

ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMATODOS
FITOPARASITOS EN CULTIVO DEL PLÁTANO

YAMILETH CHAGÜEZÁ VILLARREAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA
2011

ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMATODOS
FITOPARASITOS EN CULTIVO DEL PLÁTANO

YAMILETH CHAGÜEZÁ VILLARREAL

Trabajo de tesis como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias
Agrarias Línea de Investigación de Suelos

DIRECTOR: ELENA VELÁSQUEZ IBÁÑEZ

CODIRECTOR: PATRICK LAVELLE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS

PALMIRA

2011



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 02 días del mes de junio de 2011, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores NANCY BARRERA MARÍN y NEUZA ASAKAWA

Para calificar la Tesis de Grado de:

**YAMILETH DEL ROSARIO
CHAGÜEZA VILLAREAL**

Titulada:

“ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMATODOS FITOPARASITOS EN CULTIVO DEL PLÁTANO” bajo la dirección de Elena Velásquez Ibáñez, Ph.D.

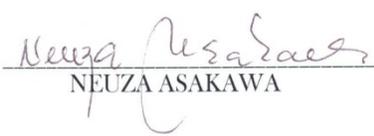
Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los investigadores NANCY BARRERA MARÍN y NEUZA ASAKAWA, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA



NANCY BARRERA M.



NEUZA ASAKAWA

La facultad y los jurados de tesis
no se harán responsables de las ideas
emitidas por el autor.

Artículo 24, resolución 04 de 1974

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. JUSTIFICACIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo General.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. MARCO TEORICO	20
3,1 SITUACIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DEL CULTIVO DE PLÁTANO	20
3.2 ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS	24
3.3 Desarrollo de nuevas estrategias de manejo del suelo y la nutrición de los cultivos	28
Técnica de Fertilización Bio-Orgánica (FBO).....	29
4 DISEÑO METODOLÓGICO	31
4.2 Ubicación del experimento.....	31
4.3 Tratamientos definidos:.....	32
Aplicación de la técnica FBO asociada a plantas de plátano.....	33
4.4 Evaluaciones	34
4.4.1 Análisis de suelo	34
Densidad y diversidad de lombrices de tierra	35
Densidad y diversidad de macrofauna.....	36
Morfología del suelo	36
4.4.2 Evaluaciones realizadas en las plantas.....	36

Metodología para la evaluar colonización y conteo de esporas de Hongos Micorrícicos arbusculares (HMA).....	37
Conteo de Esporas	37
Metodología para la estimación del micelio externo de HMA.	38
Cuantificación del micelio externo:	39
Densidad y diversidad de nematodos.....	41
Metodología para extracción de nematodos en suelo.	41
4.5 Análisis de la información	42
5 RESULTADOS	44
5.2 Macrofauna.....	44
5.3 Análisis de la Macrofauna del suelo en dos tiempos de evaluación.	48
5.4 Análisis de la Macrofauna del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.	50
5.5 Análisis físico y de fertilidad química del suelo.	53
5.6 Análisis morfológico de los macro agregado del suelo.	55
5.7 Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- en dos épocas de muestreo.	57
5.8 Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- diez meses después de aplicar los tratamientos.	59
5.9 Microorganismos presentes en los diferentes agregados de la separación morfológica del suelo.	61
5.10 Variables asociadas al crecimiento	63
6 DISCUSIÓN.....	70
7 CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74

ANEXOS.....88

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la finca La Cumbre. Tomada de http://earth.google.com	31
Figura 2. Diseño experimental, Distribución de los tratamientos en campo.....	33
Figura 3. Esquema del sistema FBO en cada parcela.....	34
Figura 4. Representación de la toma de muestras en cada parcela del ensayo....	35
Figura 5. Procedimiento para la extracción de esporas de Hongos formadores de Micorrizas Arbuscular (HMA).	38
Figura 6. Extracción de nematodos del suelo.	41
Figura 7. Densidad de Macrofauna Evaluación Inicial	46
Figura 8. Macrofauna 10 meses. Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL). Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombri), Micorriza (Micor), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_F = Fuera de la Trinchera.....	47
Figura 9. Densidad de hormigas en los dos tiempos.	48
Figura 10. .Circulo de correlaciones de poblaciones de Macrofauna en dos tiempos de evaluación.....	49
Figura11. Macrofauna dos tiempos. ACP	50
Figura 12. Macrofauna del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.	52
Figura 13. Variables químicas y físicas del suelo.	54
Figura 14. Variables de morfología del suelo.....	56
Figura 15. Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- en dos épocas de muestreo.....	58
Figura 16. Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- diez meses después de aplicar los tratamientos.	60

Figura 17. Microorganismos presentes en los diferentes agregados de la separación morfológica del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.	62
Figura 18. Modelo parabólica Tratamiento 1 (F.B.O) . Numero de hojas en diferentes tiempos.....	66
Figura 19. Modelo parabólica Tratamiento 2 (Lombri-Lix). Numero de hojas en diferentes tiempos.....	66
Figura 20. Modelo parabólica Tratamiento 3 (Lombri). Numero de hojas en diferentes tiempos.....	67
Figura 21. Porcentaje de Macrofauna 10 Meses.	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Promedios Densidad de macrofauna para los tiempos.....	45
Tabla 2. Coeficiente de correlación Pearson entre las variables	63
Tabla 3 Análisis de varianza. Numero de Hojas	64
Tabla 4. Promedios y prueba de rango múltiple de Duncan para variables asociadas al crecimiento.....	64
Tabla 5 Modelos para número de hojas.....	68
Tabla 6 Modelos para altura y diámetro.....	68
Tabla 8. Densidad de macrofauna para los tiempos.....	89
Tabla 9 Análisis químicos realizados a los 10 meses	91
Tabla 10 Promedios de Nematodos y Esporas del Suelo en Dos Tiempos.....	92
Tabla 11 medias Nematodos y Esporas dentro de los agregados del suelo.	93
Tabla 12. Composición química de lixiviados de diferentes fincas productoras en el Quindío	94
Tabla 13 Promedios de microorganismos para la segunda evaluación después de la siembra	95
Tabla 14 Promedios de microorganismos para la tercera evaluación después de la siembra	95
Tabla 15 Promedios de los Agregados Biológicos.....	96
Tabla 16. Promedios variables asociadas al crecimiento en diferentes edades de la planta.	97

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Protocolo Tinción de micorrizas con tinta Sheaffer	88
Anexo B. Tabla 8. Densidad de macrofauna para los tiempos.	89
Anexo C. Figura 21. Porcentaje de Macrofauna 10 Meses.....	90
Anexo D. Tabla 9 Análisis químicos realizados a los 10 meses	91
Anexo E. Tabla 10 Promedios de Nematodos y Esporas del Suelo en Dos Tiempos.	92
Anexo F. Tabla 11 medias Nematodos y Esporas dentro de los agregados del suelo.	93
Anexo G. Tabla 12. Composición química de lixiviados de diferentes fincas productoras en el Quindío.....	94
Anexo H. Tabla 13 Promedios de microorganismos para la segunda evaluación después de la siembra.....	95
Anexo I. Tabla 14 Promedios de microorganismos para la tercera evaluación después de la siembra.....	95
Anexo J. Tabla 15 Promedios de los Agregados Biológicos.....	96
Anexo K Tabla 16. Promedios variables asociadas al crecimiento en diferentes edades de la planta.....	97
Anexo L MODELOS PARA VARIABLES ASOCIADAS AL CRECIMIENTO	98

RESUMEN

El plátano es una de las frutas tropicales más importantes a nivel mundial, porque es alimento básico para millones de personas de escasos recursos. En la zona cafetera de Colombia la zona productora de plátano más importante del país (Departamento del Quindío), ha perdido en los últimos años su capacidad productiva y sostenibilidad por falta de tecnología eficiente, económica y ecológica para desarrollar estrategias de prevención y manejo de enfermedades para garantizar la sostenibilidad del cultivo. En este trabajo se evaluaron diferentes alternativas biológicas como lixiviados de residuos de plátano, micorrizas comerciales, lombricompost y la técnica Fertilización Bio Orgánica (FBO) para el control de nemátodos fitoparásitos; se establecieron ensayos en parcelas experimentales en campo usando seis plantas por cada unidad experimental, se evaluó la macrofauna y la agregación del suelo, las poblaciones de nematodos (suelo y raíz), para micorrizas colonización, número de esporas, micelio externo, para variables asociadas al crecimiento (No. de hojas, Diámetro de tallo y altura de planta) y la producción. Por efecto del FBO se obtuvo un aumento en la macrofauna de 600 a 2500 individuos por m² y las lombrices aumentaron de 0 a 60 %, el FBO fue el tratamiento con mayor porcentaje de agregados de origen biogénico, y fue en estos agregados donde se encontraron menores poblaciones de nematodos fitoparásitos y se incrementó la población de nematodos saprófitos. El FBO y Micorriza_lombricompost, aumentaron la colonización de micorriza y esta tuvo un control de nematodos; para las variables de crecimiento se obtuvieron los mayores promedios con el tratamiento Lombricompos y no se presentó diferencia significativa en la producción comparada con el testigo (Manejo productor).

Palabras Clave:

Musa AAB, Nematodos fitoparásitos, Fertilización Bio Orgánica, Agregados de Suelo, Micorriza

ABSTRACT

Banana is one of the most important tropical fruits worldwide, because it is a staple food for millions of poor people. In the coffee zone of Colombia's banana-producing area's largest country (Quindio), has lost in recent years their productive capacity and sustainability due to lack of efficient technology, economic and ecological strategies for prevention and disease management to ensure sustainability of the crop. In this work, various biological alternatives as leachate from waste banana commercial mycorrhizae, vermicompost and technology Bio Organic Fertilizer (FBO) for the control of plant parasitic nematodes; trials were established in field plots using six plants per experimental unit was evaluated macrofauna and soil aggregation, populations of nematodes (soil and root) to mycorrhizal colonization, number of spores, external mycelium, variables associated with growth (No. of leaves, stem diameter and plant height) and production. The effect of the FBO was obtained macrofauna increased from 600 to 2500 individuals per m² and earthworms increased from 0 to 60%, the FBO was the treatment with the highest percentage of aggregates of biogenic origin, and it was in these aggregates where they met lower parasitic nematode populations and increased the saprophytic nematode population. The FBO and Micorriza_lombricompost, mycorrhizal colonization increased and this had a control of nematodes for the variables of growth were obtained the highest averages Lombricompos treatment and did not show significant difference in output compared with the control (Managing Producer).

KEYS WORDS: Musa AAB, parasitic nematodes, Bio Organic Fertilizer, Soil Aggregates, Mycorrhiza

INTRODUCCIÓN

El cultivo del plátano en los últimos años ha perdido su capacidad productiva y sostenibilidad por falta de tecnología eficiente, económica y ecológica para mejorar la fertilidad del suelo y la sanidad de los cultivos. Estas son las principales causas de pérdida competitiva en los mercados internacionales (Espinal *et al*, 2005).

Colombia tiene la meta de aumentar la eficiencia en productividad medida en rendimiento de 7.07 Ton/ha para 15 Ton/ha en el año 2020. Sin embargo problemas de sanidad puede comprometer esta meta, porque las enfermedades como la Sigatoka negra y el Moko han destruido más de 50% del área sembrada con grandes implicaciones en la economía, aumentando el costo de producción de 1.5 millones a 6 millones COP/ha (FEDEPLATANO, 2009).

Este cultivo es muy sensible a muchas enfermedades y plagas, principalmente a la Sigatoka negra (*Mycosphaerellafijiensis* var *difformis*), Sigatoka amarilla (*Mycosphaerellamiscicola*), el Moko (*Ralstoniasolanacearum*) y los nematodos fitoparásitos. Se estima que entre 60 y el 70% de los productores en Colombia no aplican ningún control.

Aunque el nivel de tecnología utiliza bajos insumos, los cultivos con algún grado de tecnificación tienden a aplicar agroquímicos muy tóxicos para el manejo de nematodos y muy frecuente para el manejo de Sigatoka, así como el uso de formol en los focos afectados por Moko, lo cual causa un desequilibrio en la microflora y fauna del suelo, que trae reducción de fertilidad y aumento en la probabilidad de reincidencia de esta enfermedad, así como de aumento de fitonemátodos, debido a la eliminación de agentes antagonistas nativos del suelo. La competitividad de de este cultivo se ve afectada no sólo por las enfermedades sino por el alto uso de agroquímicos en cultivos tecnificados, que causan contaminación ambiental y

perjuicios a la salud de trabajadores y habitantes de las zonas plataneras y a los consumidores. Los métodos alternativos de manejo, incluidos los orgánicos, son necesarios por que las normas restrictivas sobre el uso de plaguicidas están cada vez más drásticas (Gowen*et al.* 2005).

La competitividad en nuevos mercados internacionales que exigen productos de consumo humano libres de trazas químicas, está permitiendo incursionar en la búsqueda de nuevas alternativas para el manejo de enfermedades así como en el desarrollo de nuevas estrategias de manejo del suelo y la nutrición.

Es necesario, entonces, desarrollar estrategias de prevención y manejo de enfermedades de plátano limitantes de la producción de plátano, para garantizar la sostenibilidad del cultivo dentro de un esquema de agricultura limpia con participación de agricultores en la investigación, que permita sostenibilidad ambiental y económica, reduciendo costos de manejo de enfermedades y minimizando la contaminación ambiental (FAO, 2003).

1. JUSTIFICACIÓN

El Plátano está ubicado como cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Constituye una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo, donde Latinoamérica y El Caribe producen el mayor porcentaje que se comercializa en el mundo (Mora, 2007).

El plátano es una de las frutas tropicales más importantes a nivel mundial, porque es un alimento básico para millones de personas de escasos recursos y recientemente se ha convertido en producto de exportación a gran escala (Cuello et al, 2004). En el 2005 las importaciones por Estados Unidos (el principal comprador) ascendieron a 262.605 toneladas, mientras en el 2006 el volumen importado fue de 243.549 toneladas. Finalmente en el 2007, al 03 de noviembre se importaron 199.998 toneladas, siendo los principales abastecedores Colombia, Ecuador, Guatemala y Costa Rica (Mora, 2007)

El cultivo de plátano en Colombia, ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13%, está como monocultivo tecnificado (Espinal *et al*, 2006).

Los rendimientos por hectárea fueron muy variables entre 1993 y 2004, debido principalmente a problemas fitosanitarios. Mientras la región de Urabá exporta el 94% del total de Colombia, sus rendimientos han sido variables y los costos de

manejo fitosanitario han aumentado, principalmente los de Sigatoka (Espinal *et al.*, 2006).

Los nematodos fitoparásitos más importantes que afectan el plátano son el nematodo del nudo radical *Meloidogynessp*, especialmente en el Valle del Cauca, en la zona cafetera y en la zona bananera de Urabá , seguido del nematodo barrenador *Radopholussimilis* el cual se encuentra distribuido en diferentes zonas plataneras del país. Los nematodos al alimentarse del sistema de raíces afectan directamente la nutrición de la planta haciéndola más susceptibles al ataque de hongos y bacterias. (Luet *al*,1990 citado por Lavelle *et al*,2004). La continua utilización de diferentes clases de productos nematicidas para controlar estos parásitos y las enfermedades de plantas ha generado serios problemas con relación a la salud pública y calidad (Lavelle *et al*, 2004).

Los nemátodos parásitos que afectan el plátano constituyen pérdidas cercanas a 10 % en plantaciones jóvenes y van aumentando a medida que se incrementan las poblaciones. Las pérdidas en la agricultura mundial por nemátodos están estimadas en más de US\$ 80 mil millones por año (Agrios, 2005) citado por Ritzinger y Fancelli, 2006). Los químicos que acostumbran emplear para su control generalmente son muy tóxicos como Carbofuran, Profox y Aldicarb (productos que se encuentran en las listas de productos no recomendados en agricultura).

Según FAO (2003) el problema sanitario del plátano y del banano es una amenaza a la seguridad alimentaria y es necesario hacer investigación básica y aplicada y formación de los campesinos para enfrentar el problema.

Es necesario, además, desarrollar estrategias de prevención y manejo de enfermedades para garantizar la sostenibilidad del cultivo dentro de un esquema de agricultura limpia con participación de los agricultores.

Este trabajo ha propuesto alternativas biológicas al uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano, en la zona cafetera de

Colombia (departamento del Quindío), zona donde se concentra la mayor producción del plátano, de gran importancia en el mercado nacional e internacional.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el control de los nematodos fitoparásitos *Helicotylenchussp*, *Meloidogynespp*, *Radopholussimilis* y *Tylenchus*, en cultivo de plátano mediante el uso de un biocontrol elaborado con lombrices de tierra, micorrizas y lixiviados de plátano.

2.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de los diferentes elementos del biocontrol sobre los nematodos fitoparásitos y la respuesta de las plantas del plátano.

Evaluar el efecto de la técnica de Fertilización Bio Orgánica (FBO) sobre el impacto de los nematodos en diferentes estadios del desarrollo de la planta.

3. MARCO TEORICO

3,1 SITUACIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DEL CULTIVO DE PLÁTANO

El plátano es una fruta tropical originada en el suroeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas. Las dos especies más conocidas en nuestro medio son: la *Musa paradisíaca* que corresponde al plátano para cocción, y la *Musa sapientum* o banano.

Los plátanos y otras especies para cocción, se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe. Constituyen una importante fuente de carbohidratos y contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas en África, el Caribe, Latinoamérica, Asia y el Pacífico. Las formas de su consumo varían ampliamente entre países, de acuerdo a los hábitos alimenticios. Los sistemas de producción son en su mayoría tradicionales, y se dan frecuentemente en asocio con otro tipo de productos agrícolas, como el café, coco, ñame, entre otros. En algunos países se cultiva como monocultivo de plantación.

La producción del plátano se concentra en los países de África, América latina y el Caribe con la producción mundial que oscila entre 33 mil millones de toneladas y Colombia participa con el 8% de esta producción (FAO, 2009). En los últimos años Colombia pasó del segundo lugar al cuarto lugar en importancia en términos de producción del plátano en el mundo, quedando después de Uganda, Nigeria y Ghana. Los países africanos, a pesar de tener una gran participación en la producción mundial, la mayor parte es destinada para el consumo interno con una baja participación en el mercado internacional. Colombia presenta un crecimiento lento en su producción porque del año 1995 al 2007 solo creció 1.1%, con una

tasa de crecimiento anual de 0.9%, comparado con otros países de África que presentan tasas bien mayores, en torno de 4 a 6%, incluso Cuba y Perú presentan tasas de 5.4 y 3.7% respectivamente (Ruiz et al. 2009).

El cultivo de plátano en Colombia, ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13% está como monocultivo tecnificado (Belalcázar, 1991).

En Colombia se cultivan cerca de 380.000 ha con una producción de 2.5 millones de toneladas anuales de los cuales en torno de 4% es destinado a la exportación, 1% como materia prima para la agroindustria, unos 10% de pérdida de la producción y el restante es para el mercado interno (Ruiz et al. 2009).

La mayor producción se concentra en la zona cafetera central en los departamentos del Quindío, Risaralda y Caldas. En el año 2008, Quindío produjo 316.021 toneladas en 34.472 ha, Risaralda 149.735 ton en 19.499 ha y Caldas 170.036 ton en 15.705 ha. En términos de participación de estos departamentos en la producción nacional represento 11,2, 5.3 y 6% para el Quindío, Risaralda y Caldas respectivamente. Entre los años 1995 y 2008 a pesar que Colombia creció solamente 1.1% hay grandes diferencias regionales en ese sentido. Por ejemplo Quindío tuvo un crecimiento promedio anual de 0.7% y Risaralda de 6.5% (Ruiz et al. 2009).

Colombia es también un país importador debido al aumento en la demanda internacional e nacional para consumo fresco y para el procesamiento industrial (Ruiz et al. 2009). , importando del Ecuador y Venezuela generalmente plátanos de calidad inferior que al nacional. (FEDEPLATANO, 2009).

El plátano es cultivado en gran parte (87%) como un cultivo tradicional, asociado con yuca, café, cacao y frutales y el 13% restante como un monocultivo tecnificado. La mayoría de la producción tradicional está en manos de los pequeños productores como su medio de vida. Una gran parte de la producción tecnificada se concentra en el Golfo de Uraba y el nororiente del departamento de Magdalena, con alto nivel de productividad y comercialización, también debido a localización en suelos con mejores calidades que otras zonas productoras (Espinal et al, 2005), y en menor proporción en la zona cafetero, principalmente en el Quindío.

Entre las variedades cultivadas en Colombia, las de mayor potencial comercial son el Hartón y Dominico Hartón. La variedad Dominico Hartón es la más cultivada en la zona cafetera por las condiciones agroecológicas que ofrece entre 1000 y 1600 m.s.n.m.

Colombia en los últimos años ha sufrido disminución en su producción, debido a problemas climáticos y a la alta incidencia de enfermedades y plagas como la Sigatoka, Moko, y nematodos fitoparásitos, sin contar con la incidencia de virus que se manifiestan dependiendo de las condiciones climáticas.

La Sigatoka es la enfermedad foliar más devastadora del plátano causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* (Sigatoka negra) y *M. misicola* (Sigatoka amarilla), para su control se hace uso constante de fungicidas químicos durante el ciclo del cultivo, principalmente contra Sigatoka negra. Esta enfermedad genera altos costos en la producción, además de generar especies resistentes a esos químicos (Pérez y Pérez, 2003).

