sequía de hasta 5 meses y la mayoría de los productores no cuentan con sistema de riego, por lo tanto los suelos permanecen con contenidos de humedad bajo y con temperaturas alta, lo cual puede afectar la dinámica de poblaciones de los nematodos.

Con relación a la abundancia, los grupos tróficos predominantes fueron el bacterívoros (*Alaimida*, *Cephalobidal*) y los fitonematodos (*Pratylenchus*, *Meloidogyne* y *Tylenchus*).

El índice de enriquecimiento no fue significativo para localidad, estación y nivel tecnológico, lo cual indica que la disponibilidad de fuentes energéticas no influyó significativamente en la reproducción de los nematodos bacterívoros, independientemente de los factores en evaluación. Asimismo, cuando se comparan las proporciones de bacterívoros y fungívoros, se logra determinar la dominancia y abundancia de los bacterívoros. Estos resultados son consistentes con lo que detectó el índice de enriquecimiento.

5.6 Análisis de suelo practicado en 16 lotes de plátanos, Rivas, Nicaragua

El contenido de elementos minerales en los suelos de tierra firme y la Isla fue similar en el nivel tecnológico alto y bajo. El P fue uno de los elementos que presentó diferencias significativas entre localidades, encontrándose menores cantidades en tierra firme. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Belalcázar (1998) quien demostró que a mayor densidad poblacional produce mayores rendimientos, y en consecuencia extraen mayor cantidad de nutrientes del suelo.

Es importante señalar que la forma de manejo entre localidades es totalmente distinto, en la Isla las renovaciones del cultivo se dan mínimamente cada 4 años, no hacen uso de herbicida, los rastrojos se dispersan de manera uniforme dentro del lote por lo que existe una mayor cobertura sobre el suelo, en cambio en tierra firme las renovaciones son de 1 a 2 años, aplican mayor cantidad de herbicida y los residuos de cosecha son ubicados en un sólo sitio de la parcela. Vargas y Flores (1995) señalan que los desechos derivados de distintos órganos de las musáceas aportan cantidades significativas de P de hasta 0.3 kg/ha/año.

Trabajos realizados por George (2006) determinó menores valores de P en fincas orgánicas de café asociado con banano contra valores altos de este elemento encontrado en fincas de manejo convencional. Por otro lado, Cardoso et ál. (2002) encontró mayores valores de fosforo (P) en sistemas agroforestales de café que en sistemas de café convencional. Sin embargo, es importante enfatizar que en las plantaciones de plátano de tierra firme e Isla, las aplicaciones de fertilizantes al cultivo son frecuentemente con nitrógeno y potasio como nitro-k, y en bajas concentraciones de P. Belalcazar (1998) señala no haber encontrado diferencias significativas en los rendimientos de plátano en Colombia con adiciones de P en suelos de origen volcánico, además subraya que en general las musáceas no son exigentes en la

demanda de este elemento. La textura de los suelos no fue utilizada como una variable de comparación *per se*, debido a que los suelos presentan texturas similares tanto en la isla como en tierra firme. La mayoría de los lotes evaluados presentaban suelos de textura franca, franca arenosa. En general, la textura que presentan estos suelos no es considerada un impedimento en la producción de plátanos para las dos localidades. Por tanto, es importante enfatizar que la poca diferencia entre texturas de los 16 lotes sea una indicación de que esta variable no es una contribuyente al momento de querer explicar las diferencias.

5.7 Relación de fitonematodos y raíces con características de suelos

Se determinó correlación negativa entre el índice de necrosis y la densidad aparente, a medida que aumenta la densidad aparente disminuye el índice de necrosis. Esta interacción tiene su explicación en el sentido de que a mayor densidad menos raíces podrán profundizar el perfil del suelo. La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo (Arshad et ál. 1996). En este estudio la correlación del índice de necrosis con DA está muy ligado a la presencia de raíces funcionales y la profundidad real del suelo, entre los cuales se encontró correlación negativa, indicando que a mayor profundidad efectiva menos raíces funcionales, esto puede asociarse a la característica propia del cultivo. Belalcázar et ál. (2003) indica que el sistema radical del plátano generalmente tiende a desarrollarse de manera horizontal en los primeros 10 a 30 cm y que raras veces se desarrolla después de los 70 cm de profundidad.

Se encontró correlación positiva entre profundidad real y *Helicotylenchus*, lo que indica que la profundidad real de los suelos no es una limitante para la reproducción de *Helicotylenchus*. Agrios (1997) menciona que la disponibilidad de alimento es menor a mayor profundidad, y que las plantas tienen su colchón radicular en los primeros 30 cm de profundidad, pero que muchos organismos superan mayores profundidades en busca de condiciones y elementos vitales.

Se encontró correlación negativa de la presencia de raíces funcionales con el pH, lo que indica que a medida que aumente el pH disminuyen las raíces. En este trabajo se encontró

correlación positiva entre la presencia de *Pratylenchus* y el pH, a medida que aumenta el pH también incrementará la población de *Pratylenchus*. Pattison (2006) indica haber encontrado en plantaciones comerciales de banano de Costa Rica, correlación positiva entre la presencia de fitonematodos y el aumento del pH.

5.8 Relación de NVL con características físicas y químicas de suelos

Se registró correlación positiva entre *Meloidogyne*, *Pratylenchus* con la densidad aparente, profundidad real y pH. En este estudio las variables físicas y químicas se tomaron en estación seca, lo que puede favorecer a que la presencia de los fitonematodos en el suelo se haya encontrado a mayor profundidad, atribuida a la ausencia de humedad. Los resultados obtenidos indican que la población de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* se incrementó a medida que incrementó la densidad aparente, profundidad y pH. Arévalo et ál. (SA) indica haber encontrado, en plantaciones de cacao asociado con café en Perú, una mayor densidad poblacional de nematodos en profundidades de 0 - 20 cm (261 individuos/100 g de suelo), decreciendo la población a medida que se incrementó la profundidad del suelo; las relaciones existentes entre la población de nematodos fitoparásitos a diferentes profundidades del suelo fue directa, observándose el mayor coeficiente y una relación altamente significativa a la profundidad de 0 - 20 cm. Pattison (2006) señala haber encontrado, en plantaciones de bananos comerciales de Costa Rica, correlaciones positivas entre el incremento del pH y las poblaciones de fitonematodos. Goodell y Ferris (1980) señalan haber encontrado estos fitonematodos a 45 cm de profundidad en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) en California de los Estados Unidos. Es posible pensar que los resultados de este estudio estén asociados a las intensidades de siembra del cultivo y el uso creciente de los sistemas de riego lo que de algún modo han incrementado la densidad de los suelos.

5.9 Efecto de hongos endofíticos sobre promoción de crecimiento

De 44 aislados de hongos endofíticos 3 presentaron mayor promoción de crecimiento en distintos órganos de micro cormo de plátanos a nivel de invernadero, destacándose los tratamientos T23, T17, y T20 como los mejores en la promoción de crecimiento del sistema radical y follaje (tallo y hojas), siendo superiores en cuanto a peso radical y follaje con lo demostrado por el testigo (control).

Estos resultados concuerdan con los reportados por Reissinger (1995) quien indica haber encontrado que plantas (*Musa* AAB) inoculadas con *Fusarium oxysporum* no patogénico aislados V4W5 resultaron ser altamente significativas en la promoción de crecimiento del sistema radical y foliar de las plantas en comparación con plantas no tratadas (control). Cañizares (2003) reporta que aislados de *Fusarium oxysporum* no patogénico (S9) presentaron diferencias significativas en la promoción de crecimiento del área radical y foliar de plantas de banano y plátano. Meneses (2003) indica haber encontrado cinco cepas de hongos endofíticos como las mejores promotoras de crecimiento de distintos órganos de vitro plantas del cultivar gran enano en Costa Rica. En este estudio la abundancia y sanidad del sistema radical de las plantas inoculadas fue visualmente notorio con respecto al aspecto que mostraban las raíces del testigo (control). Esta sanidad y abundancia del sistema radical fue reportado por Pocasangre (2000) quien indica que tanto el peso del follaje, largo y peso de las raíces de plantas de Gran enano, Gros Michel, Bluggoe y FHIA 23 fue superior al de plantas no tratadas, lo que indica que estos hongos pueden ejercer promoción de crecimiento de los órganos de las plantas sin importar la variedad.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- 1) El nematodo predominante en el sistema radical de las poblaciones de fitonematodos de los 16 lotes evaluados en las dos localidades, estaciones y niveles tecnológicos es el nematodo lesionador *Pratylenchus coffeae*.
- 2) Las poblaciones de fitonematodos totales encontradas en cada localidad, estación y nivel tecnológico son extremadamente bajas, las cuales se relacionan directamente con los bajos índices de necrosis encontrados en el sistema radical de las plantas.
- 3) Las poblaciones de fitonematodos totales fueron iguales en verano y en invierno en ambas localidades.
- 4) Las poblaciones de fitonematodos totales fueron superiores en nivel tecnológico alto, tanto en la isla como en tierra firme.
- 5) Las poblaciones del nematodo barrenador *Radopholus similis* son bajas en todas las condiciones evaluadas, localidades, estaciones y niveles tecnológicos.
- 6) Se determinaron cinco grupos tróficos de la comunidad de nematodos en el suelo: bacterívoros, omnívoros, fungívoros, fitonematodos y depredadores, siendo el grupo trófico de bacterívoros el más abundante. El índice de diversidad, de abundancia no registró diferencias entre niveles tecnológicos y localidad, solamente para estación, siendo que las poblaciones de NVL fueron superiores en invierno que en verano
- 7) El índice de enriquecimiento no detectó diferencias para localidades, estación y nivel tecnológico, lo cual indica que las fuentes energéticas son similares en localidad independiente de la estación y nivel tecnológico.
- 8) Plantas de plátano protegidas con hongos endofíticos T23, T17y T20 presentaron mayor peso radical y foliar que plantas control.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigaciones sobre poblaciones de fitonematodos y NVL utilizando un mayor número de muestreo durante las dos estaciones del año e incluyendo mayor número de lotes de plátano.
2. Utilizar las cepas de hongos endofíticos aisladas en el departamento de Rivas para estudios de control biológico de fitonematodos.
3. Profundizar en estudios sobre las relaciones de las propiedades físicas y químicas del suelo con las poblaciones de fitonematodos y NVL.
4. Es importante realizar estudios sobre el mecanismo de promoción de crecimiento que puedan tener estos hongos endofíticos en plantas a nivel de campo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- APEN (Asociación de Productores y Exportadores de Nicaragua). 2008. Comercialización de plátanos (en línea). Consultado el 16 nov. 2008. Disponible en <http://www.laprensa.com.ni/archivo/2008/noviembre/16/noticias/economia/295235.shtml>
- Agrios, G. 1998. Fitopatología. 2 ed. México, DF, LIMUSA. 838 p.
- Altieri, M. 1995. Agroecology the science of sustainable agricultura. Londres, Westview. 162 p.
- 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 p.
- Araya, M. 2000. 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 p.
- Araya, M. 2002. Metodología utilizada en el laboratorio de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) 28 (55): 97-110.
- Araya, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el Trópico Americano. *In* Taller: manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. (2003, Guayaquil, Ecuador). Programa y resúmenes. sl. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO. 31-33 p.
- Arshad, M.A, Lowery, B., Grossman, B. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America. Inc. 139 p.
- Barrios, M. 2006. Estudio de Hongos endofiticos como inductores de resistencia para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Plátano Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 40-43 p.