El Moko o Marchitez bacteriana es una enfermedad vascular bacteriana muy devastadora causada por *Ralstoniasolanacearum*, ella impide que la planta

cumpla con su ciclo vegetativo y puede aparecer en cualquier etapa del ciclo de la planta (Martínez y García, 2004).

Los nematodos fitoparásitos influyen en el rendimiento y vida útil de la plantación y es un problema limitante a nivel mundial, pero faltan estudios sobre su efecto en la economía. Estos parásitos, al alimentarse de las raíces en su superficie o ya en su interior, van debilitando la planta, disminuyendo su capacidad de absorción hasta llevarla a su volcamiento (De Waele y David, 1998). Los géneros más significativos para el cultivo del plátano son *Radopholussimilis* (endoparásito barrenador), *Helicotylenchusspp.* (semiendoparásito), *Meloidogynespp.*(endoparásitonodulador de raíces), *Pratylenchus spp.* (Nematodo lesionador), que ocurren simultáneamente en el interior de la raíz. Entre esos géneros *R. similis* es el más dañino, pues además del daño causado por su acción, es un factor predisponente para que actúen otros microorganismos como hongos, bacterias e incluso virus (Alarcón & Castaño, 2006; Torrado y Castaño, 2009).

No hay un nivel crítico de tolerancia definido por parte del cultivo para cada especie de fitonemátodos y trabajos muestran variaciones grandes entre el número crítico de individuos, indicando que pueden existir otros factores ecológicos interviniendo en su aparición. Por eso, es importante establecer ensayos regionales para evaluar efectos de tipo de suelo, temperatura, humedad, textura del suelo para determinar umbrales del daño económico (Alarcón y Castaño Zapata, 2006). En relación a los nematodos fitoparásitos, a pesar de ser causante de daños significativos a nivel mundial, ellos raramente son reconocidos o considerados como factor limitante (Lucet al, 2005). Para su control la aplicación de químicos como organofosforados y carbonatos es la única practica que el productor admite por ser considerarla como una práctica efectiva y económicamente factible (Araya, 2004)

3.2 ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS

La agricultura ecológica, denominada también orgánica o biológica enmarca todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de fibras y alimentos, desde el punto de vista ambiental, social y económico. Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como la base para una buena producción. Son numerosas las ventajas de la producción orgánica, esta reduce la aplicación de pesticidas permitiendo que el suelo y las plantas estén libres de sustancias perjudiciales reduciendo así el riesgo para el consumo humano.

Otra ventaja relevante es que la producción ecológica es una industria intensiva en mano de obra, con buenos ingresos. Estos ingresos están en función de los rendimientos diferenciales con respecto a la agricultura convencional y los sobrepagos que se pueden obtener. La producción ecológica representa la posibilidad de una mejora substancial en la salud de los productores y consumidores, así como en la capacidad de producción a largo plazo de los suelos.

La agricultura orgánica favorece también la fertilidad del suelo, la cual es vital para la viabilidad de los ecosistemas, sean naturales o gestionados por el hombre. Los aspectos biológicos de la fertilidad del suelo son una clave importante en toda producción durable.

La fauna del suelo constituye uno de los principales determinantes de los procesos del suelo. Las prácticas de uso de suelo que eliminan las comunidades benéficas de la fauna no son viables a largo plazo. Los grupos claves, como las lombrices de tierra, las termitas, hormigas y artrópodos que se alimentan de hojarasca, son de

vital importancia para diversos procesos del suelo como el mejoramiento de la calidad física y de la fertilidad ya que su actividad influye en la dinámica de la materia orgánica y en los procesos de inmovilización y humificación.

Se permite evaluar la actividad de algunos organismos del suelo a través de las bioestructuras que estos crean, la morfología del suelo, puede separar visualmente los agregados del en función de su tamaño y origen (biogénico o físico), para observar la actividad biológica que existe en los distintos agregados, lo que indica probablemente una alta calidad en los procesos del suelo y una óptima regulación biológica en el funcionamiento del suelo (Velásquez, 2008).

Por lo tanto, es importante buscar opciones, que maximicen los procesos naturales del sistema suelo, donde merece especial atención, el componente biológico como la fauna edáfica y micro y macroorganismos con funciones específicas como los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), los cuales confieren a las plantas mayor capacidad de absorción de nutrimentos y protección contra algunos organismos indeseables del suelo. Las micorrizas son ciertas especies de hongos que forman simbiosis con la planta las micorrizas del tipo arbuscular formando asociación con la mayoría de las plantas. El micelio externo alrededor de las raíces exploran mayor volumen del suelo y aumentan la capacidad de absorción de nutrientes minerales, no solamente fosforo, sino muchos otros (Smith y Read, 1997). Además de la nutrición presentan otras ventajas para la planta, como tolerancia a sequía, a altas temperaturas y protección a ciertos patógenos como los fitonemátodos. Elsen et al. (2008) mostraron una reducción en 50% de las poblaciones de nematodos parásitos en las plantas de banano inoculadas con el hongo de micorrizas arbusculares *Glomus intraradices*. Los autores del estudio llaman a una respuesta sistémica de la defensa de las plantas contra el parásito. Pero también puede ocurrir una buena colonización por HMA en la presencia de nematodos y la planta responder con aumento en su biomasa aérea y radicular, aumentando el porcentaje de P, K, Na,

Cu, Zn foliar en relación al testigo (Gañan et al, en preparación). En este caso, plantas con buena colonización de HMA pueden a veces soportar altas poblaciones de nematodos sin que su desarrollo este afectado.

En general los trabajos relacionados con la interacción entre HMA y nematodos fitoparásitos en el cultivo del plátano y banano son realizados en condiciones de laboratorio. En condiciones naturales de campo, hay muchas interacciones bióticas y abióticas que están involucradas. Por ejemplo, cuando se hace la inoculación con cepas de HMA, estas deben ser muy competitivas para poder ultrapasar en número y efectividad a las cepas nativas. Un manejo que estimule la colonización natural del HMA en el plátano puede ser una buena alternativa para controlar el efecto negativo de los nematodos fitoparásitos.

Las lombrices, son muy conocidas por sus funciones como ingenieros del suelo, pero las interacciones con otros miembros del suelo y cómo eso afecta el crecimiento y la salud de la planta aun no son bien conocidos.

Los nematodos fitoparásitos pueden tener una fase de vida libre durante la cual las interacciones con otros organismos pueden limitar la densidad de su población, como por ejemplo la acción de las lombrices del suelo que influencia la estructura del suelo y cambia la disponibilidad de los recursos (Lavelle et al, 1997). Las estructuras biogenicas producidas por los ingenieros del ecosistema (lombrices, termitas y hormigas) pueden alterar las propiedades físicas y químicas del suelo e influir en la comunidad de nematodos del suelo por afectar su hábitat o por influenciar el suplemento de alimento (Neher, 1999).

Las lombrices de tierra pueden tener efectos directos sobre los nematodos provocando una disminución significativa en su abundancia (Senapatiet al, 1999; Boyer de 1998; Clermont-Dauphin et al. (2004). Pero los efectos indirectos se ha mostrado también por Blouin et al. (2005). Se encontró en un experimento que el

crecimiento de las plantas de arroz atacadas por la plaga-nematodo *Heterodera saccharii* no se ven afectadas cuando las lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) están presentes en la rizósfera. La planta se vuelve tolerante como resultado de una respuesta fisiológica que resulta en un cambio en la expresión de genes de estrés. Lafontet *al*, (2006) muestran un efecto similar en el cultivo de banano, cuyo crecimiento no se ve afectado por el nematodo *R. similis* cuando las lombrices de tierra *P. corethrurus* están presentes.

Humus de lombriz y extractos húmicos: Se conoce que las sustancias húmicas producidas durante la descomposición estimulan el crecimiento de plantas, probablemente a través de efectos hormonales (Arancón *et al*, 2006). Sus efectos protectores contra las plagas y enfermedades de raíz se mencionaron en numerosas ocasiones (Abawi y Widmer 2000; Hayes y Clapp 2001; Clapperton *et al*, 2001; Chaouiet *al*, 2002; Yardim *et al*. 2006). El efecto del lombricompost puede también influir en el aumento de la resistencia de las plantas a través de la mejoría en la nutrición y es una práctica de fertilización con mínimo impacto al ecosistema (Acevedo y Pire, 2004).

Manipular la calidad del suelo por medio de productos orgánicos para lograr el control de enfermedades ha sido visto con cierto escepticismo, probablemente debido a limitaciones en entender los mecanismos involucrados. Factores como disponibilidad de nutrientes y eliminación de sustancias anti fúngicas o antibióticos con variadas propiedades inhibitorias puede afectar la viabilidad de los patógenos. Agentes de biocontrol pueden actuar de una forma más lenta que los productos químicos, pero sus efectos pueden ser acumulativos y durar más (Bailey y Lazarovits, 2003).

3.3 Desarrollo de nuevas estrategias de manejo del suelo y la nutrición de los cultivos

Los suelos fuertemente degradados y/o sometidos a cultivo y labor intensa, presentan una gran deficiencia en biomasa y diversidad de las poblaciones de macrofauna.

Una opción amigable tanto para la salud pública como ambiental, es encontrar un manejo productivo al reutilizar los residuos del propio cultivo, como los lixiviados de la descomposición de residuos de cosecha de plátano (LDP), en Colombia hay más de 100 plantas de lixiviado distribuidas en Cauca, Valle, zona cafetera, Meta y Urabá (Álvarez, 2009), se ha encontrado que la aplicación de estos LDP es efectivo en el control de fitopatógenos como el Moko con aplicación de LDP 15 días antes de inoculación en plantas en invernadero se redujo en un 41% la enfermedad causada por *Ralstoniasolanacearum*. Los LDP y la mezcla de LDP con roca fosfórica y *Tagetespatula*, eliminaron la bacteria hasta en 100%. Estos LDP son una alternativa efectiva de control de Moko en invernadero con potencial de manejo de la enfermedad en campo (Llano et al, 2007), la aplicación de LDP también se pueden usar para retornar al suelo los nutrientes extraídos con su cosecha (Arenas et al, 2005, Meza y Triviño, 2007, Álvarez et al, 2009), con un valor agregado de servir como un nematicida o como activador de procesos que favorezcan el establecimiento de antagonistas a los problemas sanitarios de mayor impacto en el cultivo como son los nematodos fitoparásitos. Por otra parte, la disminución de químicos por la utilización de los LPD traen beneficio biológico a nivel trófico porque activa las interacciones de competencia, depredación y parasitismo entre los organismos del suelo y beneficia al cultivo al aumentar la disponibilidad de nutrientes (Muñoz et al, 2005). Ambos sistemas de manejo pueden estimular la actividad de la fauna del suelo como los nematodos de vida libre que por las interrelaciones tróficas, estimulan la liberación de nutrientes

(Coleman et al., 1984) y también puede controlar el equilibrio entre los diferentes grupos tróficos dentro de su comunidad.

Según FAO (2003) el problema sanitario del plátano y del banano es una amenaza a la seguridad alimentaria y es necesario hacer investigación básica y aplicada y formación de los campesinos para enfrentar el problema.

Es necesario, además, desarrollar estrategias de prevención y manejo de enfermedades para garantizar la sostenibilidad del cultivo dentro de un esquema de agricultura limpia con participación de los agricultores.

Este trabajo ha propuesto alternativas biológicas al uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano, en la zona cafetera de Colombia (departamento del Quindío), zona donde se concentra la mayor producción del plátano, de gran importancia en el mercado nacional e internacional.

Técnica de Fertilización Bio-Orgánica (FBO)

Los suelos fuertemente degradados y/o sometidos a cultivo y labor intensa, presentan una gran deficiencia en biomasa y diversidad de las poblaciones de macrofauna. La recuperación de estos ecosistemas es difícil y costosa, sin embargo existe una técnica de Fertilización Bio-Orgánica (FBO), que hace parte de la patente con número de publicación internacional: WO 98/03447, la cual ha sido probada exitosamente en la India y la China en cultivos de té.

En la India, estos experimentos demostraron que la mezcla de material vegetal de té (proveniente de la poda), la materia orgánica y las lombrices de tierra fueron muy eficaces para aumentar la producción del té (más que el uso de fertilizantes inorgánicos) debido a sus efectos favorables sobre las características físicas y

biológicas del suelo. El FBO aumentó la producción de té de 79.5 a 276%, representando un aumento del beneficio hasta de US\$5500 por hectárea/año comparado a las técnicas convencionales.

La originalidad de este método, que permite reducir un 50% el uso de fertilizantes químicos, utiliza dos tipos de material orgánico, uno procedente de la poda de un cultivo perenne, en nuestro caso utilizamos las especies forrajeras arbóreas presentes en la zona *Gliricidiasepium*, el estiércol proveniente de la producción ganadera de la región y la inoculación de lombrices de tierra nativas que son de gran fecundidad, robustez y crecimiento rápido. La combinación de estos recursos permitió, evaluar y mejorar la agregación del suelo, la infiltración de agua, el almacenamiento de carbono, si no también aumentar la biomasa y diversidad de las poblaciones de macrofauna y finalmente la calidad de las plantas (Senapati et al., 1999).

El método de Fertilización Bio-Orgánica (FBO) crea en el suelo espacios de alta fertilidad y actividad de lombrices. Las lombrices al estimular la descomposición de material orgánico liberan nutrientes disponibles para la planta, se sabe además que ellas estimulan en su drilosfera (dominio funcional) la actividad de bacterias que producen hormonas de crecimiento para las plantas.

La hipótesis evaluada en este trabajo fue: “Las lombrices y los elementos de biocontrol como las micorrizas y lixiviados controlan los nematodos fitoparásitos que afectan el cultivo de plátano y promueven un efecto positivo en el desarrollo del cultivo”.

4 DISEÑO METODOLÓGICO

4.2 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en la finca La Cumbre el Departamento del Quindío, Armenia, – Municipio de La Tebaida, Finca La Cumbre con coordenadas $4^{\circ}25'51,92''$ N y $75^{\circ}45'51,33''$ O (Figura 1), y con una elevación de 1172 m.s.n.m. Altura 1250 msnm, Temperatura promedio de 22° C. La precipitación promedio anual es de 3.101 mm, y condiciones agroecológicas correspondientes a un Bosque húmedo premontano (bh-PM) el suelo es derivado de cenizas volcánicas.



Figura 1. Ubicación geográfica de la finca La Cumbre. Tomada de <http://earth.google.com>

El diseño experimental establecido fue un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, en la cual la parcela principal es el tratamiento con y sin aplicación de lixiviado, y las subparcelas tuvieron los siguientes tratamientos:

4.3 Tratamientos definidos:

- ❖ Micorrizas_ Lixiviado
- ❖ Micorrizas_ Lombricompost_ Lixiviado
- ❖ Lombricompost_ Lixiviado
- ❖ F. B .O
- ❖ Micorrizas
- ❖ Micorrizas_ Lombricompost
- ❖ Lombricompost
- ❖ Testigo (Manejo Productor- Manejo convencional)

Cada tratamiento consto de seis plantas por parcela, y los tratamientos fueron replicados por triplicado, se sembraron plantas barrera entre cada tratamiento y entre cada repetición, en un área total aproximada 2000 m² (Figura 2).

El experimento se llevó a cabo durante primer el primer ciclo del cultivo. El manejo del cultivo se realizó siguiendo las prácticas de manejo de producción ecológica, permitidas en la Resolución 074 de abril de 2002, emanada del MADR de Colombia.

El lixiviado fue aplicado 15 días antes de las siembra en el sitio donde fue sembrada cada planta la dosis aplicada fue de tres litros por hoyo; para los tratamientos con Lombricompost se aplicaron en el momento de la siembra, y en diferentes etapas del cultivo en las época de fertilización (2, 6 y 12 meses así: 1, 2 y 1 kilos de Lombricompost respectivamente). Para el tratamiento con micorriza se utilizó un inoculo comercial (Empresa Abonamos) la cantidad inoculada por planta fue de 100 gr de inoculo, la cual equivale a 2000 esporas/100 g de suelo, el inoculo fue aplicado en la raíz de la planta al momento de la siembra y en el hoyo de siembra, garantizando así una buena colonización de la micorriza inoculada.

La Cumbre

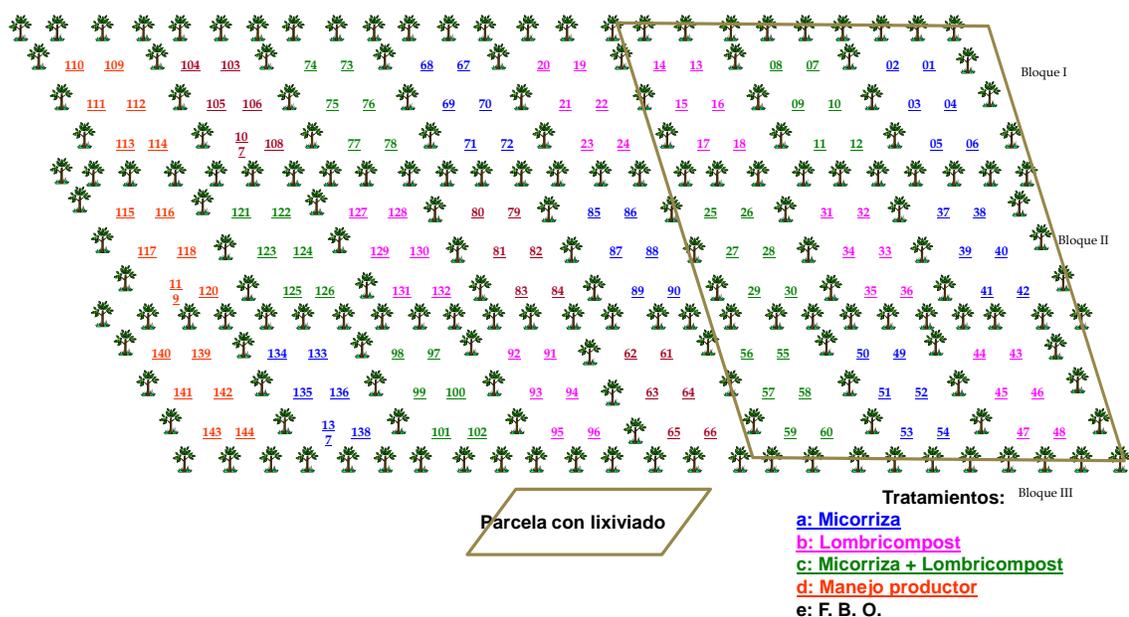


Figura 2. Diseño experimental, Distribución de los tratamientos en campo.

Aplicación de la técnica FBO asociada a plantas de plátano

En cada parcela de 45 m² metros cuadrados (5 x 9), se sembraron plantas de plátano var. *Dominico harto*, provenientes de un vivero separadas entre plantas a 2.5 m y entre surcos a 3 m, cada tratamiento fue separado por plantas barreras sembradas a la misma distancia.

Sobre cada planta en forma de media luna se construyeron trincheras de 45cm de ancho, 150cm de largo y 30cm de profundidad. Al interior de cada trinchera se incorporó material vegetal de *Gliricidiasepium* (como materia orgánica de lenta descomposición), estiércol proveniente de la producción ganadera de la región

(materia orgánica de rápida descomposición) y finalmente se inocularan lombrices de tierra nativas de gran fecundidad, robustez y crecimiento rápido (*PontoscolexCoreoethrurus*). La combinación de estos recursos permitió, no solamente mejorar la agregación del suelo, la infiltración de agua, el almacenamiento de carbono, si no también aumentar la biomasa y diversidad de las poblaciones de macrofauna y finalmente la calidad de las plantas (Figura 3).

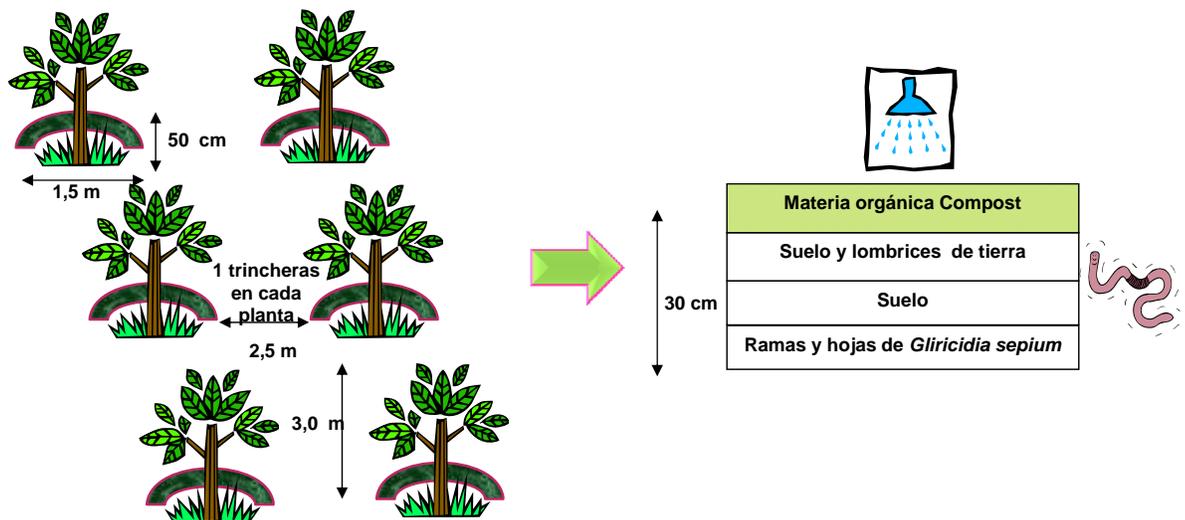


Figura 3. Esquema del sistema FBO en cada parcela.