- Blaschette, C. Pocasangre, L., Sikora, RA., Büttner, C. Diversity of soils nematode as indicator of soil health in banana plantations of Costa Rica. Poster Gent Belgium 2006.
- Belalcázar, S; Rosales, FE; Pocasangre, LE. 2003. Formación y desarrollo de las raíces de plátano (*Musa* AAB Simmonds). In Symposium Internacional Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo (2003, San José Costa Rica). Programa y resúmenes. San José Costa Rica. 42 p.
- Belálcazar, S. 1998. El cultivo del plátano en el trópico. Manual de asistencia técnica No. 50. Quindío, Colombia. 290 p.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo (ACCS). San José, CR, 157 p.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecological 83: 14-19.
- Bongers, T; Bongers, M. 1997. Functional diversity of nematodes. Applied soil ecology 10(1998): 239-251p.
- Bridge, J; Fogain, R; Speijer, P. 1997. Nematodos lesionadores de los Bananos. Plagas de Musáceas. Hoja divulgativa N° 2. INIBAP. 2-10 p.
- Cañizares, C. 2003. Estudio sobre poblaciones de hongos endofíticos provenientes de suelos supresivos al nematodo barrenador *Radopholus similis* (cobb) thorne en plantaciones comerciales de plátano en la zona de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR.. CATIE. 75 p.
- Carrol. G. 1990. Fungal endophytes in vascular plants mycological research opportunities in Japan. Transaction of the mycological society Japan 31: 103- 116.
- Carcache, M. 2002. Microorganismos no patógeno predominantes en la filosfera y rizosfera del café y su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y poblacion de

nematodos fitopatogenos en los sistemas convencional y orgánico de café en Cartago, Costa Rica. Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE 111p.

CENAGRO– INEC (Censo Nacional Agropecuario - Instituto Nicaragüense de Estadística y Censos). 2008. Consultado 24 nov. 2008. Disponible en

<http://www.incae.edu/ES/biblioteca/lonuevo/nicaragua/ncadqui/2005/ncnoviembre2005adq.ph>

Clay, K. 1988. Fungal endofhyte of grasses, a defensive mutualism between plants and fungi. Ecology 69:2- 9.

Davide, RG. 1996. Overview of nematodes as a limiting factor in *Musa* production. In Frisonn, EA; Horry, JPD.eds. New frontiers in resistance breeding for nematode, fusarium and Sigatoka. Montpellier, FR, INIBAP. 27-31 p.

Doran, JW; Sarrantonio, M; Liebig, MA. Eds. 1996. Soil health and sustainability. Adv. Agron 56:1-54 p.

Doran, JW; Parkin, TB. 1994. Defining and assessimeng soil quality. In Doran, JW; Colenman, DC, Bezdiceek, DF; Stewar, BA.eds). Defining soil quality for a sustainable enviroment. Madison, WI, USA. Soil Science Society of American (Special publication N° 35). 3-21 p.

Departamento de Agricultura servicio de investigación agrícola (USDA) 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo “Soil quality test kit guide” eds. Luter, A, Salazar, Julio 2000. Instituto de suelos CRN-CENIA- INTA, Argentina. 4-15 p.

Espinosa, J; Mite, F. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. Revista Informaciones Agronómicas 48:4-9.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Base de Datos Agrícolas: FAOSTAT. Consultado 31 Oct. 2008. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/343/DesktopDefault.aspx?PageID=343>

- Ferris, H. 1981. Dynamic action thresholds for diseases induced by nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 19: 427-436.
- Ferris, H. 1982. The role of nematodes as primary consumers. In *nematodes in soil ecosystem*. Edited by Dianer W. Freckman. University of Texas press, Austin. 2006. 132-136 p.
- Ferris, H; Bongers, T; Goede, RGM. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied soil ecology* 18:13-29.
- Fraga, CP. 1978. Introducción a la nematología agrícola. Actualización y revisión. Rodríguez MM; Sisler de, G. ed. 2 ed. Editorial Hemisferio Sur. 119 p.
- Gauggel, A; Sierra, F; Aréval, G. 2003. The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience: a review. In editors *Banana Root System: towards a better understanding for its productive management.. Memorias de un Simposio Internacional en San José, Costa Rica*. 2003. 20 p
- Gauggel, CA; Sierra, F; Arévalo, A. 2005. The problems of banana root deterioration and their impact on 32 p.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de la calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 101 p.
- Giménez, MR. Torres, MJ. Carcache, M. Pérez, H. Bustos, I. Saavedra, M. 2006. Evaluación de alternativas naturales y biológicas en el manejo de Sigatoka negra, nematodos y picudo en plantaciones de plátano de la Comunidad de El Rosario, Rivas 7-16 p. Sin publicar.
- González, R, JB; Fernández G, E. 2003. Manejo alternativo de nematodos en musáceas. *In editores* . 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. sl. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO. 36-37 p.
- Gourd, TR; Schmitt DP; Barker, KR. 1993. Use of Nematodes as Biomonitors of Nonfumigant Nematicide Movement through Field Soil. 63–70 p.

- Gowen, SR; Quénéhervé, P. 1990. Nematode parasites of bananas, plantains and abaca. *In* Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Eds. CAB International. 431-459 p.
- Goodell, P., Ferris, H. 1980. Plant parasitic nematode distributions in an Alfalfa field. 136-145 p. Citado el 2 de diciembre de 2009. Disponible en [Plant-parasitic Nematode Distributions in an Alfalfa Field](#).
- Guzmán, M; Vargas, A. 1997. Evaluación de dos estrategias de combate de Sigatoka negra en el cultivo del Plátano cv. Curraré enano y Curraré semigigante (Musa AAB). En informe anual 1996. San José, Costa Rica, CORBANA. Dir. Inv. Y Dpto. Agr.61. p.
- Gliessman, S. 1997. Agroecology: Ecological processes in the sustainable agricultura. USA, Sleeping Bear press. 285 p.
- Harman, GE; Howell, CR; Viterbo, A; Chet, I; Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews 2:43-56.
- Henríquez, HC; Cabalceta, AG. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque Agrícola. Universidad de Costa Rica. Asociacion Costarricense de la Ciencia de Suelo. San José, CR. 112 p.
- Hodda, M; Stewart, E; Fitzgibbon, F. 1999. Nematodes: Useful indicators of soil conditions. A report for the rural industries research and development corporation, Australia. Publication no. 98/141, 44 p.
- Hunt, DJ. 2000. A Introductory Guide to Trophic Groups of Soil Nematodes. United Kingdom. 32 p.
- Latch, G. 1993. Physiological interactions of endophytic fungi and their hosts, biotic stress tolerance imparted to grasses by endophytes, agriculture ecosystems and environments.143- 156. p.
- León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, Costa Rica, Editorial Agroamérica. 522 p.

- Lescot; L. 2000. The importance of plantains and cooking bananas in Africa: outlets for the subtropical zones. *Infomusa* 9(1): 25-26.
- Meneses, A. 2003. Utilización de hongos endofíticos provenientes de banano orgánico para el control biológico del nematodo barrenador *Radopholus similis* Cobb, Thorne, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 89 p.
- Meneses, A; Pocasangre, LE; Somarriba, E; Riveros, A; Rosales, F. 2003. Diversidad de hongos endofíticos y abundancia nematodos en plantaciones de banano y plátano en la parte baja de los territorios indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 59-62.
- Menjivar, R. 2005. Estudio del potencial antagonista de hongos endofíticos para el biocontrol del nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en plantaciones comerciales de banano en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 81p.
- Moens, T; Araya, M; Swennen, R; De Waele, D. 2003. Biodegradación acelerada de nematocidas de *Musa*. In Rivas, G; Rosales, F. Eds. Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoca negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. Guayaquil, Ecuador (11-13 de agosto 2003). INIBAP. MUSALAC. Montpellier, FR. 105-118 p.
- Neher, DA. 1999. Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *Journal of nematology* 31(2):142-154.
- Neher, DA; Weicht, TR; Savin, M; Görres, JH; Amador, JA. 1999. Grazing in a porous environment. 2. Nematode community structure. *Plant and soil* 212:85-99.
- Neher, D. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *J. Nematol.* 33:161-168.
- Niere, BI. (2001). Significance of non-pathogenic isolates of non-pathogenic isolates of *Fusarium oxysporum* Schlecht.: Fries for the biological control of the burrowing nematode *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on tissue cultured banana. Ph.D. Thesis. Bonn, DE, Universität. Of Bonn. 118 p.

- Niblack, TL. 1989. Applications of nematode community structure research to agricultural production and habitat disturbance. *J. Nematology* 21: 437-443.
- Petrini, O; Sieber, TN; Toti, L; Viret, O. 1992. Ecology, metabolite production, and substrate utilization in endophytic fungi. *Natural Toxins* 1:185-196.
- Pattison, A; Badcock, K; Armour, J; Moody, P; Velupillai, R; Cobon, J; Lindsay, S; Gulino, L; Smith, L. 2004. Using nematodes as bioindicators for soil health in bananas. *In Super soil. Proceedings of the international soil science conference.*
- Pattison, A. 2006. Banana farm management effects on soil health and plant-parasitic nematodes in Cost Rica. 18-19 p.
- Parmelee RW; Bohlen, PJ; Edwards, CA. 1995. Analysis of nematode trophic structure in agroecosystems: Functional groups versus high resolution taxonomy. *In The significance and regulation of soil biodiversity* eds. HP Collins GP Roberston and MJ Lug. 203-207. Kluwer academic publishers, Dordrecht.
- Pocasangre, L; Sikora, RA; Vilich, V; Schuster, RP. 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. 2000. Biological enhancement of banana tissue culture plantlets with endophytic fungi for the control of the burrowing nematode *Radopholus similis* and the Panamá disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). Ph. D. Tesis. Universidad de Bonn. 95 p.
- Pocasangre, L.; Sikora, RA; 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 vitroplantas de banano mediante la utilización de hongos endofíticos para el control del nematodo barrenador (*Radopholus similis*), *In Riveros, AS; Pocasangre, L; Rosales, FE.* editores. 2002. inducción de resistencia y uso de tecnologías limpias para el manejo de plagas en

plantas. Memoria del taller internacional realizado en CATIE, Turrialba Costa Rica, 27-30 de agosto. 33-39 p.

Pocasangre, L. 2003. Nuevas estrategias para el manejo de nematodos en musáceas. *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. sl. MUSALAC/INIBAP/FUNDAGRO.38 p.

Pocasangre, LE; Zum Felde, A; Meneses, A; Cañizares, C; Riveros, A; Rosales, FE; Sikora, R. 2004. Manejo Alternativo de Fitonematodos en Banano y Plátano. XVI Reunión Internacional ACORBAT 2004. 107 p.

Pocasangre, LE. 2007. Pasado, presente y futuro del manejo de fitonematodos en banano y plátano en el trópico americano. Seminario mundial sobre plátano y banano, Montenegro, Quindio, hotel las Camellias 29, 30 y 31 de agosto de 2007. Eds. Zapata, R, Bejaron AL, Morales, H, Moncada, P. SnP.

Poisson, RA. 1976 "Tipo Nematelmintos", en PP, Grassé, RA. Poisson y O. Tuzet (eds.), Zoología 1, Invertebrados. Toray-Masson, Barcelona. 277-293 p.

Proctor DLCA 1990 Global overview of the functional roles of soil living nematodes in terrestrial communities and ecosystems. *J. nematol* 22, 1-7p.

Ravic, M. 2005. Production of high-quality composts of horticultural purposes: a mini review. *HorTech*. 15(1):52-57.

Reissinger, A. 1995. Untersuchunger zur wirkung endophytischer Pilze aus Bananenwurzeln auf Radopholus similis. Diplomarbeit, University of Bonn, 76 p.