4.4 Evaluaciones

4.4.1 Análisis de suelo

Antes de la siembra se realizó un análisis químico completo del suelo (elementos mayores, menores, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), materia orgánica), se evaluaron también, variables físicas (textura, estructura, densidad real y aparente, retención de humedad) y variables biológicas como: población de lombrices, macrofauna, comunidad de nematodos y esporas de micorrizas.

Posteriormente se realizaron los análisis químicos en el laboratorio de análisis químico del suelo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Densidad y diversidad de lombrices de tierra

Los muestreos se realizaron de acuerdo a la metodología propuesta por el Instituto de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales (Método TSBF) (Anderson & Ingram 1993), descrito por Ruiz et al. 2008. Para el muestreo inicial se tomaron 21 puntos al azar dentro de toda el área del ensayo utilizando monolitos de 25cm de largo por 25 cm de ancho y 10 cm de profundidad, hasta 20 cm de profundidad (Figura 4). La separación de las lombrices se realizó inmediatamente en el campo y las muestras fueron conservadas en formol al 4 % hasta su identificación.

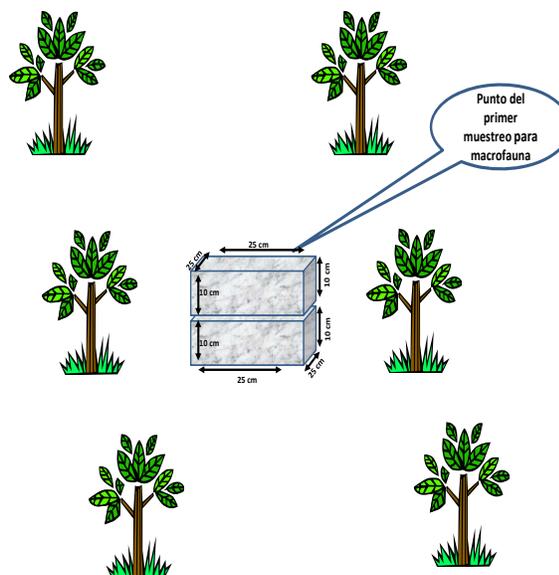


Figura 4. Representación de la toma de muestras en cada parcela del ensayo.

Densidad y diversidad de macrofauna.

Se tomaron ocho monolitos (bloques de 25x25 cm de lado) a dos profundidades 10 y 20cm, utilizando el método de TSBF (Anderson & Ingram 1993). Posteriormente se separó la Macrofauna del suelo conservando los invertebrados en alcohol al 70% para su posterior identificación.

Morfología del suelo

Se utilizó el método modificado de Ponge (Velásquez et al., 2006) que consistió en tomar un bloque de suelo 10x10x10cm, separando todos los constituyentes de este bloque: agregados según su origen (físico, biológico de raíz), raíces, tallos, hojas, piedras, invertebrados, etc.

4.4.2 Evaluaciones realizadas en las plantas.

Se midieron las variables número de hojas, altura de plantas y diámetro las cuales están asociadas al crecimiento.

Los datos para las variables fueron tomados en el momento de las siembra a los 40, 69, y 105 días después de la está (lo que se ha denominado edad de las plantas).

El número de hojas contadas se determinó por Las hojas que se encontraban fotosintéticamente activas, no se incluía la hoja tabaco cerrada. La altura de la planta se tomó desde las base de diferenciación de pseudotallo hasta el inicio de

la última hoja emergente y el diámetro de la planta fue tomado con un pie de rey en mm en el mismo punto de la base del seudotallo de donde se inició la altura.

La evaluación más importante se realizó 10 meses después de la siembra justo ocho días después de florecida la planta adulta (madre). También se realizó un muestreo del suelo y de raíces delante de la planta, con el fin de evaluar nuevamente las variables biológicas iniciales.

Se evaluó el % de colonización por micorrizas HMA en las raíces con micorrizas y se determinó el número de esporas en el suelo cercano a la raíz de cada planta.

Metodología para la evaluar colonización y conteo de esporas de Hongos Micorrícicos arbusculares (HMA)

Conteo de Esporas

Para evaluar la población inicial de esporas de micorriza se tomaron muestras de suelo y se procesaron de la siguiente manera: se lavaron 20 g, de suelo sobre 2 juegos de tamices 710 y 45 μm ; utilizando la técnica de separación de esporas por gradiente, centrifugando a 3000 rpm por 5 minutos con una solución al 80% de sacarosa. Posteriormente se realizó el conteo estimando la cantidad de esporas por gramo de suelo, con la ayuda del estereoscopio con 20X de aumento (Figura 5).

La colonización micorrícica se evaluó mediante la tinción de raíces usando el protocolo descrito por Sánchez *et al*, (Anexo 1) y se calculó según la escala gráfica de Trouvelot *et al.*, (1986). Los datos se registraran en un formato

establecido y luego fueron ingresados en el programa "Mycocalc" (Clapp y Zhao, 2001) para calcular la Intensidad de la colonización micorrízica (%M).



Figura 5. Procedimiento para la extracción de esporas de Hongos formadores de Micorrizas Arbuscular (HMA).

Metodología para la estimación del micelio externo de HMA.

Para extraer el micelio externo se utilizó la técnica del filtro de membrana (Miller, 1990, modificado por torres, 2000 y Reyes, 2001).

Preparación de la muestra:

De acuerdo con Reyes (2001), el tipo de muestra más aconsejable para hacer la separación de micelio externo, es aquella que ha estado refrigerada, se extrae más cantidad que en el suelo seco al aire y almacenada en condiciones ambientales.

Las muestras fueron extraídas del refrigerador y se pasaron cada una a través de un tamiz de 2mm, se pesaron cinco réplicas de 5 g de la fracción <2.0 mm se

depositaron en beakers de 600 ml. Luego se dispersó el suelo adicionando 30 ml de hexametáfosfato de sodio al 5% y 250 ml de agua deionizada. Los beakers se cubrieron posteriormente con papel aluminio para evitar la evaporación, la solución se dejó reposar por 12 horas aproximadamente. Transcurrido ese tiempo, la solución se removió con un agitador de vidrio, el cual se lavó con 10 ml de agua desionizada entre muestras, los vasos se llevaron con la solución al ultrasonido con intensidad del 10% durante 5 segundos. Después de la dispersión sónica, el beaker con la solución del suelo se ubicó sobre un plato agitador magnético y en plena agitación de la solución se removieron seis alícuotas, usando pipetas con precisión de un (1) ml, se transfirieron a otro beaker adicionando 30 ml de hexametáfosfato de sodio al 5% y 250 ml de agua deionizada para lograr que las hifas queden en suspensión. Luego, de cada muestra se tomaron cuatro alícuotas de 5 ml que se depositaron sobre un tamiz de 20 μm . El material remanente en el tamiz, se lavó con 250 ml de agua deionizada y se transfirió a filtros de nitrocelulosa de 1.2 μm . En estos filtros se colectaron las hifas y el agua retenida en el embudo, se eliminó aplicando vacío. Después, al tener concentradas hifas, estas se sometieron a un proceso de tinción adicionando 2.0 ml de azul de trypano dentro del embudo que contiene al filtro de nitrocelulosa, transcurridos 10 minutos, el azul de trypano se eliminó aplicando lavado y el exceso se lavó con agua desionizada. Posteriormente los filtros se retiraron del embudo, y se montaron sobre porta objetos, cuando se secaron se colocó un cubre objetos y se fijó con cinta adhesiva. Finalmente se leyeron en un microscopio óptico.

Cuantificación del micelio externo:

La longitud de micelio externo se estimó por el método de campo de intersección "Grid line" y los cálculos se hicieron por el método de Tennat (1975), considerando las dimensiones específicas para el microscopio y el equipo de filtro utilizado. Una

vez preparados los filtros, se observan en microscopio óptico con aumento total de 200X. Por el método del campo de intersección, se calcula la red de hifas para cinco líneas horizontales y cinco verticales, alternando líneas en la cuadrícula de 10 x 10 del objetivo. Lo anterior se realiza para 70 campos visuales mediante movimientos en zig-zag a través de todo el filtro (Torres, 2000; Reyes, 2001), la humedad del suelo se ajusta gravimétricamente, lo cual permite expresar la longitud del micelio en m g^{-1} ss. Utilizando un micrómetro se calculan las dimensiones de la cuadrícula ubicada en el ocular del microscopio óptico de la siguiente manera:

La longitud del eje X ó Y de cada cuadrícula = $0.06 \text{ mm} \times 10 = 0.6 \text{ mm}$

Área cubierta por cuadrícula unitaria = 0.36 mm^2

Área de filtrado (FA) del membrana (tipo RA $1.2 \mu\text{m}$)

FA= 210 mm (calculo con pie de rey)

Área cubierta del filtro (CA) para 70 campos visuales

CA= $(5 \times 0.06)^2 \times 70 \text{ campos mm}^2$.

La longitud de hifas sobre el filtro (H) cubierta para 70 campos visuales es: $H = \frac{11}{14} \times N \times \text{Cuadrícula unitaria. (m m)}$

Donde N= Número total de interceptos sobre la línea de lectura

Calculo total de hifas sobre el filtro (HL) = $(H/CA) \times FA \text{ (mm)}$

Calculo de longitud total de hifas para muestras estudiadas = (TL)

El factor de dilución es de 0.0066 (0.0074) que se determina con base en determinaciones efectuadas.

TL= $(HL/ \text{factor de dilución})/100 \text{ (m de micelio g}^{-1} \text{ ss)}$

Se evaluaron, además, la incidencia de nematodos parásitos en la raíz y se realizó un análisis foliar completo.

Densidad y diversidad de nematodos

Para determinar la densidad y diversidad de nematodos del suelo se tomaron muestras en cada parcela por tratamiento, utilizando un barreno de 3 cm de diámetro. Se tomaron muestras compuestas de 10 puntos, en la profundidad de 0-20 cm. La extracción de nematodos se realizó por el método de centrifugado y flotación en azúcar (Varón et al, 1985) (Figura 6).

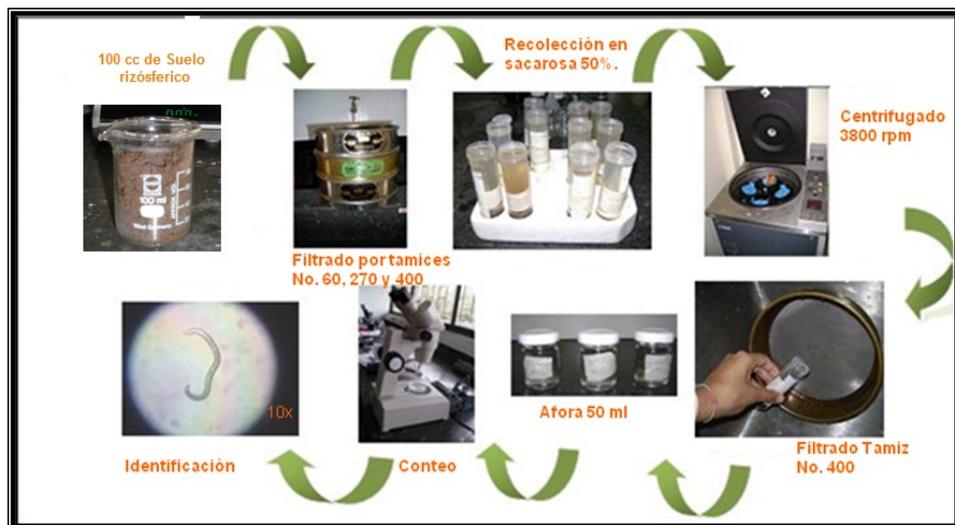


Figura 6. Extracción de nematodos del suelo.

Metodología para extracción de nematodos en suelo.

Se tomaron 100 cm³ de suelo y se mezclan con 2 litros de agua en un balde. Se agita y se deja decantar por 30 segundos, posteriormente la suspensión se filtra

por una serie de tamices (250, 53 y 38 μm de abertura de poro). Los residuos obtenidos en los dos últimos tamices se transfieren a un tubo, las diferentes muestras son centrifugadas durante 3 min a 3800 rpm. El sobrenadante se descarta, los residuos son re-suspendidos en una solución de sacarosa al 50% y centrifugados nuevamente bajo las mismas condiciones. Este último sobrenadante obtenido se pasa por el tamiz 38 μm , en el cual son retenidos los nematodos, luego se colecta en un beaker, aforando la muestra a un volumen de 50 ml. Se realiza conteo e identificación en estereoscopio, tomando una alícuota de 1 ml, la cual es devuelta a la muestra total (50 ml), realizando este mismo procedimiento 3 veces.

La identificación se realizó a nivel de género, clasificando los nematodos fitoparásitos y los nematodos saprofitos.

4.5 Análisis de la información

Los datos referentes a análisis de suelo, densidad y diversidad de macrofauna, poblaciones de nematodos y micorrizas, morfología del suelo se analizaron a través de Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el Sewart AD4. La utilización de éste análisis permitió determinar algunos factores (componentes principales) que retuvieron la mayor variabilidad contenida en los datos

Para las variables asociadas al crecimiento se realizó un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas donde se consideran los tratamientos como la parcela principal y el tiempo como subparcela (Gómez y Gómez, 1983). Para describir el comportamiento de los tratamientos a través del tiempo se utilizaron modelos de regresión, se usó el método de los mínimos cuadrados para estimar los parámetros de regresión y se

calculó el coeficiente de determinación R^2 que tiene las siguientes interpretaciones:

- % de variación explica el modelo.
- % de variación de las variables asociadas al crecimiento explicada por los cambios en los días después de siembra (edad de la planta)
- Explica el ajuste del modelo " Valores mayores al 90 % indican que los modelos pueden ser usados para hacer predicciones".

5 RESULTADOS

5.2 Macrofauna

En la Tabla 1 se presenta la densidad (# individuos / m²) para cada uno de los 16 grandes grupos de macrofauna, incluidas las lombrices clasificadas por categoría ecológica (Endógenas y Epigeas) según Lavelle et al, (2005), evaluadas en dos tiempos: inicial antes de la siembra y una segunda evaluación se hizo 10 meses después de la siembra cuando las plantas iniciaron su floración,

Tabla 1 Promedios Densidad de macrofauna para los tiempos.

Tiempo*	Lixiviado**	Tratamiento***	n	Endogee	Epigee	Arachnida	Blattoptera	Coleoptera	Col-larv	Demaptera	Diptera_larva	Hemiptera	Homoptera	Isopodo	Lep-larva	Mollusca	Chilopoda	Diplopoda	Ortoptera	Thysanura	Formicidae
0	SL	SITIO 1	3	5	75	0	0	48	0	0	0	21	0	0	0	0	21	53	16	16	7392
0	SL	SITIO 2	3	5	53	0	0	85	0	0	0	0	16	0	0	0	96	224	0	11	4453
0	SL	SITIO 3	3	0	144	0	21	91	0	0	0	0	0	0	0	16	0	5	0	85	6112
0	SL	SITIO 4	3	0	27	0	0	69	0	0	0	0	11	0	0	0	155	75	0	27	5611
0	SL	SITIO 5	3	0	283	0	11	53	0	5	0	0	5	0	0	5	53	155	0	0	1285
0	SL	SITIO 6	3	16	48	0	16	53	0	0	0	5	5	0	5	0		80	0	43	5888
0	SL	SITIO 7	3	0	32	5	0	43	0	0	0	5	16	0	0	5	11	288	0	37	1488
10	SL	F_B_O_D	3	1669	53	37	85	69	32	27	0	53	0	11	21	5	139	32	5	53	480
10	SL	F_B_O_F	3	91	0	16	5	11	27	5	0	5	0	11	5	0	0	0	0	16	1301
10	L	Lombri	3	27	0	5	5	75	53	0	37	16	27	0	16	0	0	48	21	0	299
10	SL	Lombri	3	133	5	5	64	69	64	0	0	0	16	0	16	0	5	27	0	0	2501
10	L	Micor_Lomb	3	11	0	5	5	16	32	0	5	11	107	11	5	5	16	59	53	0	245
10	SL	Micor_Lomb	3	32	0	0	27	96	43	0	16	21	0	0	21	0	21	16	5	0	283
10	L	Micoriz	3	37	11	0	0	64	43	0	5	11	11	0	0	0	5	32	0	0	2576
10	SL	Micoriz	3	11	0	0	0	43	43	0	37	0	5	0	11	0	0	0	0	0	837
10	SL	Testigo	3	0	0	0	23	18	25	0	2	4	32	0	11	0	0	12	2	0	1269

* Tiempos de muestreo 0= Tiempo cero , etapa inicial del muestreo; 10= Diez meses despues del muestreo.

** Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

*** Descripción de los tratamientos:

n= numero de sitios para el promedio

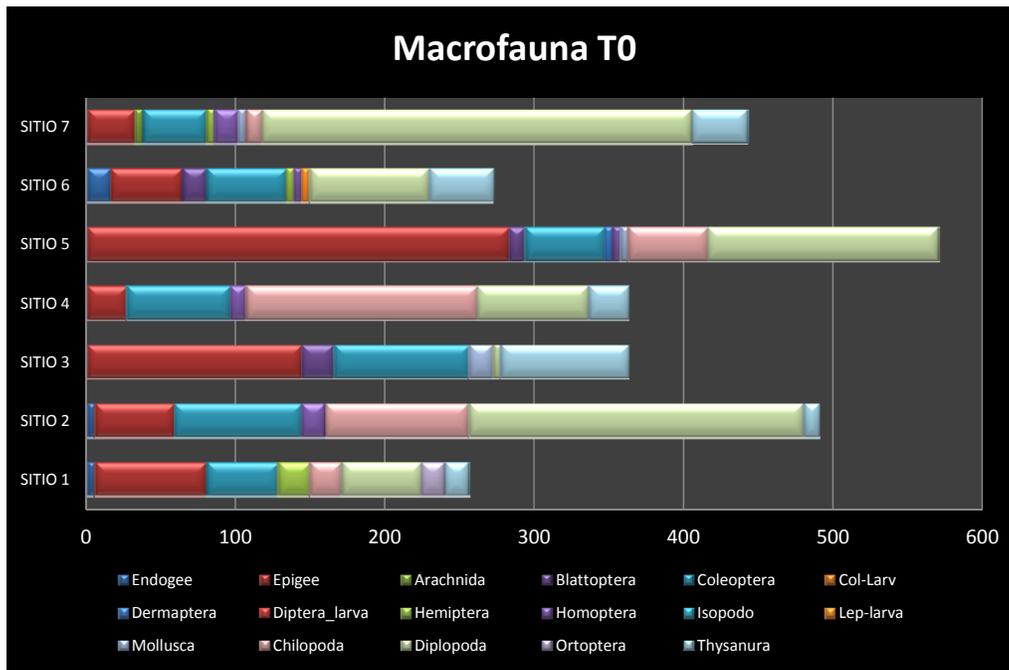


Figura 7. Densidad de Macrofauna Evaluación Inicial

Las densidades que se observó al inicio en diferentes puntos donde fue ubicado el ensayo no superó los 600 individuos (# individuos / m²) (Figura 7) a excepción de las hormigas (Figura 9) donde superan los 7000 individuos por m² y que representaron el 90 % de la población total. Los grupos predominantes fueron los Diplopodos, Chilopodos y lombrices Epigeas, igualmente los coleópteros tuvieron un papel importante en esta primera evaluación. Para los 10 meses se obtuvo un crecimiento en las poblaciones de macrofauna que alcanzaron los 2400 individuos/m² (Figura 8) con el tratamiento FBO, mientras que para los otros tratamientos Lombricompost (Lombri), Micorriza_Lombricompost con y sin lixiviado (Mico_Lom_Lix; Mico_Lom), se obtuvieron en forma decreciente densidades de 450 a 300 (individuos/m²), los tratamientos con micorriza estuvieron por debajo de los 220 individuos/m², y el testigo tan solo alcanzó los 120 individuos/m². En esta segunda evaluación los grupos predominantes fueron

las lombrices, que representaron el 62 % del número de individuos total, las hormigas el 17 %, quilópodos el 5 % y coleópteros y blatoptera el 3%.

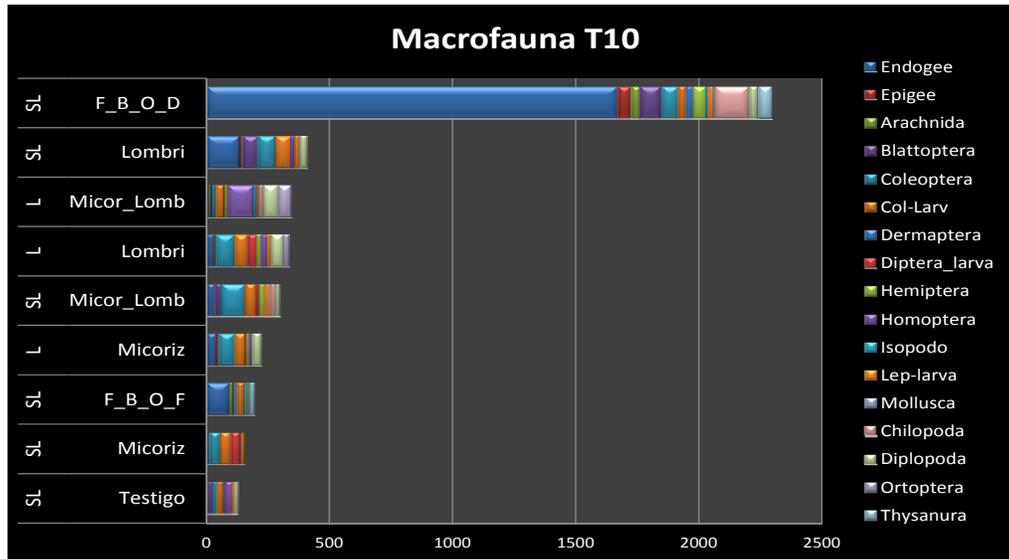


Figura 8. Macrofauna 10 meses. Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL). Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombri), Micorriza (Micor), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_F = Fuera de la Trinchera

Las hormigas dominaron alcanzando hasta 7000 individuos por m² (Figura 9), la densidad de las hormigas en las observaciones iniciales fueron superiores a las densidades de la segunda evaluación representando en las dos evaluaciones el 90 % y el 17 % de las poblaciones totales respectivamente. Los tratamientos donde se observaron el menor número de hormigas a los 10 meses fueron: Micorriza_Lombricompost, Lombricompost con lixiviado y el FBO, el tratamiento que más favoreció las hormigas a los 10 meses fue Micorriza y Lombricompost con Lixiviado.