Rosales, FE; Jaramillo, R. 2004. Calidad de vida en la Rizosfera del banano: una visión de nuevas iniciativas en América Latina. *In* Resúmenes Publicaciones Especiales XVI Reunión Internacional ACORBAT. 26 de septiembre al 01 octubre 2004, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.131-136 p.

- Rosero R, A, 1987. Banano y plátano: enfermedades y plagas 1ed. Medellín, Colombia. Edición AUGURA. 68 p.
- Rosales, FE; Pocasangre, LE; Trejos, J; Serrano, E; Peña, W. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros. Bioversity International. 75-76 p.
- Salguero, BM. 2006. Caracterización de Nematodos de Vida Libre como Bioindicadores de Calidad y Salud de Suelos Bananeros en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 34 p.
- Sarah, JL. 1998. Las prácticas culturales como medio de control de nematodos en banano. *In* Rosales, FE; Tripon, SC; 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, 138-151. P.
- Sikora, R. 1992. Management of the antagonistic potential in agricultural ecosystems for the biological control of plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopatology*.47 p.
- Schipke, LG; Ramsey, MD. 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.
- Stover, RH; Simmonds, NW. 1987. Bananas 3era ed. Longmans Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. 468 p.
- Talavera, M. 2003. Manual de nematología agrícola. Introducción al análisis y control nematológico para agricultores y técnicos de defensa vegetal. 11 p.
- Trejo, M; Barrios, E; Turcios, W; Barreto, H. 1999. Instrumento metodológico para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.22: 48-56.
- Triviño, C. 2004. Manejo de namatodos en Musáceas del Ecuador. En memorias del manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas

al cultivo de Musáceas en los trópicos. Congreso MUSALAC, Guayaquil, Ecuador 104-104 p.

Vargas, R; Flores, CL. 1995. Retribucion nutricional de los residuos de hojas, venas de hojas, pseudotallo y pinzote de banano (*Musa AAA*) en fincas de diferentes edades de cultivo. Revista Corbana 20 (44):33-47.

Zum Felde, A. 2002. Screening of Endophytic Fungi from Banana (*Musa*) for Antagonistic Effects towards the Burrowing Nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. Thesis Mag. Sc. Bonn, Germany. Universität Bonn. 53 p.

Yépez, G. 1972. Los nematodos; enemigos de la agricultura. Universidad Central de Venezuela. Maracay, VE. 220 p.

Yeates, GW.; Bongers, T.; de Goede GM.; Freckman DW.; Georgieva SS. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera –an outline for soil ecologists. Journal of nematology 25(3): 315-331.

Yeates, GW. 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. Biol Fertil Soils 37:199-210.

ANEXOS

Anexo 1 Aplicación de encuesta a productores

Historial de manejo del lote (Pre-diagnóstico)

Zona o sitio	Fecha	Productor
1. Actividad económica		
Seleccione		
Producción convencional para el mercado internacional		
Producción convencional para el mercado local		
Producción orgánica para el mercado local		
Ninguna de las anteriores		
Indicar:		

2. Cultivar y años de cultivo			
Cultivares	Edad de la plantación	Área (mz)	Área (ha)

3. Cada cuanto renueva su plantación			
1-2 año	3-4 año	4-5 año	6-7 años

4. Material que utiliza para la siembra y origen de la semilla				
Cormos	Vitrocormo	Vitroplantas	De su propia parcela	Vecino

5. Manejo y limpieza de semilla antes de la siembra		
Mondado y desinfección	Producto que utiliza	Dosis

6. Manejo de la fertilidad del suelo					
Indicador	Si	No	Fórmula	Ciclos/año	Kg/ha/año
Fertilizantes					
Fertilizantes foliares					
Materia orgánica (tipo)					
Encalado					
Otros					

7. Manejo fitosanitario de la plantación					
Indicador	Si	No	Ciclos/año	Kg/ha/año	
Fungicidas sistémicos					
Fungicidas protectores					
Herbicidas pos-emergentes					
Herbicidas pre-emergentes					
Nematicidas organofosforados					
Nematicidas carbamatos					
Insecticidas					
Plaguicidas orgánicos					
Prácticas culturales de manejo de enfermedades					
Prácticas culturales de manejo de insectos					
Prácticas culturales de manejo de malezas					
Prácticas culturales de manejo de nematodos					

8. Manejo de agua	
Riego y drenaje	Indicar el tipo
Sistema de riego	
Sistema de drenaje	
Fuente de agua para el riego	
frecuencia de riego	

Cuadro 13. Hongos endofíticos aislados del sistema radical de plátano de 16 lotes. Rivas, Nicaragua.

Localidad	Nivel tecnológico	Código	Localidad	Nivel tecnológico	Código
Tierra firme	Alto 1	FO 1	Isla	Alto 2	FO 25
Tierra firme	Alto 1	FO 3	Isla	Alto 3	FO 26
Tierra firme	Alto 1	FO 4	Isla	Alto 3	FO 27
Tierra firme	Alto 4	FO 6	Isla	Alto 4	FO 28
Tierra firme	Alto 3	FO 11	Isla	Alto 4	FO 29
Tierra firme	Bajo 1	FO 7	Isla	Alto 4	FO 30
Tierra firme	Bajo 1	FO 8	Isla	Alto 4	FO 31
Tierra firme	Bajo 1	FO9	Isla	Alto 4	FO 32
Tierra firme	Bajo 1	FO 10	Isla	Bajo 1	FO 33
Tierra firme	Bajo 1	FO 12	Isla	Bajo 1	FO 34
Tierra firme	Bajo 1	FO13	Isla	Bajo 2	FO 35
Tierra firme	Bajo 3	FO14	Isla	Bajo 2	FO 36
Tierra firme	Bajo 2	FO15	Isla	Bajo 2	FO 37
Tierra firme	Bajo 2	FO16	Isla	Bajo 3	FO 38
Tierra firme	Bajo 2	FO17	Isla	Bajo 3	FO 39
Tierra firme	Bajo 2	FO 18	Isla	Bajo 3	FO 40
Tierra firme	Bajo 2	FO 19	Isla	Bajo 3	FO 41
Tierra firme	Bajo 2	FO 20	Isla	Bajo 3	FO 42
Tierra firme	Bajo 4	FO 21	Isla	Bajo 3	FO 43
Tierra firme	Bajo 4	FO 22	Isla	Bajo 3	FO 44
Tierra firme	Bajo 4	FO 23	----	-----	----
Tierra firme	Bajo 4	FO 24	-----	-----	----

Anexo 3. Altura y grosor del perímetro de pseudotallo por localidad

Tierra firme	Nivel tecnológico	Estación		Profundidad de suelo cm
Variable		Verano	Invierno	
Altura de tallo cm	Alto	258.61	254.25	98
	Bajo	256.60	267.67	105
Perímetro pseudotallo cm	Alto	68.58	62.56	98
	Bajo	65.99	63.17	105
Isla de Ometepe				
Variable	Alto	352.07	368.19	68
Altura de tallo cm	Bajo	354.75	348.42	82
Perímetro pseudotallo cm	Alto	50.40	55.74	68
	Bajo	55.86	54.33	82

Cuadro 4. Densidad aparente por localidad y nivel tecnológico

Variable	Tierra firme		Isla de Ometepe	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Densidad aparente	1.22	1.01	1.21	1.20
	1.03	1.03	1.06	1.21
	1.05	1.03	1.12	1.05
	1.26	1.07	1.15	1.10

Anexo 5. Textura de suelos y tipo de sistema de riego por localidad y nivel tecnológico

LOCALIDAD					
Tierra firme			Isla		
Niveles tecnológico	Textura	Tipo de riego	Niveles tecnológico	Textura	Tipo de riego
Alto 1	Franca	Micro aspersión	Alto 1	Franca-Arenosa	Micro aspersión
Alto 2	Franca	Micro aspersión	Alto 2	Franca	Micro aspersión
Alto 3	Franca	Micro aspersión	Alto 3	Franca-Arenosa	Micro aspersión
Alto 4	Arcillosa	Micro aspersión	Alto 4	Arcillosa	Micro aspersión
Bajo 1	Franco-Arenosa	Tubiado	Bajo 1	Franca	No tiene
Bajo 2	Franca	Tubiado	Bajo 2	Arcillosa-Arenosa	No tiene
Bajo 3	Franca	Tubiado	Bajo 3	Franca	No tiene
Bajo 4	Franca	Tubiado	Bajo 4	Franca-Limosa	No tiene

Anexo 6. Análisis de suelo realizado en cada lote por localidad (laboratorio de suelos EIAG)

Localidad	Nivel tecnológico	Finca	pH	%		ppm							Meq/100 gr		
				MO	N	P	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	K	Ca)	Mg
Tf	Alto	1	6.7	2.29	0.11	76.1	14.29	0.3	79.1	12.85	6.13	0.96	0.77	13.11	6.16
Tf	Alto	2	6.8	3.29	0.16	38.0	13.67	0.28	116.4	14.37	9.79	1.57	0.68	12.01	5.04
Tf	Alto	3	7.0	4.1	0.2	27.1	16.29	0.05	90.3	12.73	5.94	1.84	0.66	14.7	4.85
Tf	Alto	4	6.7	2.26	0.11	19.3	6.65	0.18	32.3	12.25	6.60	0.84	0.23	30.83	7.98
Tf	Bajo	1	6.7	1.21	0.06	102.8	13.77	0.85	94.3	7.09	2.31	0.73	0.98	6.33	3.35
Tf	Bajo	2	7.0	4.36	0.21	82.3	15.16	0.15	132.9	13.9	25.46	2.23	1.82	12.01	5.06
Tf	Bajo	3	7.1	2.76	0.13	18.3	9.25	0.18	128.0	11.0	7.2	1.87	1.60	8.68	2.75
Tf	Bajo	4	7.2	3.95	0.19	38.5	14.02	0.80	59.0	11.0	19.30	1.20	0.51	21.75	3.85
Isla	Alto	1	7.5	3.07	0.15	107.0	26	0.21	114.5	15.4	9.6	2.02	0.85	8.08	1.02
Isla	Alto	2	5.9	4.33	0.21	127.3	10.46	0.01	61.1	15.8	37.4	6.74	0.4	6.45	1.38
Isla	Alto	3	6.7	2.6	0.13	174.9	16.38	0.33	126.8	14.9	17.4	7.6	0.99	10.48	1.79
Isla	Alto	4	6.7	3.32	0.16	182.2	19.65	0.01	134.5	15.6	30.4	4.65	0.53	6.96	0.77
Isla	Bajo	1	7.1	2.45	0.12	136.7	14.75	0.01	115.3	8.4	19.7	2.39	1.39	11.31	1.83
Isla	Bajo	2	6.9	3.39	0.17	99.7	12.09	0.01	180.5	12.4	20.2	2.82	0.81	8.94	1.08
Isla	Bajo	3	7.0	1.88	0.09	157.3	4.16	0.5	101.8	17.1	12.4	2.84	1.48	9.48	2.96
Isla	Bajo	4	7.1	4.39	0.22	188.8	22.91	0.17	12.5	17.0	55.1	10.08	0.53	12.39	1.14

Tf= Tierra firme

Anexo 7. Variables climáticas durante la fase del estudio (estación meteorológica Ineter, zonal Rivas-EIAG)

Meses	Variables climáticas			
	Temperatura media °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	velocidad de vientos km/h
Enero	25.7	78	6.2	14
Febrero	26	74	2.7	18
Marzo	26.6	71	0.3	14
Abril	28	72	3.9	14
Mayo	28.2	75	186.6	11
Junio	27.1	83	226	7
Julio	27.1	82	84.1	11
Agosto	27.2	82	61	11
Septiembre	27.9	80	92	11
Al 15 de octubre	28.1	81	22.1	7