Figura 9. Densidad de hormigas en los dos tiempos.

5.3 Análisis de la Macrofauna del suelo en dos tiempos de evaluación.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales para evaluar la densidad y diversidad de Macrofauna a través del tiempo. Se encontró una separación significativa ($p < 0.01$) entre los dos tiempos de evaluación: tiempo inicial y diez meses después de la aplicación de los tratamientos.

El primer factor en el círculo de correlaciones separa en función de la alta densidad de poblaciones de macrofauna, destacándose las poblaciones de invertebrados descomponedores de hojarasca y las lombrices endogeas.

El segundo factor explica el 22.8% de la variabilidad de los datos, destacándose la alta densidad de lombrices epigeas, los thysanura y los moluscos (Figura 10).

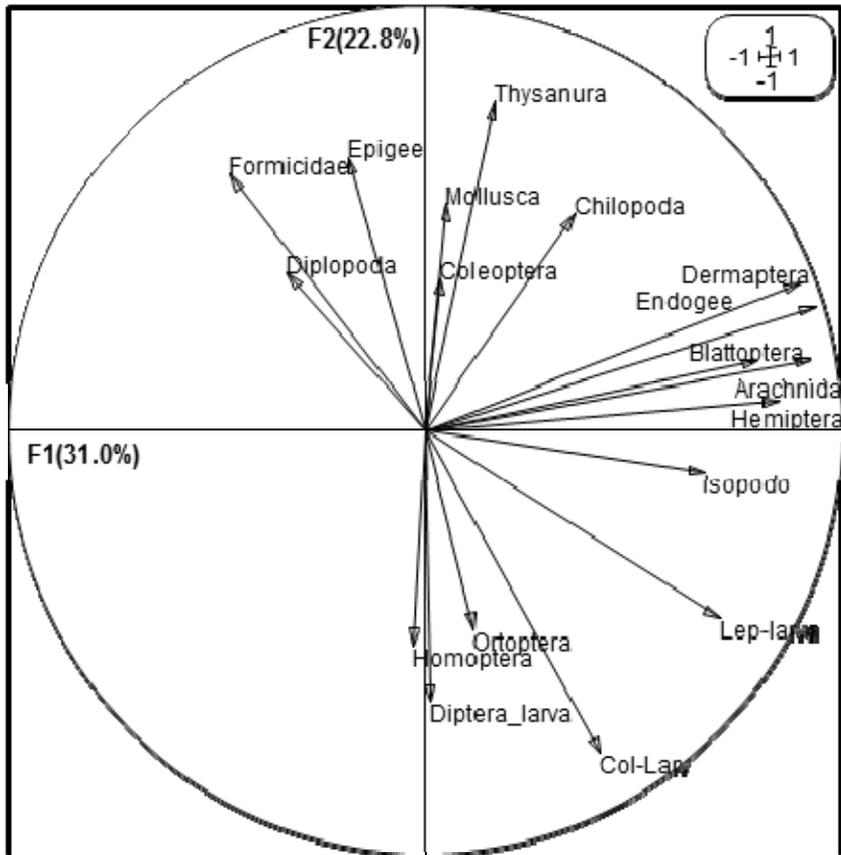


Figura10. .Circulo de correlaciones de poblaciones de Macrofauna en dos tiempos de evaluación.

La figura 11 muestra una alta densidad de macrofauna diez meses después de aplicar los tratamientos (T10), destacándose el tratamiento FBO-D (al interior de la trinchera) como un sistema que promueve la densidad y actividad de invertebrados del suelo.

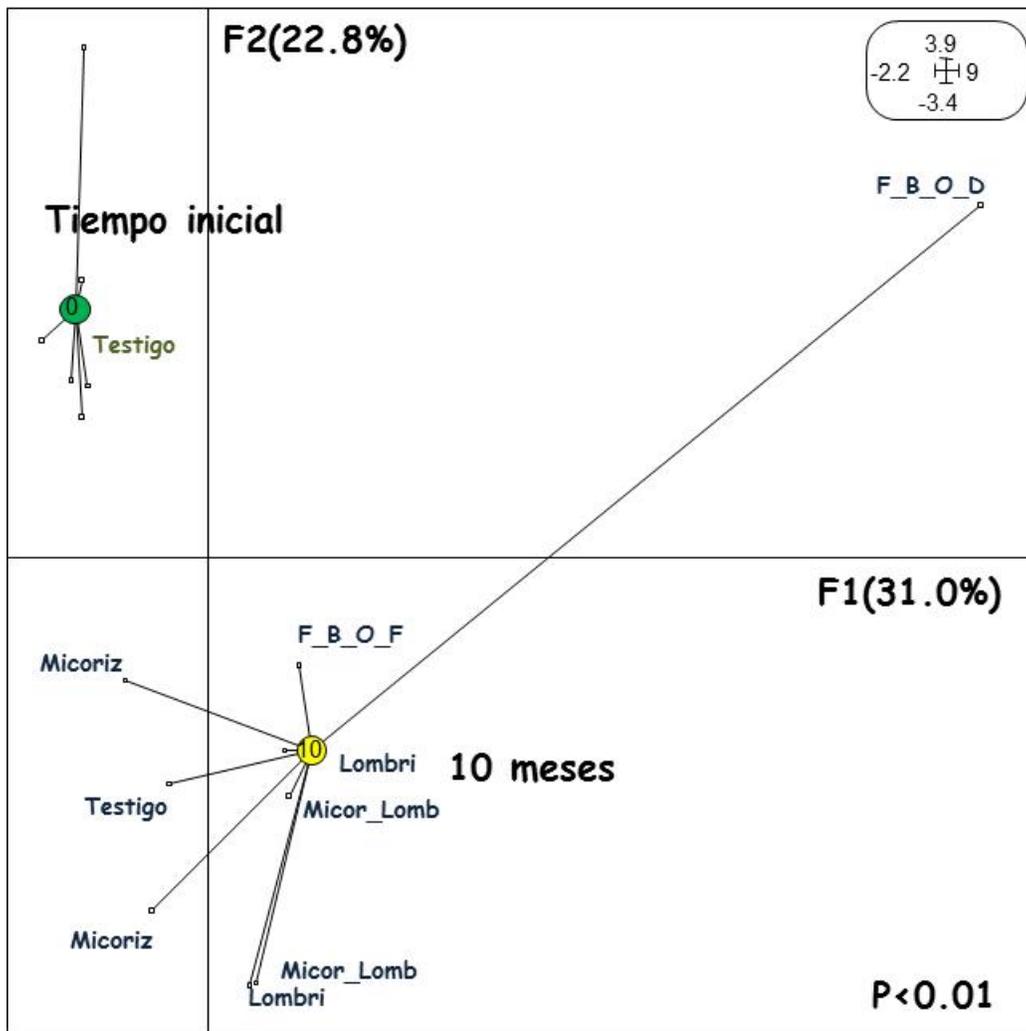


Figura11. Macrofauna dos tiempos. ACP

5.4 Análisis de la Macrofauna del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.

Después de mostrar que existe una diferencia significativa ($p < 0.01$) entre los dos tiempos de evaluación se realizó un Análisis de Componentes Principales con los datos de Macrofauna evaluada diez meses después de la aplicación de los tratamientos. Este análisis se realizó con el fin de determinar que tratamientos favorecen la abundancia y diversidad de Macrofauna. El factor 1 del ACP explica el 52.8% de la varianza total de los datos y separa los tratamientos en función de

la abundancia y diversidad de Macrofauna (Fig. 12). Se destaca el tratamiento FBO con mayor abundancia de lombrices endogeas y epigeas y de grupos taxonómicos de invertebrados asociados a la presencia de materia orgánica como dermáptera, Blattodea, Hemíptera, Chilopoda y Thysanura.

El factor 2 (21.1%) separa los tratamientos micorrizas-lombricompost con y sin aplicación de Lixiviados. Desatacándose una alta proporción de Homópteros, Diplopodos y Moluscos en el tratamiento con lixiviados y una alta población de coleópteros en el tratamiento sin lixiviados.

El testigo se caracterizó por la poca abundancia y diversidad de Macrofauna.

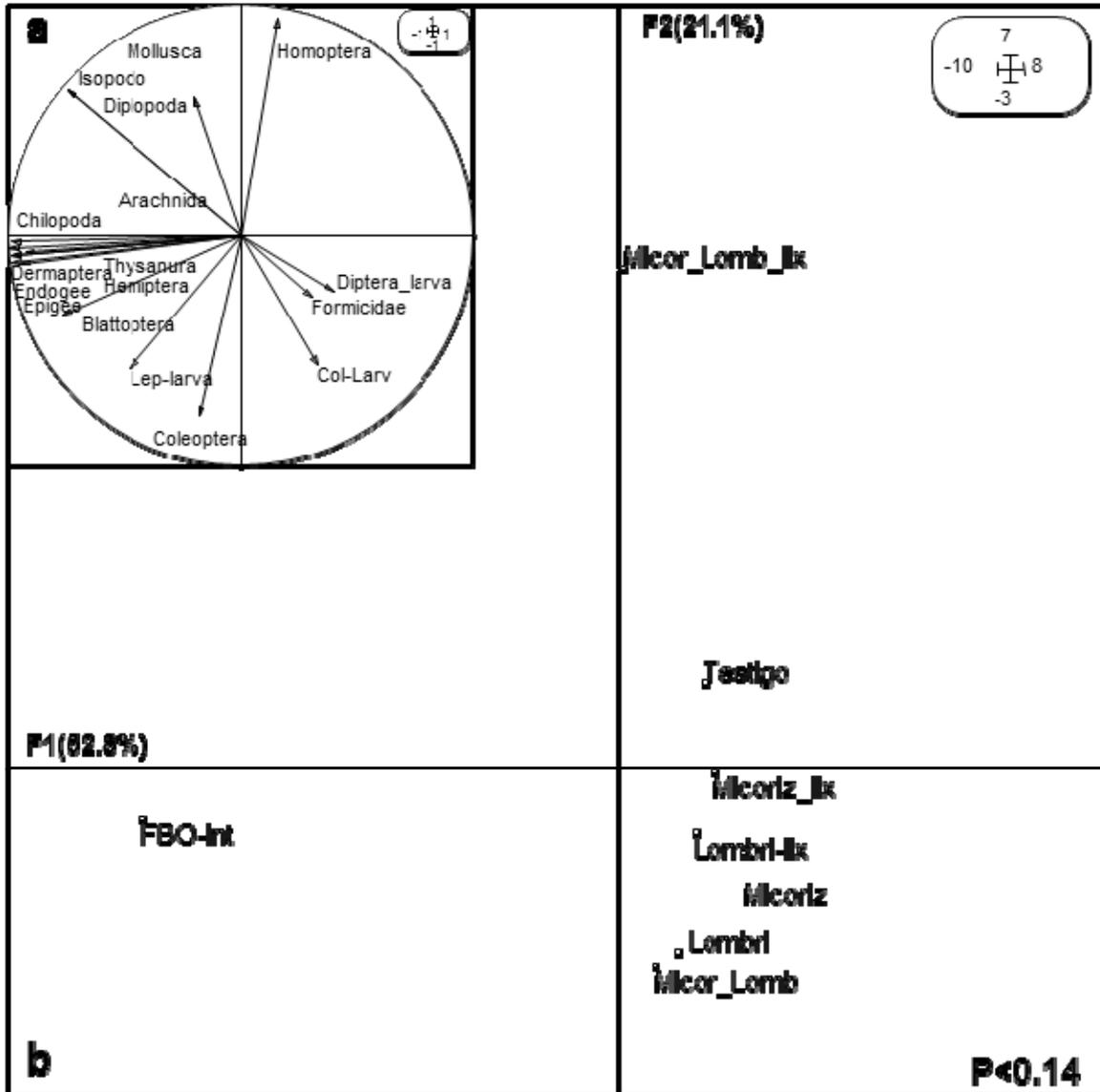


Figura12. Macrofauna del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.

5.5 Análisis físico y de fertilidad química del suelo.

Se realizó un ACP con los datos de fertilidad química y variables físicas del suelo con el fin de determinar el efecto de los diferentes tratamientos en el suelo. Las variables de fertilidad químicas evaluadas fueron: elementos mayores, menores, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y materia orgánica. Las variables físicas fueron: textura, estructura, densidad real, densidad aparente y retención de humedad del suelo. Los dos primeros factores del ACP explican el 63.5% de la variabilidad total de los datos. El factor 1 separa el tratamiento Micorriza-Lombricompost-lixiviado con mayor proporción de cationes, del testigo con mayor contenido de aluminio y menor fertilidad química (Figura 13).

Los tratamientos FBO y Micorriza-Lixiviado presentaron altos contenidos de humedad y materia orgánica en el suelo, así como una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), estos tratamientos también, se caracterizaron por tener una baja densidad aparente (Da).

El factor 1 separa claramente los tratamientos con contenido de lixiviados como los tratamientos de mayor fertilidad química, mayor humedad y menor compactación (D.a).

El pH varió poco entre los tratamientos, entre 5,2 y 5,7 (Tabla 2 Anexos) tendiendo a pH fuertemente ácidos (5,1-5,5) y en otros tratamientos moderadamente ácidos (5,6-5,9), los tratamientos con el pH más alto fueron los Lombricompost, Micorrizas y el testigo, los tratamientos con pH moderadamente ácidos contenían Lixiviados a excepción del tratamiento FBO.

Los tratamientos con lixiviado incluyendo el FBO son los que presentan los mayores promedios de nutrientes y CIC (Tabla 8 Anexos). El potasio y el magnesio se encuentran en un nivel muy alto especialmente el potasio en todos los tratamientos; para el calcio se encontraron valores medios, pero para los tratamientos Lombricompost_Lixiviado, micorriza y el testigo el nivel es bajo.

Los elementos menores presentaron un valor muy alto en todos los tratamientos.

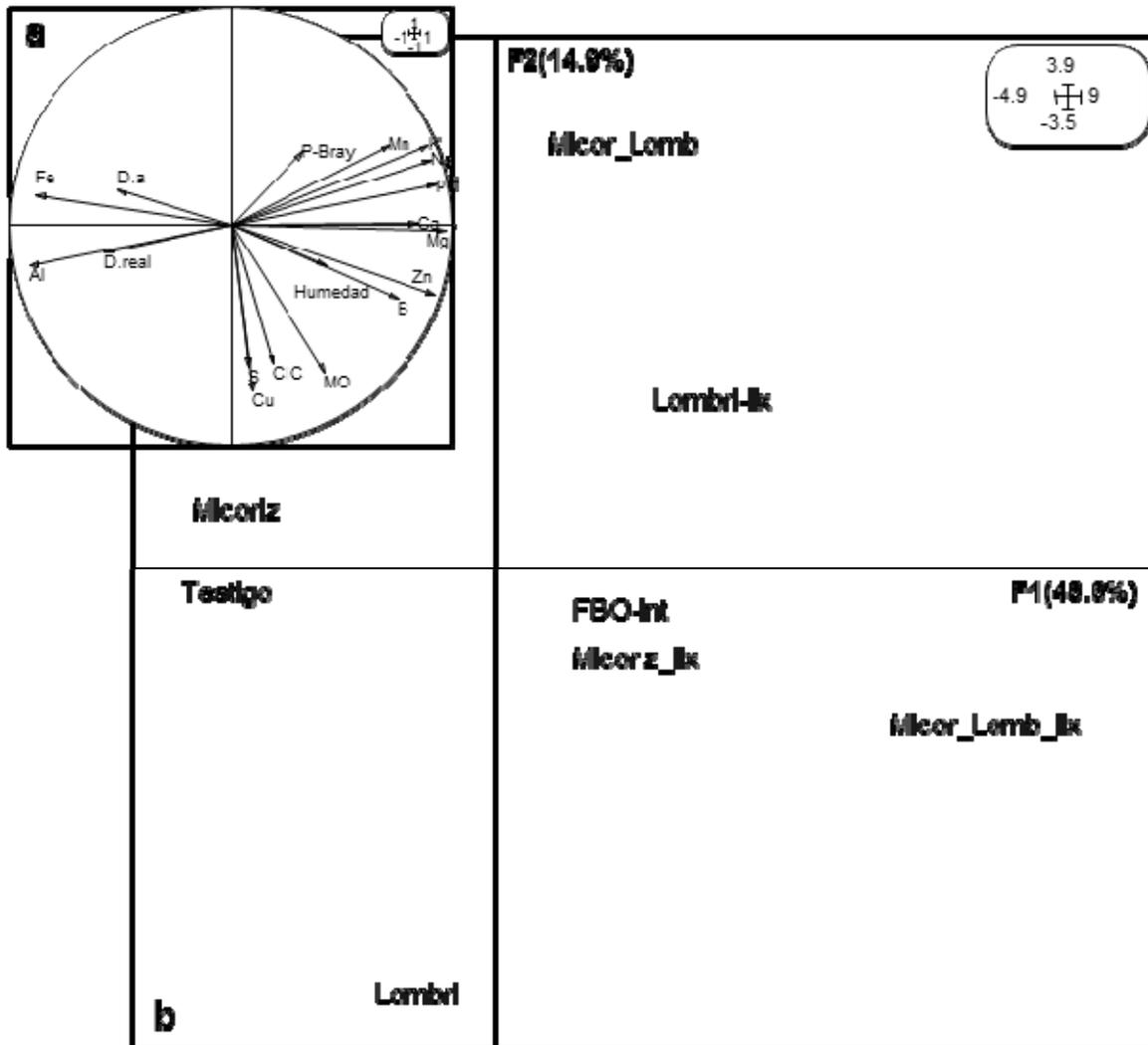


Figura13.Variables químicas y físicas del suelo.

5.6 Análisis morfológico de los macro agregado del suelo.

Los dos primeros factores del ACP explican el 79.0% de la variabilidad total de los datos. El factor 1 separa los tratamientos en función de la alta proporción de agregados de origen biológicos producidos por los “ingenieros del ecosistema” (lombrices principalmente) del tratamiento que origina agregados de raíces. El tratamiento con lombricompost principalmente y el FBO presentaron el mayor número de agregados biológicos y el tratamiento con los contenidos más altos de residuos orgánicos y de agregados producidos por las raíces fue el lombricompost con aplicación de lixiviados (Figura 14).

El segundo factor (36.4%) separó el tratamiento con micorrizas con la mayor proporción de agregados de origen físico.

Una vez identificados los tratamientos que producen más agregados biogénicos, de raíz y de origen físico, se aislaron e identificaron los microorganismos presentes en cada uno de estos agregados. Los resultados de este análisis se muestran más adelante.

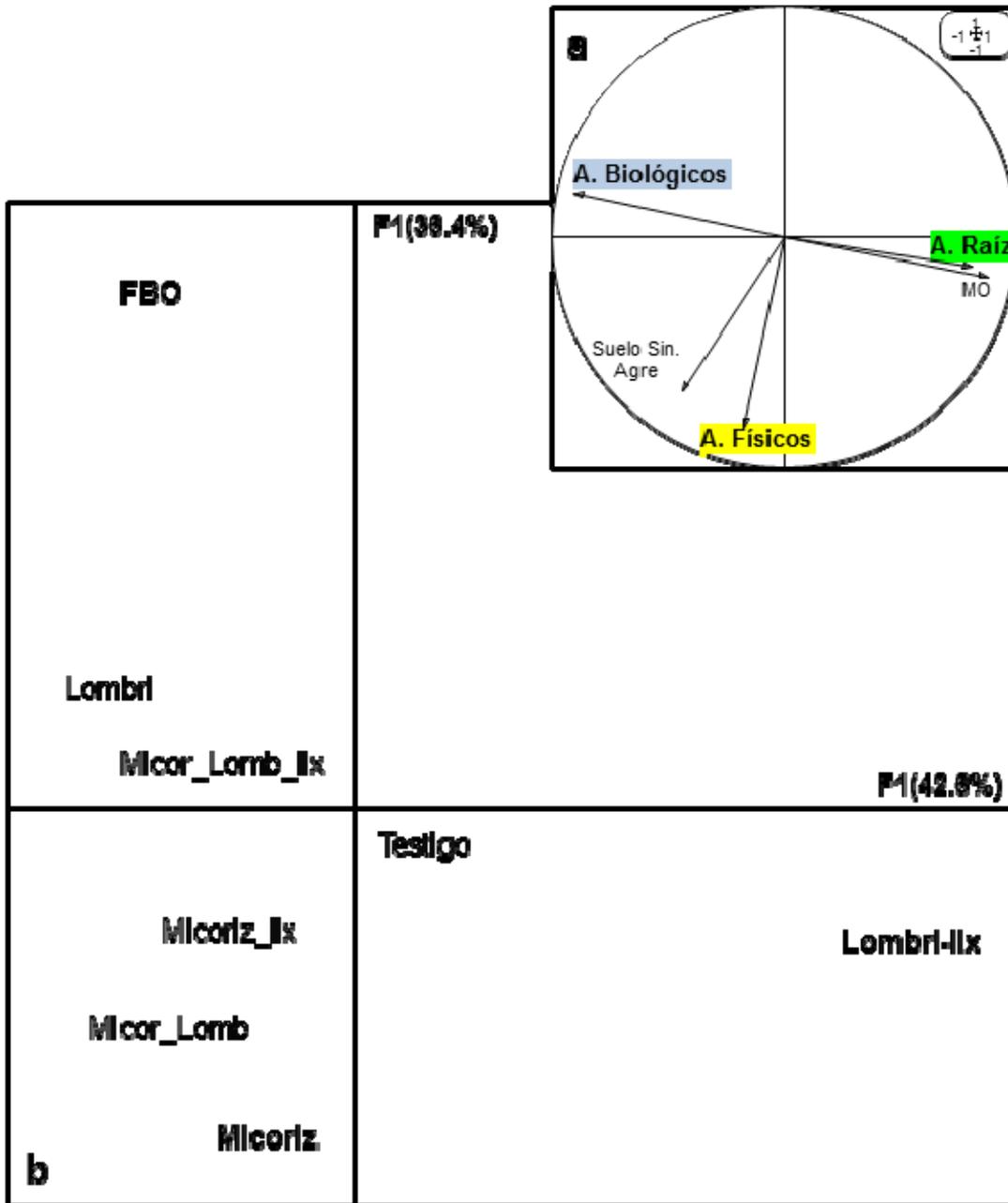


Figura14. Variables de morfología del suelo.

5.7 Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- en dos épocas de muestreo.

Se realizó una ACP con el juego de datos constituido por los nematodos y micorrizas en dos épocas de muestreo (5 y 10 meses). Las variables analizadas fueron: fitoparásitos de raíz, nematodos saprofitos de raíz, nematodos parásitos del suelo y nematodos saprofitos del suelo, así como con las esporas (N° esporas) de los Hongos Micorrícicos arbusculares (HMA), el micelio externo del HMA, la frecuencia de colonización del HMA (F%), la colonización total (M%) y el porcentaje de arbusculos totales (A%).

El ACP separa significativamente las dos épocas de muestreo ($p < 0.01$). El primer factor explica el 37.4% de la variabilidad de los datos y separa los tratamientos en función de la época del muestreo, destacándose en la época diez meses, el alto porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos arbusculares, principalmente en los tratamientos con micorrizas, y el equilibrio entre los nematodos saprofitos y fitoparásitos en el suelo encontrado principalmente en el tratamiento FBO (Figura 15).

El segundo factor (26.8%) separa los tratamientos micorrizas y lombricompost, a diez meses, como los tratamientos con más equilibrio entre los nematodos fitoparásitos de raíz y nematodos saprofitos de raíz. También se destaca el tratamiento FBO (en la misma época) como el tratamiento con mayor equilibrio entre nematodos fitoparásitos y nematodos saprofitos en el suelo (Figura 15).

Dentro de los tratamientos de la época de cinco meses se destaca el alto porcentaje de esporas en el tratamiento lombricompost con lixiviado y alto porcentaje de nematodos saprofitos en raíz en el tratamiento micorriza-lombricompost con lixiviado. En esta época los tratamientos micorriza y FBO, mostraban una alta frecuencia en la colonización de HMA.

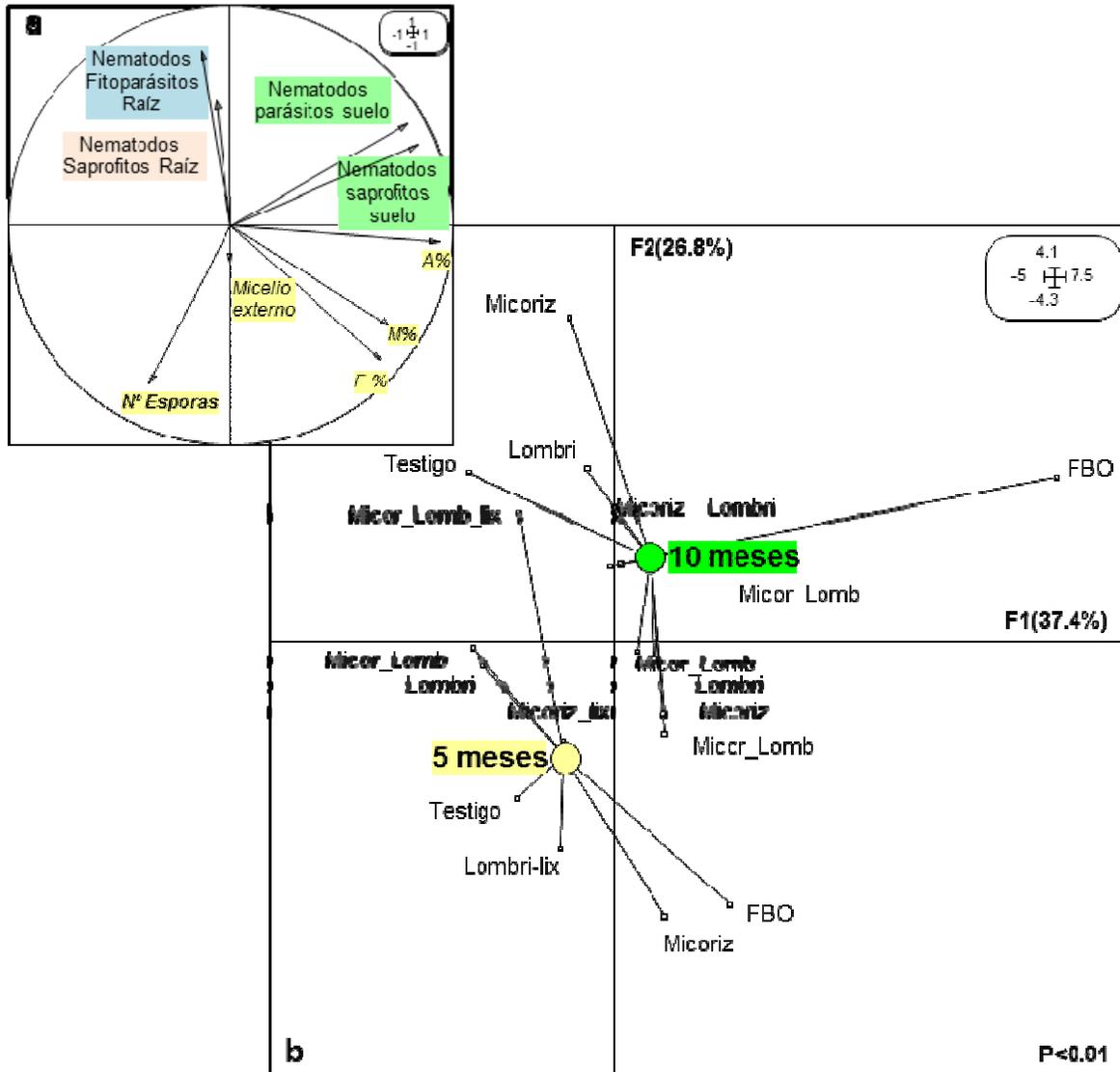


Figura15. Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- en dos épocas de muestreo.

5.8 Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- diez meses después de aplicar los tratamientos.

La figura 16 muestra representa la distribución de las micorrizas y los nematodos en los diferentes tratamientos. Para este análisis se utilizó un nivel de identificación de los nematodos hasta grandes grupos, separándolos en nematodos fitoparásitos y saprofitos de raíz y nematodos parásitos y saprofitos de suelo.

Los dos primeros factores de ACP explican el 74.3% de la variabilidad total de los datos. El primer factor separa principalmente el tratamiento FBO con una alta frecuencia de colonización de Hongos Micorrícicos Arbusculares (F%), una alta colonización total (M%) y un alto porcentaje de arbusculos totales (A%). Este tratamiento presento también un interesante equilibrio entre los nematodos saprofitos y fitoparásitos en el suelo.

El factor 2 explica el 26.3% y separa el tratamiento micorriza con aplicación de lixiviado de los otros tratamientos por tener un mayor equilibrio entre nematodos fitoparásitos y nematodos saprofitos en la raíz. Los tratamientos micorriza y micorriza-lombricomost con lixiviado, presentaron el más alto número de esporas y de micelio externo.

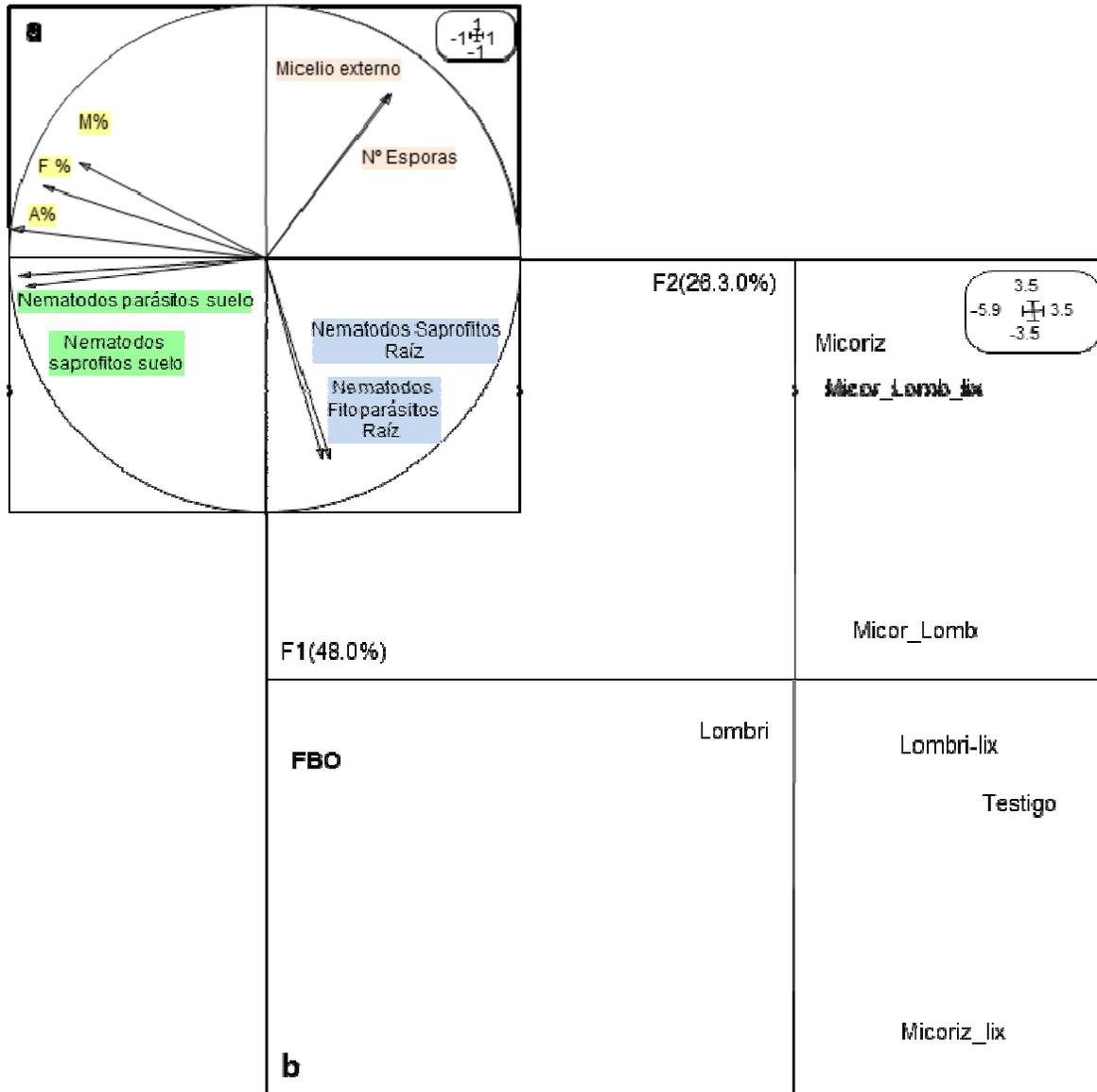


Figura16. Microorganismos -Nematodos y Micorriza (HMA)- diez meses después de aplicar los tratamientos.

5.9 Microorganismos presentes en los diferentes agregados de la separación morfológica del suelo.

El análisis morfológicos de los agregados del suelo mostro una clara separación de los tratamientos dada, principalmente, por los agregados de origen biológico, físico y de raíz (Figura 14). Los tratamientos con mayor proporción de agregados de origen biológicos fueron el FBO y el Lombricompost, debido a la actividad de las lombrices, principalmente. El tratamiento con Micorrizas se caracterizó por el alto número de agregados de origen físico y el tratamiento Lombricompost con aplicación de lixiviados por el alto número de agregados producidos por las raíces.

Posteriormente se realizó un Análisis de componentes Principales (ACP) para evaluar la presencia y abundancia de microorganismos: nematodos fitoparásitos y saprofitos, así como de esporas de hongos formadores de micorrizas (HFM) en estos tres grupos de agregados, con el fin de evaluar la disminución de estos microorganismos en función de los diferentes tratamientos diez meses después de la aplicación de estos.

El primer factor del ACP explica el 26.1% de la variabilidad de los datos y separa los agregados en dos grandes grupos. El primer grupo está formado por la alta presencia de agregados de origen físico y biológico. En los agregados Biogénicos, producidos principalmente por el tratamiento FBO se observa una clara ausencia de nematodos en general. Los agregados físicos tuvieron mayor presencia de los nematodos fitoparásitos *Radophulosp*, y *Aphelenchus* y de los nematodos saprofitos *Dorilamida* y *Mononchido*, los cuales dominaron principalmente en los tratamiento testigo y micorriza.

Los agregados de raíz tuvieron la mayor cantidad de nematodos fitoparásitos *Pratilenchus*, *Helicotilenchus*, *Meloidogyne* y *Tylenchus*, así como de nematodos saprofitos *Plectidea*, *Rhabditidae* y *Acrobeles*. Estos organismos estuvieron presentes principalmente en los agregados de raíz del tratamiento FBO (Figura 17).

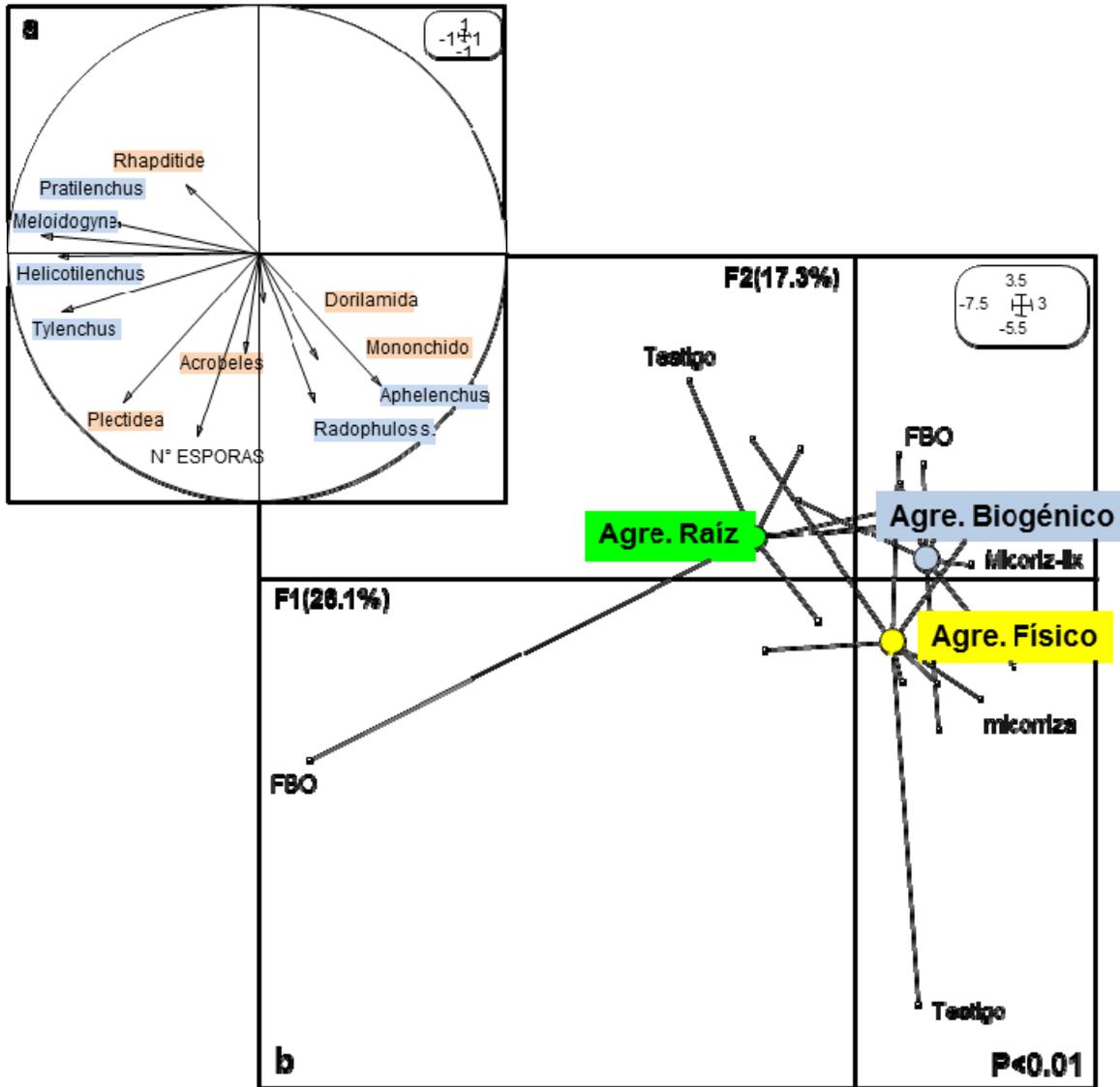


Figura17. Microorganismos presentes en los diferentes agregados de la separación morfológica del suelo diez meses después de la aplicación de los tratamientos.

5.10 Variables asociadas al crecimiento

La correlación para las variables fue altamente significativa, las variables altura de planta y diámetro de pseudotallo presentaron la correlación más alta (Tabla 2). Bloque y tratamientos son significativos al 10 % (Tabla 3), lo que muestra que el diseño experimental es adecuado, e indica que hay variaciones en las condiciones de un bloque a otro.

Tabla 2. Coeficiente de correlación Pearson entre las variables

	N Hojas	Altura
Altura	0,631 < 0,0001	
Diámetro	0,6321 <0,0001	0,9436 <0,0001

n = 471

Los promedios de tratamientos se presentan en la Tabla 2, para las tres variables de crecimiento, y la prueba de rango múltiple de Duncan (Tabla 3) para la variable No. De hojas los tratamientos con mayor valor fueron los tratamiento con Lombricompost y Micorriza con lixiviado, difirieron de los menores los tratamientos Micorriza y FBO; para las variables altura y diámetro altamente correlacionadas se une que para altura de planta el tratamiento Lombricompos y el micorriza difieren siendo el tratamiento con lombricopcompos el mejor para esta variable; para el diámetro el mejor tratamiento igual que para la altura es el tratamiento con Lombricompost pero para este caso se tienen cuatro tratamientos Mcorriza con y sin lixiviado, micoriiza_ Lombricompost y FBO que son los de menor diámetro.

Las interacciones de tratamiento por tiempo fueron significativas (Tabla 3), hubo tratamientos que aumentan de manera diferente la velocidad de crecimiento en el número de hojas con relación a otros tratamientos, los cuales se diferenciarán más adelante con la prueba del rango múltiple de Duncan. También se encontraron las

interacciones significativas al 10 % para tratamientos por altura y tratamiento por diámetro, para la altura y el diámetro en función del tiempo lo que indica que el tiempo es el factor diferente.

Tabla 3 Análisis de varianza. Numero de Hojas

Fuentes de Variación	GL	CM		
		No. HOJAS	ALTURA	DIAMETRO
BLOQUE	2	5,989 *	458,635 NS	213,457 NS
TRAT	7	4,727 *	470,64 *	355,028 *
TRAT*BLOQUE	14	2,135 NS	205,136 ***	103335 *
TIEMPO	3	257,659 ***	22079,946 ***	27247,009 ***
TRAT*TIEMPO	21	3,596 ***	209,85 ***	161,827 ***
ERROR	423	1,679	71,630	66,45

*** P ($\infty \leq 0.01$) Altamente significativo.

** P ($0.01 \leq \infty \leq 0,05$) Significativo al 5 %.

* P ($0.05 \leq \infty \leq 0,10$) Significativo al 10 %.

NS P ($\infty < 0.10$) No significativo.

Tabla 4. Promedios y prueba de rango múltiple de Duncan para variables asociadas al crecimiento.