Anexo 8. ANAVA para comparar la interacción del peso de raíces funcionales por localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	229.4	<0.0001
Localidad	1	161	21.52	<0.0001
Estación	1	161	6.32	0.0129
Nivel Tecnológico	1	161	11.05	0.0011
Localidad x Estación	1	161	0.01	0.9378
Localidad x Nivel x Tecnológico	1	161	0.49	0.486
Estación x Nivel x Tecnológico	1	161	3.72	0.0555
<u>Localidad x Estación x Nivel x Tecnológico</u>	<u>1</u>	<u>161</u>	<u>1.96</u>	<u>0.1633</u>

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 9. ANAVA para comparar la interacción del peso de raíces no funcionales por localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	124.36	<0.0001
Localidad	1	161	23.85	<0.0001
Estación	1	161	40.61	<0.0001
Nivel Tecnológico	1	161	1.19	0.2778
Localidad x Estación	1	161	0.03	0.8604
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	2.30E-03	0.9617
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	3.33	0.0698
<u>Localidad x Estación x Nivel Tecnológico</u>	<u>1</u>	<u>161</u>	<u>0.57</u>	<u>0.4528</u>

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 10. ANAVA para comparar las interacciones en el peso de raíces no funcionales por localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	281.74	<0.0001
Localidad	1	161	1.09	0.2978
Estación	1	161	4.7	0.0317
Nivel Tecnológico	1	161	8.42	0.0042
Localidad x Estación	1	161	18.88	<0.0001
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	6.18	0.0139
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	4.42	0.0372
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.75	0.3879

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 11. ANAVA para comparar la interacción del peso total de raíces por localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	71.16	<0.0001
Localidad	1	161	2.57	0.1105
Estación	1	161	9.11	0.003
Nivel Tecnológico	1	161	4.56	0.0343
Localidad x Estación	1	161	12.78	0.0005
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	0.05	0.8309
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	4.52	0.035
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.73	0.3934

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 12. ANAVA para comparar la interacción de los índices de necrosis por localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	293.91	<0.0001
Localidad	1	161	18.12	<0.0001
Estación	1	161	8.23	0.0047
Nivel Tecnológico	1	161	14.48	0.0002
Localidad x Estación	1	161	2.12	0.1471
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	2.12	0.1471
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	5.54	0.0198
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.76	0.3849

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 13. ANAVA para comparar las interacciones de *Radopholus similis* entre localidad, estación y nivel tecnológico en 100 g de raíces.

	<i>umDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	6.29	0.0131
Localidad	1	161	0.58	0.4486
Estación	1	161	0.3	0.5823
Nivel Tecnológico	1	161	1.25	0.2656
Localidad x Estación	1	161	0.53	0.4666
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	0.08	0.7776
Estación x Nivel Tecnológico.	1	161	1.6	0.2073
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico.	1	161	1.18	0.2785

Anexo 14. ANAVA para comparar las interacciones de *Helicotylenchus multicinctus* entre localidad, estación y nivel tecnológico en 100 g de raíces.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	76.47	<0.0001
Localidad	1	161	7.76	0.006
Estación	1	161	2.95	0.0879
Nivel Tecnológico	1	161	8.88	0.0033
Localidad x Estación	1	161	6.76	0.0102
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	1.7	0.1945
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	2.75	0.0995
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.13	0.7187

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 15. ANAVA para comparar las interacciones de *Pratylenchus* entre localidad, estación y nivel tecnológico en 100 g de raíces.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	71.16	<0.0001
Localidad	1	161	2.57	0.1105
Estación	1	161	9.11	0.003
Nivel Tecnológico	1	161	4.56	0.0343
Localidad x Estación	1	161	12.78	0.0005
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	0.05	0.8309
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	4.52	0.035
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.73	0.3934

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 16. ANAVA para comparar las interacciones en la presencia de *Meloidoidogyne* entre localidad, estación y nivel tecnológico en 100 g de raíces.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	47.01	<0.0001
Localidad	1	161	4.58	0.0338
Estación	1	161	0.06	0.8044
Nivel Tecnológico	1	161	3.6	0.0595
Localidad x Estación	1	161	5.79	0.0173
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	7.76	0.006
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	3.06	0.0824
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	0.62	0.4305

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 17. ANAVA para comparar las interacciones de las poblaciones de nematodos en 100 g de suelo entre localidad, estación y nivel tecnológico.

	<i>numDF</i>	<i>denDF</i>	<i>F-value</i>	<i>p<=0.05</i>
(Intercept)	1	161	108.91	<0.0001
Localidad	1	161	53.3	<0.0001
Estación	1	161	172.57	<0.0001
Nivel Tecnológico	1	161	13.8	0.0003
Localidad x Estación	1	161	28.07	<0.0001
Localidad x Nivel Tecnológico	1	161	50.66	<0.0001
Estación x Nivel Tecnológico	1	161	6.19	0.0139
Localidad x Estación x Nivel Tecnológico	1	161	37.01	<0.0001

Diferencias significativas (p<=0.05)

Anexo 18. Comparaciones promedio y porcentuales de órdenes y grupos tróficos de nematodo de vida libre. Tierra firme, estación verano, nivel tecnológico alto.

Orden	Grupos tróficos	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	59	6
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	109	12
<i>Rhabditidae</i>	<i>Bacteriófago</i>	35	4
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	1	0
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	40	4
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	146	15
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	326	35
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	44	5
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	63	7
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	22	2
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0
<i>Aphelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	31	3
<i>Eudorilaimidus</i>	<i>Omnívoro</i>	10	1
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	58	6
TOTAL		943	100

Anexo 19. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en Tierra firme, estación verano, nivel tecnológico alto.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	110	16.4
<i>Fitonematodo</i>	490	72.9
<i>Omnívoro</i>	46	6.8
Fungívoro	26	3.9
Total	672	100

Anexo 20. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en Tierra firme, estación verano, nivel tecnológico bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	26	3.8
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	63	9.4
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	22	3.2
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	52	7.8
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	4	0.6
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	110	16.3
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	252	37.4
<i>Tylenchida</i>	<i>Fitonematodo</i>	12	1.8
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	58	8.6
<i>Longidorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	2	0.3
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	26	3.9
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	46	6.8
TOTAL		672	100

Anexo 21. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en Tierra firme, estación verano, nivel tecnológico bajo.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	110	16.4
<i>Fitonematodo</i>	490	72.9
<i>Omnívoro</i>	46	6.8
Fungivoro	26	3.9
Total	672	100

Anexo 22. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en Tierra firme, estación invierno, nivel tecnológico alto.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	6	5.13
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	56	51.9
<i>Rhabditidae</i>	<i>Bacteriófago</i>	4	3.72
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	1	1.3
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	2	2.26
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	1.07
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.69
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	2	2.03
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	20	18.65
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	5.71
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.57
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0.31
<i>Aphelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	4	3.79
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	3	2.87
TOTAL		109	100

Anexo 23. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en Tierra firme, estación invierno, nivel tecnológico alto.

Grupo trófico	Promedio	%
<i>Bacterívoro</i>	68	62.39
<i>Fitonematodo</i>	31	28.44
<i>Omnívoro</i>	3	2.75
<i>Depredador</i>	3	2.75
<i>Fungívoro</i>	4	3.67
TOTAL	109	100.00

Anexo 24. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos de nematodo en Tierra firme, estación invierno, nivel tecnológico bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	5	4.93
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	57	51.82
<i>Rhabditidae</i>	<i>Bacteriófago</i>	10	9.29
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	1	1.06
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	0	0.27
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0.15
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.68
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	4	3.71
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	21	18.76
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	4	3.45
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.8
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0
<i>Aphelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	3	2.58
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	3	2.5
TOTAL		110	100

Anexo 25. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en Tierra firme, estación invierno, nivel tecnológico bajo.

Grupos tróficos	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	73	66.36
<i>Fitonematodo</i>	31	28.18
<i>Omnívoro</i>	3	2.73
<i>Depredador</i>	0	0
<i>Fungívoro</i>	3	2.73
Total	110	100

Anexo 26. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en la Isla, estación verano, nivel tecnológico alto.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	10	1.5
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	121	18.1
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	11	1.6
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	3	0.4
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.2
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	106	15.9
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	229	34.4
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	40	6
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	2	0.3
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	0.9
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	113	16.9
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnivoro</i>	25	3.7
Total		667	100

Anexo 27. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en la Isla, estación verano, nivel tecnológico alto.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	142	21.2
<i>Fitonematodo</i>	385	57.8
<i>Omnívoro</i>	25	3.7
<i>Depredador</i>	3	0.4
<i>Fungivoro</i>	113	16.9
Total	667	100

Anexo 28. Comparaciones de promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en la Isla, estación verano, nivel tecnológico bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	10	1.5
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	121	18.1
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	11	1.6
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	3	0.4
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.2
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	106	15.9
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	229	34.4
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	40	6
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	2	0.3
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	0	0
<i>Tylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	0.9
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	113	16.9
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	25	3.7
Total		667	100

Anexo 29. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en la Isla, estación verano, nivel tecnológico bajo.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriófago</i>	142	21.2
<i>Fitonematodo</i>	385	57.8
<i>Omnívoro</i>	25	3.7
<i>Depredador</i>	3	0.4
<i>Fungívoro</i>	113	16.9
Total	667	100

Anexo 30. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en la Isla, estación invierno, nivel tecnológico alto.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	29	4.3
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	331	48.4
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	17	2.4
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	9	1.3
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	9	1.2
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	34	5
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	100	14.6
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	41	6
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	6	0.8
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	3	0.5
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	73	10.6
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	34	4.9
Total		684	100

Anexo 31. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en la Isla, estación invierno, nivel tecnológico alto.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriofago</i>	386	56.4
<i>Fitonematodo</i>	184	26.8
<i>Omnívoro</i>	34	4.95
<i>Depredador</i>	9	0.8
<i>Fungivoro</i>	73	10.6
Total	684	100

Anexo 32. Comparaciones promedio y porcentuales de orden y grupos tróficos en la Isla, estación invierno, nivel tecnológico bajo.

Orden	Grupo trófico	Promedio	%
<i>Alaimida</i>	<i>Bacteriófago</i>	27	4.2
<i>Cephalobidal</i>	<i>Bacteriófago</i>	370	57.6
<i>Rhabditida</i>	<i>Bacteriófago</i>	14	2.1
<i>Wilsonema</i>	<i>Bacteriófago</i>	2	0.3
<i>Mononchus</i>	<i>Depredador</i>	4	0.6
<i>Meloidogyne</i>	<i>Fitonematodo</i>	38	5.8
<i>Pratylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	87	13.4
<i>Radopholus</i>	<i>Fitonematodo</i>	9	1.4
<i>Trichodorus</i>	<i>Fitonematodo</i>	4	0.6
<i>Helicotylenchus</i>	<i>Fitonematodo</i>	1	0.1
<i>Haplolaimus</i>	<i>Fitonematodo</i>	3	0.5
<i>Apelenchoide</i>	<i>Fungívoro</i>	56	8.7
<i>Dorylaimida</i>	<i>Omnívoro</i>	31	4.7
Total		643	100

Anexo 33. Comparaciones promedio y porcentuales de grupos tróficos en la Isla, estación invierno, nivel tecnológico bajo.

Grupos trófico	Promedio	%
<i>Bacteriofago</i>	412	64.1
<i>Fitonematodo</i>	141	21.9
<i>Omnívoro</i>	31	4.7
<i>Depredador</i>	4	0.6
<i>Fungívoro</i>	56	8.7
Total	643	100