Tratamiento	Descripcion	Promedios		
		No de Hojas	Altura	Diametro
1	FBO-int	5,26 b	25,23 bc	24,40 c
2	Lombri-lix	5,69 ba	27,38 bac	27,21 bac
3	Lombri	5,95 a	31,82 a	30,27 a
4	Micor_Lomb_lix	5,57 ba	26,21 bc	25,83 bc
5	Micor_Lomb	5,58 ba	25,74 bc	25,08 c
6	Micoriz_lix	5,87 a	24,50 bc	24,96 c
7	Micoriz	5,31 b	23,03 c	24,00 c
8	Testigo	5,64 ba	29,17 ba	28,82 ba

Promedios con igual letra no difieren al 10 % (P ($\infty < 0.01$))

Los coeficientes de determinación R^2 fueron muy altos para la mayoría de los tratamientos en las tres variables: Número de hojas por planta, Altura de planta y diámetro de seudotallo, con excepción de los tratamientos Micor_Lombri_Lix y Micor_Lombri quienes presentan un coeficiente de determinación de 77,33 y 86,40 % respectivamente (Tabla 6 y 7). Estos valores indican que los modelos explican en muy altos porcentajes las variaciones de la variable y que depende en cada caso de la edad, también que estos modelos se pueden usar para predicción de alturas y diámetros de las plantas.

Evaluación de número de hojas:

Se observa de manera general que los modelos se ajustan muy bien a los datos observados.

En la mayoría de los tratamientos el modelo de mejor ajuste fue parabólico, (Figura18) se observa que la velocidad con que aumenta el número de hojas por unidad de tiempo disminuye a través de las evaluaciones y tiende al final de este periodo a estabilizarse (Figura 19) el único tratamiento que tuvo un incremento constante en el número de hojas a través del tiempo fue el tratamiento con Lombricompost.

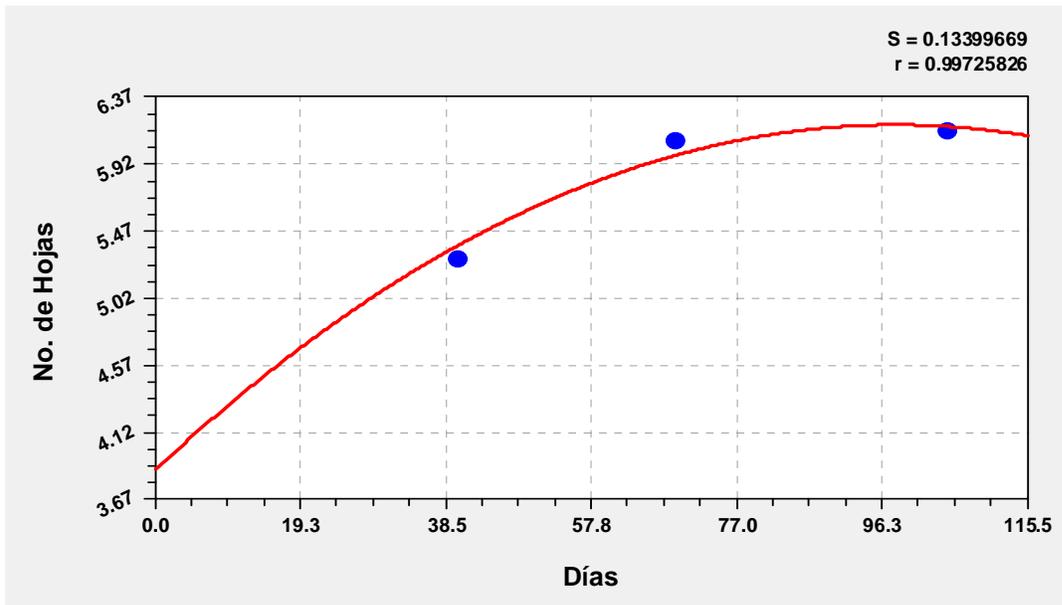


Figura 18. Modelo parabólica Tratamiento 1 (F.B.O) . Numero de hojas en diferentes tiempos.

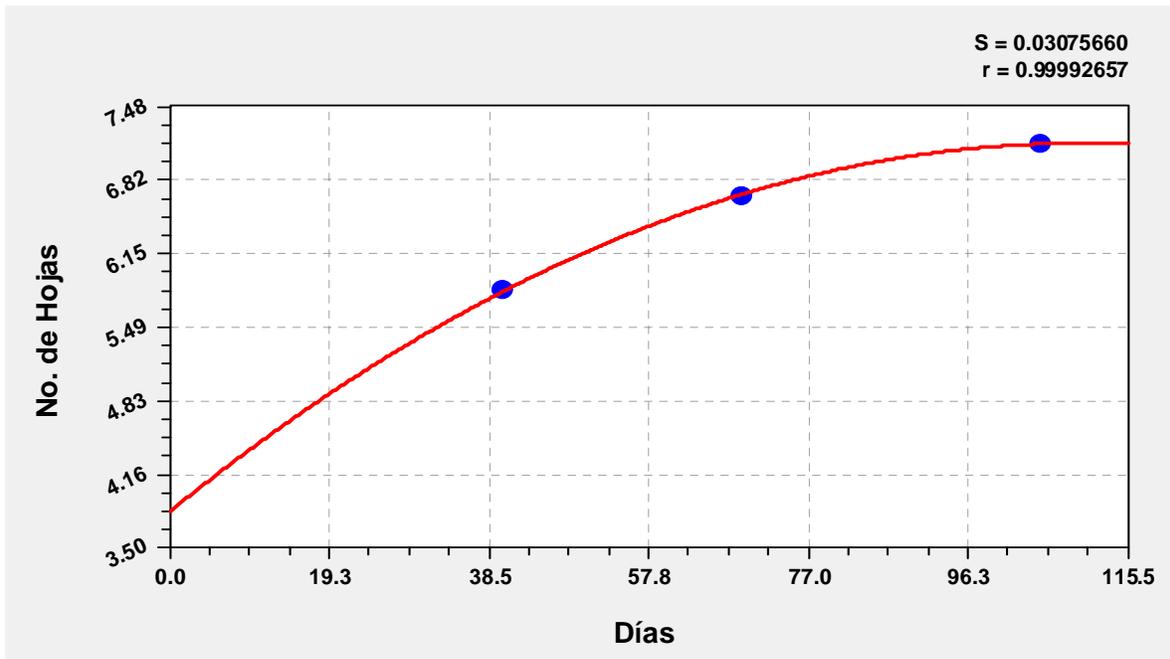


Figura 19. Modelo parabólica Tratamiento 2 (Lombri-Lix). Numero de hojas en diferentes tiempos.

La interacción tratamiento por tiempo es altamente significativo, lo que indica que la edad de las plantas influye de manera diferente sobre los tratamientos, lo cual se confirma porque los tratamientos tuvieron parámetros diferentes en sus modelos por ejemplo aunque el primer parámetro es similar los parámetros b y c para el caso de modelos parabólicos en los tratamientos 1, 4 y 5 (F.B.O, Mico_Lomb_lix, Mico_Lomb) son diferentes (Anexo T1, T4 y T5 modelos para No. De Hojas), esto indica que hay diferencias en el aumento de hojas que se presenta con el tiempo, pero también indica que hay un efecto de los tratamientos manifestados a través del tiempo. Para el número de hojas se tiene solo un modelo lineal, para el tratamiento 3 (Lomb) (Figura 20), en este se presenta un incremento constante, por cada día el número de hojas se incrementa en 0,039 hojas.

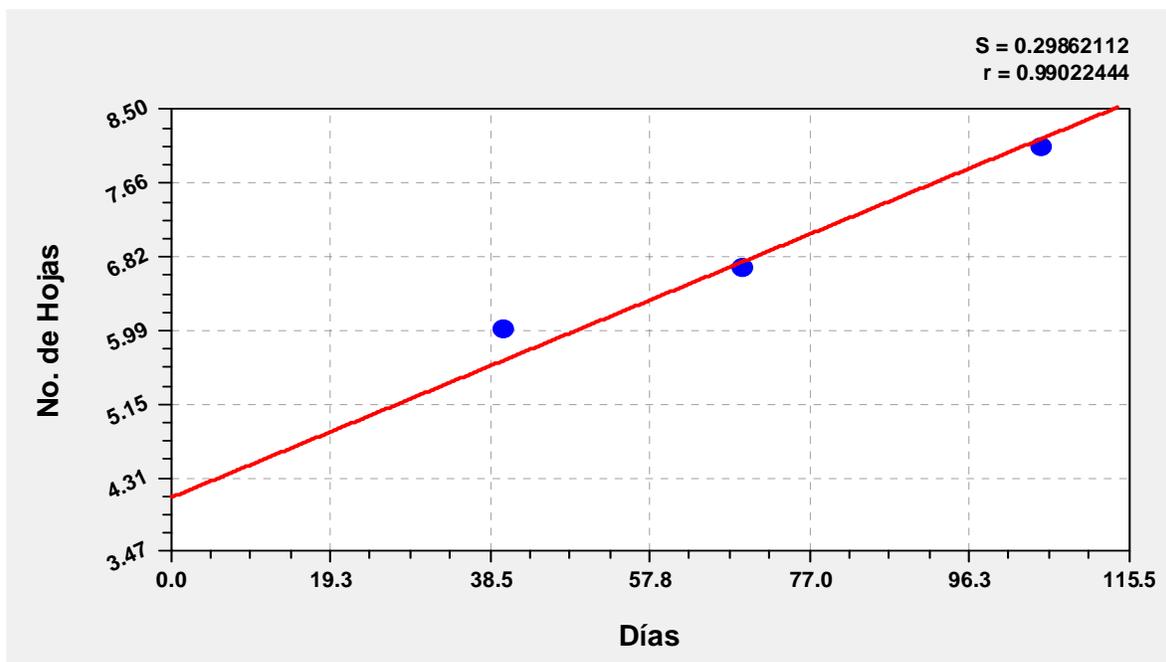


Figura 20. Modelo parabólica Tratamiento 3 (Lombri). Numero de hojas en diferentes tiempos.

Tabla 5 Modelos para número de hojas

Tratamiento	Descripcion	Modelo	R2	R%
1	FBO-int	$NH = 3,87 + 0,041 d - 0,00024 d^2$	0,9945	99,45
2	Lombri-lix	$NH = 3,85 + 0,060 d - 0,00027 d^2$	0,9999	99,99
3	Lombri	$NH = 4,09 + 0,039d$	0,9805	98,05
4	Micor_Lomb_lix	$NH = 3,87 + 0,069d - 0,00044 d^2$	0,7733	77,33
5	Micor_Lomb	$NH = 3,61 + 0,089 d - 0,00061d^2$	0,8640	86,40
6	Micoriz_lix	$NH = 4,04 + 0,072 d - 0,00040d^2$	0,9476	94,76
7	Micoriz	$NH = 3,48 + 0,076 d - 0,00044d^2$	0,8952	89,52
8	Testigo	$NH = 3,44 + 0,068d - 0,00027d^2$	0,9879	98,79

Tabla 6 Modelos para altura y diámetro

Tratamiento	Descripcion	Altura			Diámetro		
		Modelo	R2	R%	Modelo	R2	R%
1	FBO-int	Altura= $15,71e^{0,0084d}$	0,999	99,901	Altura= $12,79e^{0,011d}$	0,986	98,625
2	Lombri-lix	Altura= $13,27e^{0,012d}$	0,970	96,994	Altura= $11,61e^{0,014d}$	0,990	98,970
3	Lombri	Altura= $13,22e^{0,015d}$	0,981	98,109	Altura= $12,06e^{0,015d}$	0,995	99,503
4	Micor_Lomb_lix	Altura= $13,71e^{0,011d}$	0,985	98,466	Altura= $13,32e^{0,012d}$	0,994	99,362
5	Micor_Lomb	Altura= $14,30e^{0,010d}$	0,988	98,756	Altura= $13,06e^{0,011d}$	0,998	99,799
6	Micoriz_lix	Altura= $13,60e^{0,011d}$	0,984	98,421	Altura= $13,17e^{0,012d}$	0,976	97,636
7	Micoriz	Altura= $12,79e^{0,011d}$	0,965	96,541	Altura= $13,48e^{0,012d}$	0,994	99,352
8	Testigo	Altura= $13,45e^{0,013d}$	0,984	98,429	Altura= $12,04e^{0,015d}$	0,988	98,759

Los modelos que mejor se ajustan para la variable altura son modelos exponenciales en el cual se observa que el incremento de la altura a través del tiempo en cada vez mayor, los coeficientes de determinación calculados están entre el 96 y 99 % lo que indica un alto ajuste del modelo exponencial a esta variable. Se presentan diferencias en los parámetros estimados es el caso del tratamiento 1,3, 4 y 8 (5 (F.B.O, Lomb, Mico_Lomb_lix, y el Testigo) para altura y para diámetro.

Al igual que en la altura los valores generaron modelos exponenciales en el que, los tratamientos están determinados por efecto del tiempo. Esto puede deberse a la alta correlación que hay entre las variables (0.95, Tabla 2).

6 DISCUSIÓN

La densidad de macrofauna al inicio de la investigación fue muy baja comparada con la evaluación final, esta aumento de 600 individuos / m² en promedio a 2400 individuos/m² en el tratamiento FBO, esto nos indica un fuerte efecto de este tratamiento dado por la adición de materia orgánica de lenta y rápida descomposición, y de lombrices de tierra. Esto también se evidencio en un ensayo anterior en campos de Té en la India (Senapatiet al, 1999).

Este tratamiento estimulo la densidad, diversidad y actividad de poblaciones de invertebrados descomponedores de materia orgánica como los coleópteros, diplopodos, y blapttopteros, pero muy importante aún fue el incremento de las lombrices quienes representaron el 62% de la población lo que es importante pues las hormigas, las termitas y las lombrices son muy trascendentes en los procesos de regulación del suelo, especialmente porque modifican la estructura física del suelo (Fragosos et al, 1997; Ruiz et al, 2008).

El testigo mostro las menores densidades de invertebrados, probablemente debido al uso de paquetes tecnológicos que comprenden químicos para control de insectos “plaga” y la fertilización (Lavelle et al, 1997).

Se encontró un alto porcentaje de hormigas especialmente en la evaluación inicial representando el 90 % de la población total de macrofauna, contrario a esto, en la evaluación final la población de hormigas decreció hasta un 17 % en la población total de macrofauna, lo que muestra una influencia de los tratamientos, especialmente Micorriza_ lombricompost, Lombricompost con lixiviado y FBO, en el restablecimiento de la dinámica de la fauna en el suelo.

El suelo en general tiene buenos niveles de fertilidad pero resaltan los tratamientos con lixiviado. El lixiviado fue considerado para ser aplicado como

parte de los tratamientos por ser rico en nutrientes (Anexo Tabla 11) especialmente en potasio que es esencial, especialmente, para este cultivo y por ser un elemento biológico para control fitosanitario (Llano et al, 2007), además de promover la biomasa microbiana del suelo (Muñoz et al, 2005).

El tratamiento FBO presento adecuados niveles de fertilidad química dado por los altos contenidos de materia orgánica y por la alta densidad y actividad de las lombrices de tierra.

Las densidades real y aparente fueron bajas y no aportan mucho en la variación de los tratamientos la encontramos con promedios que varían entre 0,9 y 1,09 g/cc característica que identifica a los suelos con material de origen volcánico (Andisoles, con baja densidad aparente) además del alto contenido de materia orgánica con promedios de 5.5 % a 6,6 % (Montenegro y Malagón, 2009), lo que representa además un estado del suelo ideal para el desarrollo del cultivo.

El análisis morfológico de los macro agregado del suelo mostro sin lugar a duda la importancia de los ingenieros del ecosistema (lombrices principalmente) en el mejoramiento de las condiciones biológicas del suelo, pues fue el sistema FBO y el tratamiento con Lombricompost quienes presentaron la mayor actividad biológica, representado por el mayor número de agregados biogénicos. La presencia de estos agregados biogénicos de diferentes tamaños, así como de invertebrados y raíces, muestra una alta actividad biológica, lo cual indica probablemente una alta calidad en los procesos del suelo y una óptima regulación biológica en el funcionamiento del suelo (almacenamiento de agua y de carbono).

El tratamiento FBO, a través del tiempo, no solo aumento la proporción de agregados biológicos en el suelo, sino que aumento las poblaciones de nematodos saprofitos lo cual evidencia un equilibrio en las poblaciones de estos nematodos en el suelo, importante para que la planta pueda resistir mejor el ataque de los nematodos fitoparásitos.

La baja proporción de nematodos fitoparásitos en los agregados biogénicos (producidos en el tratamiento FBO) evidencia un efecto positivo de las lombrices de tierra, en este caso *PontoscolexCoreoethrurus* como un posible inductor de la población de nematodos saprofitos especialmente los frugívoros y bacteriófagos.

Este equilibrio favorece, además, la colonización de las micorrizas nativas, resultados reportados también por Ingham R, 1988; Elsen 2002 y Elsen et al, 2008. En este caso, las lombrices presentes en el tratamiento FBO favorecieron, también, la colonización de micorrizas en las plantas, evidenciadas por el aumento de esporas en el suelo.

El tratamiento que propicio un mayor desarrollo radicular fue el tratamiento lombricompos con lixiviado que nos confirman los efectos positivos de este sobre las plantas del lombricompos (Arancon, 2006).

El testigo presento la mayor proporción de agregados de raíz y también una gran cantidad de nematodos fitoparásitos *Pratilenchus* y *Meloidogyne*, así como de nematodos saprofitos *Rhabditidae*. El aumento de estos nematodos se debió a la ausencia de elementos de biocontrol, lo cual tiende a afectar el equilibrio del ecosistema en el suelo (Lavelle et al, 1997).

7 CONCLUSIONES

- El método de fertilización Bio-Orgánica (FBO) permitió aumentar la diversidad de la macrofauna del suelo permitiendo así mejorar la calidad, por efecto del incremento de la actividad biológica del suelo, el FBO permito crear un lugar en donde la actividad de las lombrices acelero la descomposición de materia orgánica incrementando el nivel de fertilidad del suelo.
- La actividad biológica promovida por el FBO también incremento la proporción de agregados de origen biogénico que es en donde se encuentran la menor población de nemátodos fitoparásitos, lo que permite concluir que si se activa la actividad biológica del suelo los problemas causados por nemátodos fitoparásitos podrán ser menores.
- El lixiviado también puede considerarse una fuente de nutrientes importante, especialmente por su alto contenido de potasio, elemento muy importante en el cultivo de plátano y banano. Este biocontrol es de bajo costo y se presenta como una excelente alternativa para la fertilización.
- El uso de lombricompos como fuente de materia orgánica es una opción para incrementar las micorrizas y mejorar el equilibrio en la comunidad de nematodos esto implica el mejoramiento de las condiciones para el buen desarrollo de las plantas.
- Las micorrizas como elemento de biocontrol de nematodos fitoparásitos tienen un efecto sobre las poblaciones cuando se incrementa la colonización de la raíz de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abawi G.S. & Widmer T.L. 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology*, 15: 37-47.
2. Acevedo I. & Pire R. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (Carica papaya L.). *Interciencia*, 29(5).
3. Akhtar M. & Malik A. 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology*, 74: 35-47.
4. Alarcón J & Castaño J. 2006. Reconocimiento fitosanitario de las principales enfermedades del plátano dominico hartón (Musa aabsimmonds). *Agronomia*, 14 : 65-79.
5. Alvarez E. 2009. Fortalecimiento de Cadenas de Valor de Plátano: Innovaciones y Tecnología para Reducir Agroquímicos. Honduras, Junio 24-26, 2009.
6. Anderson JM & Ingram J. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods, 2nd edn. CAB International, Oxon.
7. Arancon N., Edwards C., Lee S. & Byrne R. 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42: S65-S69

8. Araya M. 2004. Los fitonematodos del banano (*Musa* AAA subgrupo cavendish cultivares grande naine, valery y williams) su parasitismo y combate. XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004.
9. Araya M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa* AAA) y plátano (*Musa* AAB) en el trópico americano. Actas del Taller “Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas”, celebrado en Guayaquil, Ecuador, 11- 13 de Agosto, 2003.
10. Arenas A., Lopez D., Alvarez E., LLanos GA., Loke JB. 2005. Efecto de prácticas ecológicas sobre la población de *Ralstoniasolanacearum* Smith, causante de Moko de plátano. *FitopatolColomb* 28(2):76-80.
11. Arias P., Dankers C., Liu P. & Pilkauskas P. 2004. La economía mundial del banano 1985-2002. En: Estudios FAO productos básicos 1, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5102s/y5102s00.pdf>. 95 p.; consulta: octubre de 2009.
12. Bailey K.L., Lazarovits G. 2003. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil&TillageResearch*, 72:169-180.
13. Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *EcologicalEconomics*, 64(2): 269-285.
14. Belalcázar S., Merchán VM., Mayorga M., Londoño MG., Pulido JI & García F. 1991. El cultivo del plátano en el trópico. ICA, CIID, INIBAP y Comité Departamental de Cafeteros del Quindío.

15. Berkelmans R., Ferris H., Tenuta M., Van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 23: 223-235.
16. Blouin M., Zuilly-Focil Y., Tham-Thi, A-T Laffray D., Reversat G., Pando, A., Tondoh, J., Lavelle, P. 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerant to parasites. *Ecology Letters*, 8: 202-208.
17. Bolaños, M. & Belarcázar S. 2000. Relationships between soil fertility, nutritional state and pseudostem rot (*Erwinia chrysanthemi*) En: Resúmenes XIV Reunión ACORBAT. San Juan, Puerto Rico. 31 julio-4 de agosto. 2000. P 43.
18. Bolaños, M; M; Sánchez, M; Yoshioka, I. C; Morales, O. H. 2005. Biological Activity and Microbial Biomass in Rhizospheric soil of plantain (*Musa AAB*). In: Second International Seminar on Production, Commercialization and Industrialization of Plantain. Manizales, Colombia. Pág: 121 - 124. ISBN: 958-97486-1-9.
19. Boyer J. 1998. Interactions biologiques (faune, ravageur, parasites, microflore) dans des sols sous cultures en milieu tropical humide (Ile de la Réunion). In, p. 220. Paris VI, Paris
20. Breustedt G., Muller-Scheeßel J. & Latacz-Lohmann U. 2008. Forecasting the Adoption of GM Oilseed Rape: Evidence from a Discrete Choice Experiment in Germany. *Journal of Agricultural Economics* 59, 237–256.
21. Chagüezá Yamileth., Lavelle Patrick., Asakawa Neuza., Velázquez Elena. 2010. Alternativas biológicas al uso de pesticidas en cultivos de plátano del

departamento del Quindío I. Estado inicial de las poblaciones de nematodos y agentes de biocontrol. Poster. <http://www.slideshare.net/CIAT/alternativasbiologicasplatano-2010>

22. Chaoui H., Edwards C.A., Brickner M., Lee S. & Arancon N.Q. (2002) Suppression of the plant diseases *Pythium*, *Rhizoctonia*, and *Verticillium* by vermicompost. *Proc Brighton Crop Prot Conf Pests Dis*, 2, 711-715.
23. Clapp J & Zhao B. 2001. Manual de micorrizas. Preparado para el taller: Hongos micorrizicos arbúsculares en los sistemas de producción vegetal: detección, taxonomía, conservación y eco fisiología celebrado en Wuhan, PR China. Laboratorio de Microbiología Agrícola, Universidad de Huazhong, Wuhan, PR China. En: www2.dijon.inra.fr/mychintec.
24. Clapperton M., Lee N., Binet F. & Conner R.L. 2001. Earthworms indirectly reduce the effects of take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) on soft white spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Fielder). *Soil Biol Biochem*, 33, 1531-1538.
25. Clermont - Dauphin, C., Cabidoche, Y -M., Meynard, J.-M. 2004. Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management*, 20: 105-113.
26. Coleman David C., Crossley D. A., Hendrix Jr. Paul F. 2004. Fundamentals Of Soil Ecology. Institute of Ecology. University of Georgia. Athens, Georgia pp: 404.
27. Coleman, DC., Inghan, RE., McClellan, JF., Trofymow, JA. 1984. Soil nutrient transformations in the rhizosphere via animal-microbial interactions. En *Invertebrates-Microbial Interactions*. Anderson, JM., Rayner, ADM., Walton, DWH. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 35-58.

28. Cuello, J.C., Sierra, O.D., Torregroza, G. 2004. Importancia de la semilla en la producción de plátano. Corpoica regional dos. http://www.turipana.org.co/produccion_platano.html. Consultada Mayo de 2009.
29. DE WAELE D., DAVIDE R.G. 1998. Nematodos noduladores de las raíces del banano. Plagas de Musa. Hoja divulgativa No. 3. INIBAP.
30. Dood, J.C.; Clapp, J.P., y Zhao, B. 2001. Manual de micorrizas. Preparado para el taller: Hongos micorrizicosarbúsculares en los sistemas de producción vegetal: detección, taxonomía, conservación y ecofisiología celebrado en Wuhan, PR China. Laboratorio de Microbiología Agrícola, Universidad de Huazhong, Wuhan, PR China.
31. Elsen A., Gervacio D., Swennen R., De Waele D. 2008. AMF-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in Musa sp.: a systemic effect Mycorrhiza 18:251–256.
32. Elsen A, Beeterens R, Swennen R. 2003. Effects of an arbuscularmycorrhizal fungus and two plant-parasitic nematodes on Musa genotypes differing in root morphology. Biol. Fertil. Soil 38 (6): 367-376.
33. Elsen A. 2002. Estudio de la interacción entre los hongos micorriza arbusculares y nematodos fitoparásitos en Musa spp. INFOMUSA 11 (1): pg. 55.
34. Espinal C.F., Martínez H.J. & Peña Y. 2006. La cadena de plátano en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. 44 pp. <http://www.agrocadenas.gov.co>

35. FAO, 2003. International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides. CR 1/123. FAO, Rome.
36. FAO. 1996. Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo. Directrices provisionarias. Colección FAO: Eliminación de plaguicidas n° 4. PNUMA/OMS/FAO, Roma. 1996. [Texto del manual en: http://www.fao.org/AG/AGP/AGPP/Pesticid/Disposal/index_en.htm]
37. FAO. 2003. Los plátanos no están al borde de la extinción. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/13120-es.html>.
38. FAO. 2009. Panorama general de la producción y el comercio mundial del banano. <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s04.htm>.
39. FEDEPLATANO. 2009. Plan de acción de la cadena para el occidente del país. <http://alcoholsostenible.com/fedeplatano/documentos.html> [http](http://alcoholsostenible.com/fedeplatano/documentos.html).
40. Fengjuan Pan a,b,c, Neil B. McLaughlin c, QingYu c, Allen G. Xue c, YanliXu a, Xiaozeng Han a, Chunjie Li a, Dan Zhao. 2010. Responses of soil nematode community structure to different long-term fertilizer strategies in the soybean phase of a soybeanwheatecorn rotation. *European Journal of Soil Biology* 46: 105-111.
41. Gómez K. & Gómez A. 1983. Statistical Procedures for agricultural research. 2ⁿ Ed. John Wiley&sons, 680 p.
42. Gowen, S. & Quénéhervé, P., 1990. Nematode parasites of bananas, plantains and abaca. In: Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 431–460.

43. Gowen, S.R., Quénéhervé, P., Fogain, R. 2005. Nematodes parasites of bananas and plantains. In : Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture, 2nd édition. Ed. CABI Publishing, UK. p. 611-644.
44. Greipsson S. & EL-MA Hanan. 2002. Synergistic effect of soil pathogenic fungi and nematodes reducing bioprotection of Arbuscularmycorrhizal fungi on the grass *Leymus arenarius*. *BioControl* 47: 715–727, 2002.
45. Hayes M.H.B. & Clapp C.E. 2001. Humic substances: Considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166, 723-737
46. Hooper, DU., Bignell, DE., Brown, VK., Brussard, L., Dangerfield, JM., Wall, DH et al. 2000. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms and feedbacks. *Bioscience*, 50: 1049-1061
47. Hua Jian-Feng, Lin Xian-Gui, Bai Jian-Feng, Shao Yu-Fang, YIN Rui and Jiang Qian. 2010. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Earthworm on Nematode Communities and Arsenic Uptake by Maize in Arsenic-Contaminated Soils. *Pedosphere* 20(2): 163–173, 2010.
48. Huerta E., Kampichler C., Geissen V., Ochoa S., Jong B., Hernandez S. 2009. Towards an ecological index for tropical soil quality based on soil macrofauna. *Pesq. agropec. bras.*, 44(8):1056-1062.
49. Ilieva-Makulec Krassimira, Makulec Grzegorz. 2002. Effect of the earthworm *Lumbricus rubellus* on the nematode community in a peat meadow soil. *European Journal of Soil Biology* 38: 59–62.

50. Ingham R. 1988. Interactions between nematodes and vesicular arbuscular mycorrhizae. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 24: 169-182.
51. Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 2915 de 2008. Diario Oficial No. 47.094 de 27 de agosto de 2008. [fecha de consulta 18 Octubre 2010]. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/.../Regulacion-y-Control-de-Plaguicidas-Quimicos.aspx>.
52. Jaizme-Vega, M. C. Y J. Pinochet. 1997. Growth response of banana to three mycorrhizal fungi in *Pratylenchus goodeyi* infested soil in the canary islands. *Nematropica* 27(1):69-76.
53. Jaizme-Vega, M.C. y A. S. Rodríguez-Romero, 2004. Uso de micorrizas en banano: logros y perspectivas. En: *Memorias XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004*. Oaxaca, México. Pp. 143-160.
54. Jun Tao, Xiaoyun Chen, Manqiang Liu, Feng Hu, Bryan Griffiths, Huixin Li. 2009. Earthworms change the abundance and community structure of nematodes and protozoa in a maize residue amended rice-wheat rotation agro-ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 898-904.
55. Lafont A., Risede J.M., Loranger-Merciris G., Clermont-Dauphin C., Dorel M., Rhino B. & Lavelle P. (2007) Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. *Pedobiologia*, 51, 311-318.
56. Lavelle P., Barois I., Fragoso C., Cruz C., Hernandez A., Pineda A. & Rangel P. (1987) Adaptive strategies of

Pontoscolex corethrurus (Glossoscolecidae, Oligochæta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Biol. Fert. Soils*, 5, 188-194

57. Lavelle P., Bignell D., Austen M., Giller P., Hawkins S., Brown V., Behan-Pelletier V., Garey J., Hunt B., Paul E. & Brown G. 2004. Vulnerability of ecosystem services at different scales: role of biodiversity and implications for management. In: *Sustaining Biodiversity and functioning in soils and sediments*. (ed. Wall D). Island Press, New York.
58. Lavelle P., Bignell D., Lepage M. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil. Biol.* 33(4): 159-193.
59. Lavelle, P., Blouin, M.; Boyer, J. et al. 2004. Plant parasite control and soil fauna diversity. *C. R. Biologies* 327: 629-638.
60. Lavelle, P., Spain, A. 2005. *Soil Ecology*. Published by Springer, The Netherlands, pp. 285 – 338.
61. Llano, G., Alvarez, E., Mesa LA., Triviño, VH., Loke J. 2007. Efecto de Lixiviados de Descomposición de Residuos de Plátano (*Musa AAB*), Sobre el Moko del Plátano. *Memorias XXVIII Congreso ASCOLFI, CIAT*. Octubre 3, 4, 5 de 2007.
62. Luc M., Bridge J., Sikora R. 2005. Reflection on nematology in subtropical and tropical agricultura. En: Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (eds) *Plantparasitic nematodes in subtropical and tropical agricultura*, 2nd Edition.
63. McGee PA, Pattinson GS, Heater RA, Newman CA, Allen SJ. 1997. Survival of propagules of arbuscular mycorrhizal fungi in soils in eastern Australia used to grow cotton. *New Phytol* 135: 773-780.

64. Meza L., & Triviño V. 2007. Evaluación microbiológica y físico-química de fuentes de lixiviados de compost de raquis de plátano y su efecto en el manejo de moko. Tesis, Universidad del Quindío.
65. Mora, FM. 2007. Situación del Mercado de Plátano. CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN, Sistema De Información E Inteligencia De Mercados. Boletín No.4 Noviembre 2007.
66. Muñoz E & Madriñan R. 2005. Efecto de lixiviados del raquis de plátano sobre la actividad y biomasa microbiana en floración y cosecha del tomate. Acta agronómica, 54, (1): 28-35.
67. Navia, Juan Fernando. 2006. Impacto de aportes superficiales de biomasa vegetal de diferente calidad sobre poblaciones de hongos formadores de Micorriza Arbuscular (HMA), rizobios nativos y nematodo en un suelo agrícola de Santander de Quilichao (Departamento del Cauca). Universidad Nacional de Colombia. Tesis: doctorado en ciencias agropecuarias area manejo de suelos y aguas.
68. Neher DA. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. AgroforestrySystems, 45: 159-185.
69. Ngosong C., Jarosch M., Raupp J., Neumann E., Ruess L. 2010. The impact of farming practice on soil microorganisms and arbuscularmycorrhizal fungi: Crop type versus long-term mineral and organic fertilization. AppliedSoilEcology 46: 134–142
70. Niblack, T. L. & R. S. Hussey. 1987. Extracción de nematodos del suelo y tejidos vegetales. Department of Plant Pathology. University of Georgia Pp.

235-243. En: Fitonematología, Manual de Laboratorio. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 248 p.

71. Perez VL., Pérez. M. 2003. Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en clones híbridos de la FHIA con resistencia parcial. En: Rivas, G., Rosales, F (eds). Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Taller "Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas", Guayaquil, Ecuador. 11- 13 de agosto, 2003.

72. Proyecto Residuos Rosario 2001. De residuos verdes a compost, manual para el compostaje de residuos vegetales. http://www.foroz.com/cms/download/Resid_verd2.pdf. Consultada Marzo 2006.

73. Ruiz M. M., Urueña M. A. 2009. Situación Actual y Perspectivas del Mercado del Plátano Economic Research Service- Ers Midas Crops .Componente de Agronegocios- Programa MIDAS Octubre de 2009.

74. Ruiz, N., Lavelle, P., Jiménez, J. 2008. SOIL MACROFAUNA FIELD MANUAL, Technical level. Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux Institut de la Recherche pour le Développement Bondy, France, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Rome, pp. 48- 51.

75. Sanúdo, B., Salazar, C., Betancourth. 2003. Principios de Nematología Agrícola. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, pp. 26 – 51.

76. Senapati B.K., Lavelle P., Panigrahi P.K., Giri S., and Brown G.G. 1999. Restoring soil fertility and enhancing productivity in Indian tea plantations with earthworms and organic fertilizers. Case Studies and Practices for

Improved Soil Biological Management. **Soil Biodiversity.**
<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm>

77. Stevens Glen N., Stuart Robin J.. 2008. The Ecological Complexities of Biological Control: Trophic Cascades, Spatial Heterogeneity, and Behavioral Ecology. *Journal of Nematology* 40(2):59–60. The Society of Nematologists 2008.
78. The 9th International Symposium on Earthworm Ecology 5th to 10th September 2010, Xalapa, Mexico.
79. Thorne, G. 1961. Principles of Nematology. United States Department of Agriculture. Magraw- Hill Book Company, INC. New York, 1961, pp 552.
80. Torrado JM., Castaño J. 2009. Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos. *Agronomía Colombiana* 27(2):237-244.
81. Trouvelot, A; Kough, J.L y Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un systeme radiculaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. **En** Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. Gianinazzi-Pearson, V. & Gianinazzi, S (eds). INRA, Paris pp: 101-109.
82. Varón de Agudelo, F., Castillo, G. P. 2001. Seminario taller sobre identificación de nematodos de importancia agrícola – Guía Práctica ASCOLFI. Palmira.
83. Velásquez E., Lavelle P & Andrade M. 2007. GIQS: a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 3066-3080.

84. Velásquez E., Lavelle P., Rendeiro C., Martins M., Barot S & Grimaldi M. 2008. Cambios en las comunidades de las plantas influenciados por la macro agregación del suelo a través de la actividad de la macrofauna del suelo en la amazonia brasilera. http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Painel3_VelasquezE.pdf
85. Velásquez E., Pelosi C., Brunet D., Grimaldi M., Martins M., Rendeiro A., Barrios E. & Lavelle P. 2006. This ped is my ped: visual separation and NIRS spectra allow determination of the origins of soil macro-aggregates. *Pedobiología*, 51: 75-87
86. Villenave C., Rabary B., Kichenin E., Djigal D., Blanchart E. 2010. Earthworms and Plant Residues Modify Nematodes in Tropical Cropping Soils (Madagascar): A Mesocosm Experiment. *Applied and Environmental Soil Science*, Volume 2010, Article ID 323640, 7 pages.
87. Wurst Susanne. 2010. Effects of earthworms on above- and belowground herbivores Review *Applied Soil Ecology* 45 (2010) 123–130.
88. Yardim E., Arancon N., Edwards C., Oliver T & Byrne R. 2006. Suppression of tomato hornworm (*Manduca quinquemaculata*) and cucumber beetles (*Acalymma vittatum* and *Diabrotica undecimpunctata*) populations and damage by vermicomposts. *Pedobiologia*, 50, 23-29
89. Yeates, GW. 1981. Soil nematode population depressed in the presence of earthworms. *Pedobiologia*, 22. 191-195.
90. Yeates, GW., Dando, JL., Shepherd, TG. 2002. Pressure plate studies to determine how moisture affects access of bacterial-feeding nematodes to food in soil. *European Journal of Soil Science* 53: 355-365.

ANEXOS

Anexo A. Protocolo Tinción de micorrizas con tinta Sheaffer

1. Las raíces se deben lavar para eliminar todo el suelo que tienen adherido a ellas.
2. Se toman preferiblemente las raíces más delgadas que se tenga en la muestra.
3. Las raíces se llevan al baño de maría en un tubo de vidrio con una solución de KOH al 10 %, se dejan por 15 minutos a una temperatura entre 70° y 90° C.
4. Después de dejar enfriar el tubo con las raíces se descarta el resto de la solución y agregamos Peróxido de hidrógeno de 1 a 2ml, se dejan hasta que salgan burbujas y las raíces floten.
5. Las raíces se ponen sobre un tamiz en el cual se descarta el H_2O_2 , y las lavamos con agua corriente.
6. Las raíces se devuelven al tubo donde se les adiciona una solución de tinta negra Sheaffer al 5 % en vinagre puro comercial.
7. Se lleva nuevamente el tubo a baño de maría que debe estar entre 90 y 100 ° C de temperatura durante 10 minutos.

Las raíces se dejan enfriar y se lavan sobre un tamiz con agua corriente, se conserva en agua en el mismo tubo hasta montar en placas para su posterior lectura.

Anexo B. Tabla 7. Densidad de macrofauna para los tiempos.

Tiempo*	Lixiviado**	Tratamiento***	n	Endogee	Epigee	Arachnida	Blattoptera	Coleoptera	Col-Larv	Dermaptera	Diptera_larva	Hemiptera	Homoptera	Isopodo	Lep-larva	Mollusca	Chilopoda	Diplopoda	Orthoptera	Thysanura	Formicidae
0	SL	SITIO 1	3	5	75	0	0	48	0	0	0	21	0	0	0	0	21	53	16	16	7392
0	SL	SITIO 2	3	5	53	0	0	85	0	0	0	0	16	0	0	0	96	224	0	11	4453
0	SL	SITIO 3	3	0	144	0	21	91	0	0	0	0	0	0	0	16	0	5	0	85	6112
0	SL	SITIO 4	3	0	27	0	0	69	0	0	0	0	11	0	0	0	155	75	0	27	5611
0	SL	SITIO 5	3	0	283	0	11	53	0	5	0	0	5	0	0	5	53	155	0	0	1285
0	SL	SITIO 6	3	16	48	0	16	53	0	0	0	5	5	0	5	0		80	0	43	5888
0	SL	SITIO 7	3	0	32	5	0	43	0	0	0	5	16	0	0	5	11	288	0	37	1488
10	SL	Testigo	3	0	0	0	23	18	25	0	2	4	32	0	11	0	0	12	2	0	1269
10	SL	Micoriz	3	11	0	0	0	43	43	0	37	0	5	0	11	0	0	0	0	0	837
10	SL	F_B_O_F	3	91	0	16	5	11	27	5	0	5	0	11	5	0	0	0	0	16	1301
10	L	Micoriz	3	37	11	0	0	64	43	0	5	11	11	0	0	0	5	32	0	0	2576
10	SL	Micor_Lomb	3	32	0	0	27	96	43	0	16	21	0	0	21	0	21	16	5	0	283
10	L	Lombri	3	27	0	5	5	75	53	0	37	16	27	0	16	0	0	48	21	0	299
10	L	Micor_Lomb	3	11	0	5	5	16	32	0	5	11	107	11	5	5	16	59	53	0	245
10	SL	Lombri	3	133	5	5	64	69	64	0	0	0	16	0	16	0	5	27	0	0	2501
10	SL	F_B_O_D	3	1669	53	37	85	69	32	27	0	53	0	11	21	5	139	32	5	53	480

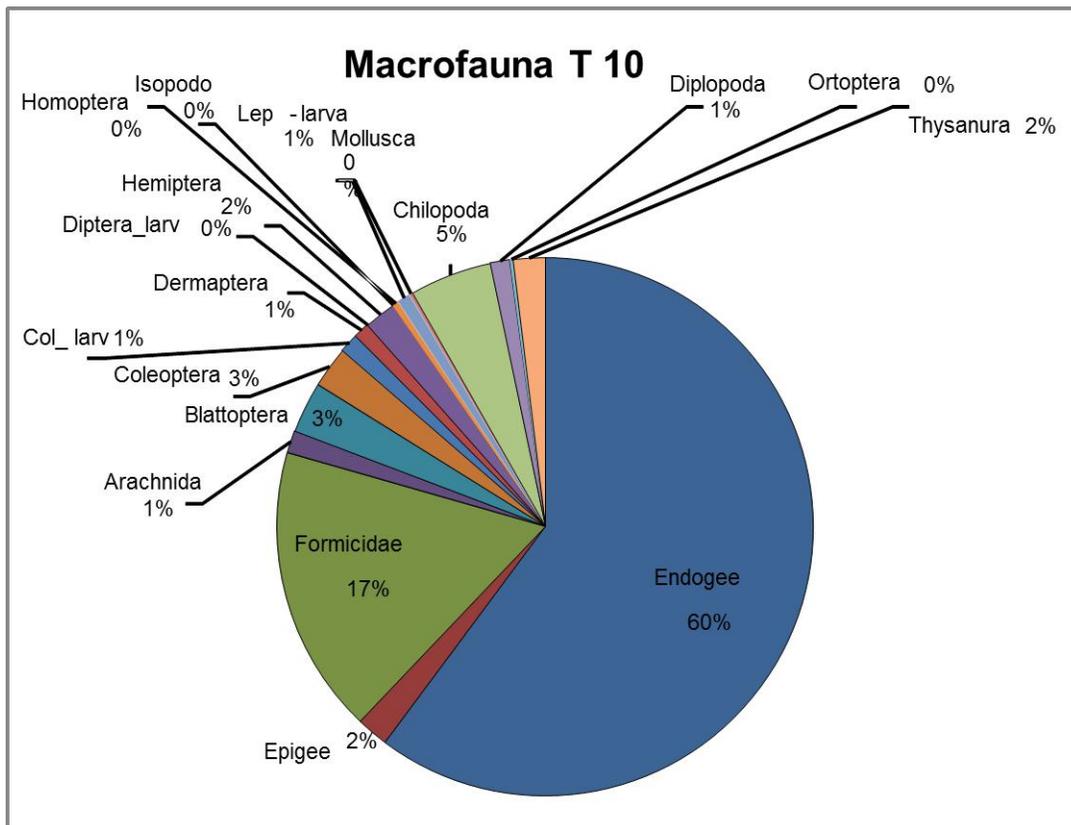
* Tiempos de muestreo 0 = Tiempo cero , etapa inicial del muestreo; 10 = Diez meses despues del muestreo.

** Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

***Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombri), Micorriza(Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_D= Fuera de la Trinchera

n = numero de sitios para el promedio

Anexo C. Figura 21. Porcentaje de Macrofauna 10 Meses.



Anexo D. Tabla 8 Análisis químicos realizados a los 10 meses

Lixiv*	Tratamientos**	n=3	pH(Un)	MO (g/kg)	P-Brayll (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Al (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	CIC (cmol/kg)	S (mg/kg)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Densidad real g/cc	Densidad Aparente g/cc	% Humedad
L	Lombric	R	(5,6-5,7)	(46,6-58,4)	(8,7-30,8)	(1,8-2,4)	(2,4-6,3)	(1,0-1,3)	0,000	(0-0,1)	(17,2-22,1)	(47,4-125,9)	(3,1-5,7)	(3,9-8,3)	(6,6-22,1)	(2,1-2,8)	(4,9-15,8)	(2,4-2,5)	(0,8-0,9)	(28,7-34,8)
		P	5,677	53,678	44,403	2,066	4,737	1,184	0,000	0,048	20,000	78,883	4,141	5,521	14,052	2,479	10,245	2,447	0,880	32,300
L	Micorriza	R	(5,2-6,0)	(53,5-70,6)	(18,5-24,7)	(1,6-2,5)	(4,4-9,4)	(0,8-1,7)	(0,0-0,4)	(0,0-0,1)	(18,6-23,3)	(52,5-58,0)	(2,7-6,6)	(3,6-10,2)	(14,5-16,5)	(1,3-4,7)	(9,0-12,3)	(2,5-2,6)	(0,9-1,1)	(27,0-36,4)
		P	5,593	63,186	21,262	1,930	6,274	1,203	0,133	0,029	20,833	54,617	4,277	6,747	15,717	2,753	10,803	2,543	0,970	31,770
L	Mic_Lombric	R	(5,9-6,0)	(61,4-66,4)	(25,6-44,4)	(1,6-3,2)	(5,0-7,3)	(1,4-1,8)	0,000	(0-0,1)	(20,6-22,0)	(67,2-95,9)	(3,4-8,9)	(2,7-5,0)	(11,8-15,7)	(0,8-3,8)	(8,6-25,5)	(2,4-2,6)	(0,9-1,0)	(34,5-43,9)
		P	5,910	64,511	31,905	2,262	6,494	1,591	0,000	0,064	21,467	72,918	6,801	3,630	14,120	2,202	16,675	2,467	0,877	38,360
SL	F. B. O	R	(5,3-5,8)	(50,5-68,2)	(11,8-38,8)	(1,5-2,5)	(3,6-7,0)	(0,8-1,5)	(0-0,2)	0,000	(19,6-21,1)	(52,5-95,5)	(3-9,5)	(4,3-6,1)	(8,3-18,1)	(1,1-4,1)	(3,6-11,1)	(2,5-2,6)	(0,9-1,1)	(9,6-32,1)
		P	5,557	58,213	22,058	1,917	4,954	1,195	0,067	0,025	20,233	71,204	6,574	4,966	13,699	2,891	6,483	2,543	1,013	23,193
SL	Lombric	R	(5,2-5,2)	(57,2-76,3)	(17,9-63,7)	(1-1,4)	(3,5-5,3)	(0,9-1,3)	(0,2-0,5)	0,000	(18,8-22,0)	(80,3-175,5)	(3,5-7,3)	(3,9-8,8)	(9,2-16,7)	(1,6-3,9)	(6,1-15,9)	(2,5-2,5)	(0,9-1,1)	(30,5-36,9)
		P	5,180	65,740	45,396	1,202	4,475	1,092	0,367	0,000	20,400	135,159	5,585	6,089	12,885	2,728	9,592	2,507	1,013	33,153
SL	Micorriza	R	(4,9-5,5)	(46,9-63,9)	(7,7-39,3)	(1,2-1,5)	(2,4-5,5)	(0,5-0,9)	(0,2-0,9)	0,000	(18,2-20,3)	(40,8-90,9)	(2,7-2,9)	(4,8-11,6)	(7,1-16,0)	(1,1-2,6)	(2,4-5,4)	(2,4-2,6)	(0,9-1,1)	(26,3-35,2)
		P	5,167	57,032	22,068	1,322	3,634	0,653	0,600	0,000	19,167	66,063	2,815	7,187	11,220	1,848	3,526	2,507	0,973	31,447
SL	Mic_Lombric	R	(5,4-5,8)	(41,6-65,5)	(50,2-59,4)	(1,8-2,3)	(4-6,6)	(0,8-1,6)	(0-0,2)	(0-0,1)	(16,9-20,0)	(52,0-58,0)	(3,3-6,1)	(5,1-7,4)	(11,2-21,8)	(0,6-2,1)	(3,3-7,6)	(2,5-2,6)	(0,9-1,1)	(27,7-35,5)
		P	5,537	57,273	53,757	1,996	5,474	1,262	0,117	0,037	18,667	54,923	4,295	6,073	16,081	1,146	6,588	2,507	1,047	31,090
SL	Testigo	R	(5,1-5,6)	(47,159,8)	(15,4-31,3)	(,9-1,8)	(3,-6,6)	(0,6-0,9)	(0-0,8)	0,000	18,6-25,0	(36,4-60,8)	(1,1-1,6)	(4,9-10,5)	(9,1-12,9)	(0,8-4,5)	(1,9-2,5)	(2,5-2,6)	(0,9-1,1)	(28,9-33,3)
		P	5,267	54,049	21,753	1,232	4,293	0,703	0,500	0,011	21,567	46,722	1,311	7,918	11,008	2,241	2,215	2,550	0,977	30,477

* Tratamiento con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL)

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombric), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.)

n = numero de sitios para el Promedio; R = Rango; P= Promedio

MO = Materia Orgánica; P-Brayll = Fósforo; K= Potasio; Ca=Calcio; Mg = Magnesio; Al= Aluminio; Na =Sodio ; S= Azufre; B= Boro; Fe= Hierro; Mn= Manganeso; Cu = Cobre; Zn = Zinc

Anexo E. Tabla 9 Promedios de Nematodos y Esporas del Suelo en Dos Tiempos.

Tiempo (Meses)	Lixiviado *	Tratamiento **	<i>Radopholus sp</i>	<i>Meloidogyne sp</i>	<i>elicotylenchus s</i>	<i>Tylenchus sp</i>	<i>Pratylenchus sp</i>	<i>Aphelenchus sp</i>	<i>Acrobeles sp</i>	<i>Rhabditidae</i>	<i>Dorilamidae</i>	<i>Plectidea</i>	FITOPARÁSITOS	SAPRÓFITOS	Nº
															Esporas/100 g.s.
0	L	Lombri	0	30	69	0	0	6	10	40	20	0	105	70	155
0	L	Micor_Lomb	0	20	70	0	0	0	10	70	10	20	90	110	277
0	L	Micoriz	0	43	64	0	0	0	10	63	0	30	107	103	158
0	SL	F_B_O	0	15	85	0	0	0	0	20	0	10	100	30	228
0	SL	Lombri	0	20	90	0	0	0	0	50	0	0	110	50	312
0	SL	Micor_Lomb	0	14	69	0	0	0	0	40	0	0	83	40	163
0	SL	Micoriz	0	10	48	20	0	0	20	30	0	0	78	60	207
10	L	Lombricop	200	22	155	9	44	5	24	3	0	0	435	27	388
10	L	Mico + Lombri	0	1275	233	17	0	50	33	92	58	8	1575	200	994
10	L	Micorriza	304	15	172	16	72	5	24	5	0	0	583	29	498
10	SL	F_B_O_D	338	21	287	2	43	3	21	3	0	0	695	24	325
10	SL	F_B_O_F	487	23	180	19	61	5	30	3	0	0	776	33	405
10	SL	Lombricop	0	613	1077	3	3	0	3	165	42	33	1697	243	819
10	SL	Mico + Lombri	259	23	349	12	78	2	8	6	0	0	721	14	543
10	SL	Micorriza	172	9	184	3	42	0	22	9	0	0	410	31	663
10	SL	Productor	310	3	152	7	51	0	13	5	0	0	523	17	727

* Tratamiento con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombric), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_F = Fuera de la Trinchera

Promedio con n = 3

Anexo F. Tabla 10 medias Nematodos y Esporas dentro de los agregados del suelo.

Tiempo	Lixiviado *	Tratamiento **	Agregado	<i>Pratilenchus</i>	<i>Helicotilenchus</i>	<i>Radophulos s.</i>	<i>Tylenchus</i>	<i>Meloidogyne</i>	<i>Aphelenchus</i>	<i>Dorilamida</i>	<i>Rhaphidite</i>	<i>Acrobeles</i>	<i>Plectidea</i>	<i>Mononchido</i>	N° Esporas/100gr
10	SL	F_B_O_D	AB	0	375	0	0	67	0	33	92	33	0	0	233
10	SL	F_B_O_D	AF	0	1050	0	0	33	42	250	333	100	0	83	478
10	SL	F_B_O_D	AR	33	2278	0	83	828	17	67	267	139	33	0	3402
10	SL	F_B_O_D	SsA	0	667	0	0	250	0	25	142	50	0	0	960
10	SL	F_B_O_F	AB	0	525	0	0	58	17	0	58	8	8	0	210
10	SL	F_B_O_F	AF	0	8	0	0	58	33	0	25	8	0	0	248
10	SL	F_B_O_F	AR	0	325	0	42	175	8	25	125	50	33	8	173
10	SL	F_B_O_F	SsA	0	67	0	0	108	8	8	25	0	0	0	338
10	L	Lombricop	AR	0	1414	41	0	364	57	37	290	207	0	0	313
10	L	Lombricop	AF	0	207	0	53	489	104	22	376	60	0	0	4151
10	L	Lombricop	AB	27	800	27	0	226	53	26	693	120	0	0	584
10	L	Lombricop	SsA	0	199	0	13	106	80	13	146	53	26	0	594
10	SL	Lombricop	AR	0	742	0	0	139	65	0	338	147	0	0	256
10	SL	Lombricop	AF	0	278	13	0	93	114	53	288	344	0	26	248
10	SL	Lombricop	AB	0	253	0	0	200	40	53	373	80	0	0	567
10	SL	Lombricop	SsA	0	80	0	0	67	40	13	320	173	13	0	229
10	SL	Mico_Lombri	AR	13	527	0	0	453	0	13	153	59	0	0	414
10	SL	Mico_Lombri	AF	0	356	0	0	154	13	50	276	13	0	0	508
10	SL	Mico_Lombri	AB	0	333	13	0	200	93	0	266	27	0	0	589
10	SL	Mico_Lombri	SsA	0	373	13	13	107	67	13	133	80	0	13	334
10	L	Mico_Lombri	AR	0	1016	20	49	278	0	0	369	94	0	0	437
10	L	Mico_Lombri	AF	53	478	0	0	114	0	52	649	193	0	0	362
10	L	Mico_Lombri	AB	0	373	40	0	147	13	0	320	13	0	13	428
10	L	Mico_Lombri	SsA	0	266	13	0	53	0	67	506	133	0	0	428
10	SL	Micorriza	AR	0	477	0	0	275	108	13	589	106	0	0	272
10	SL	Micorriza	AF	0	63	0	0	13	100	13	465	273	23	0	233
10	SL	Micorriza	AB	0	159	0	0	40	106	80	359	119	0	0	402
10	SL	Micorriza	SsA	0	159	0	0	27	146	40	479	306	13	0	274
10	L	Micorriza	AR	0	388	0	0	291	85	73	370	89	0	0	581
10	L	Micorriza	AF	0	106	0	0	40	76	13	120	49	0	0	343
10	L	Micorriza	AB	0	439	53	0	67	133	0	120	26	0	13	318
10	L	Micorriza	SsA	0	146	0	0	13	160	13	120	80	0	13	279
10	SL	Testigo	AR	0	1668	0	0	532	0	0	777	46	0	0	683
10	SL	Testigo	AF	0	320	74	0	57	96	28	332	160	13	28	8479
10	SL	Testigo	AB	0	293	53	0	200	133	26	239	93	13	0	150
10	SL	Testigo	SsA	0	239	0	0	67	26	0	320	106	13	13	1741

Promedios con n = 3

*Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombric), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_D= Fuera de la Trinchera
AR = Agregados de Raiz; AB = Agregados Biogénicos; AF = Agregados Físicos; MO = Materia Orgánica; SsA = Suelo sin Agregar; Otros= Piedras (Rocas)

Anexo G. Tabla 11. Composición química de lixiviados de diferentes fincas productoras en el Quindío

No. Muestra	Descripción	pH (null)	C (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	S (mg/L)	B (mg/L)	Na (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	N- NH4 N- NO3	
																(mg/L)	(mg/L)
1	America raquis	8,67	2780,00	420,09	157,95	18185,40	82,92	38,66	111,52	0,83	12,55	2,67	1,25	0,16	0,29	6,98	0,00
2	americas frutas	3,91	11680,00	1781,60	375,68	11343,40	5137,17	824,74	197,37	6,61	22,34	2949,80	23,32	0,11	10,33	212,91	4,92
3	La Diana	8,38	1640,00	278,55	317,16	16332,40	74,75	51,68	149,93	0,86	7,51	2,94	1,39	0,00	0,31	19,20	0,10
4	Santa Elena	9,28	1565,00	249,30	212,00	20937,90	41,37	34,77	183,82	0,67	28,54	1,75	1,01	0,16	0,53	6,27	0,00
5	Ariari	9,36	2690,00	466,58	311,05	26680,90	51,77	51,62	398,46	2,38	6,77	3,82	4,12	0,00	23,36	7,44	0,00
6	Guadualito	9,34	2996,10	893,38	404,93	28383,90	69,11	31,30	206,50	0,56	6,05	3,05	1,91	0,04	0,60	144,64	0,00
7	Guaira	8,58	2160,10	205,10	187,88	15588,50	64,58	43,37	55,72	0,12	6,13	0,50	0,51	0,00	0,06	47,21	0,00
8	La Manigua	8,54	408,90	45,76	11,91	324,80	5,54	2,04	0,00	0,00	4,91	1,62	0,41	0,00	0,27	4,35	2,88
9	Mezcla de rf fm+ ir	8,89	2,67	283,63	367,40	18391,30	379,76	59,82	86,75	2,19	5,40	40,14	0,00	0,00	0,82	32,65	0,00
10	Seudotallo La Diana	8,43	1,29	70,03	66,89	4458,60	44,91	22,65	21,46	0,98	1,46	0,88	0,00	2,23	0,01	24,97	0,00
11	La Yalta	8,97	2,84	217,82	161,59	12749,90	46,89	24,45	87,60	1,16	5,62	0,69	1,11	0,11	0,28	73,24	0,00

rf= roca fosforica; fm = flor de muerto ; ir = Lixiviado de raquis de la finca La Diana

Anexo H. Tabla 12 Promedios de microorganismos para la segunda evaluación después de la siembra

Tiempo (Mes)	Lixiviado *	Tratamiento **	Nmt parasitos 100 gss	Nmt saprof 100 gss	Nmt Fitoparastos/ 100 g Raiz	Nmt Saprofitos /100g Raiz	Nº Esporas/100 g.s.	F %	M%	A%	Micelio externo m/gsh	Micelio externo m/gss
5	SL	F_B_O	23	0	8910	377	1131	89	43	19	25	32
5	L	Lombri	12	0	8011	0	1267	73	28	9	20	27
5	SL	Lombri	6	0	25925	166	879	68	21	2	27	34
5	L	Micor_Lomb	6	0	76201	703	1226	65	29	9	14	18
5	SL	Micor_Lomb	4	0	11685	37	774	61	17	4	23	31
5	L	Micoriz	5	0	574	220	890	72	29	7	17	22
5	SL	Micoriz	4	0	4629	70	1018	85	39	12	25	34
5	SL	Testigo	18	0	5917	148	1236	78	24	3	13	17

* Tratamiento con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombric), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.)

Nmt = Namatodos ; F%= Porcentaje de Frecuencia de Colonizacion de Micorizas; M%= Porcentaje de colonizacion de Micorizas; A%= Porcentaje de arbusculos en la Raiz.

Anexo I. Tabla 13 Promedios de microorganismos para la tercera evaluación después de la siembra

Tiempo (Mes)	Lixiviado	Tratamiento	Namt parasitos 100 gss	Nmatdosaprof 100 gss	Nemt Fitoparastos/ 100 g Raiz	Nemat Saprofitos /100g Raiz	Nº Esporas/100 g.s.	F %	M%	A%	Micelio externo m/gsh	Micelio externo m/gss
10	L	Lombri	695	24	30863	373	388	64	22	7	24	32
10	L	Micor_Lomb	776	33	13674	119	994	74	29	12	25	35
10	L	Micoriz	435	27	106284	633	498	67	26	7	20	28
10	SL	F_B_O_D	2202	242	28931	180	325	85	38	26	16	22
10	SL	F_B_O_F	645	202	15852	47	405	88	40	14	16	21
10	SL	Lombri	721	14	19516	229	819	73	31	12	16	22
10	SL	Micor_Lomb	583	29	20171	180	543	63	26	10	22	30
10	SL	Micoriz	410	31	23446	102	663	74	36	10	28	37
10	SL	Productor	378	17	45852	159	727	57	13	4	19	26

* Tratamiento con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado (SL).

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombric), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.)

Nmt = Namatodos ; F%= Porcentaje de Frecuencia de Colonizacion de Micorizas; M%= Porcentaje de colonizacion de Micorizas; A%= Porcentaje de arbusculos en la Raiz.

Anexo J. Tabla 14 Promedios de los Agregados Biológicos.

Tiempo	n = 3	Lixiv *	Tratamientos **	AR	AF	AB	MO	SsA	Otros						
	R			0,07	11,72	37,50	364,25	464,63	690,65	0,00	4,02	301,29	409,82	0,00	11,53
0	P	SL	F_B_O	4,01	149,84	593,12	1,34	346,99	3,84						
	R			0,00	14,20	32,14	271,20	116,01	586,41	0,00	0,50	326,83	790,59	0,00	0,00
0	P	L	Lombri	5,07	144,68	297,53	0,30	601,32	0,00						
	R			0,00	1,70	39,32	57,01	463,29	781,52	0,35	5,20	435,65	781,52	0,00	0,00
0	P	SL	Lombri	0,57	45,38	599,96	2,04	603,95	0,00						
	R			0,15	41,89	31,14	192,30	144,35	577,55	0,00	7,01	326,83	675,69	0,00	0,00
0	P	L	Micor_Lomb	15,19	115,53	325,43	2,34	475,02	0,00						
	R			0,00	3,53	0,00	119,03	228,36	485,22	0,06	25,31	335,17	740,71	0,00	1,30
0	P	SL	Micor_Lomb	1,32	56,32	372,72	11,92	500,91	0,43						
	R			0,00	5,52	92,67	148,61	240,01	567,72	0,00	0,60	348,03	721,20	0,00	0,00
0	P	L	Micoriz	1,91	127,92	454,22	0,31	498,80	0,00						
	R			0,00	10,15	50,33	135,00	323,25	425,25	0,00	6,03	589,41	707,39	0,00	21,09
0	P	SL	Micoriz	5,30	92,60	364,77	2,68	645,07	7,03						
	R			0,32	6,04	19,95	160,31	584,70	682,61	0,00	3,95	368,51	473,97	0,00	9,93
0	P	SL	Productor	2,76	89,07	620,20	1,35	433,74	3,31						
	R			6,57	27,16	8,10	36,68	264,26	535,11	9,29	26,10	484,07	568,92	0,00	6,00
10	P	SL	F_B_O_D	16,10	24,29	440,82	16,98	528,06	3,67						
	R			15,48	25,30	5,72	135,54	102,33	526,89	10,99	20,85	413,15	682,55	0,00	9,00
10	P	SL	F_B_O_F	21,82	64,81	371,34	14,35	512,29	3,00						
	R			7,36	42,70	42,99	79,76	189,64	197,68		153,93	494,96	635,44	0,00	0,00
10	P	L	Lombri	28,92	61,37	193,66	147,36	565,20	0,00						
	R			3,50	15,45	37,08	71,70	302,51	540,37	2,12	6,21	599,00	699,21	0,00	0,00
10	P	SL	Lombri	8,97	57,15	417,68	3,84	639,29	0,00						
	R			16,01	25,57	25,62	80,50	345,06	440,44	1,00	9,08	599,95	680,92	0,00	0,00
10	P	L	Micor_Lomb	21,68	49,50	385,55	4,42	642,51	0,00						
	R			2,73	11,70	42,94	145,69	439,23	509,49	2,59	43,90	570,38	749,05	0,00	0,00
10	P	SL	Micor_Lomb	6,61	83,66	475,01	16,90	655,19	0,00						
	R			4,99	46,40	28,63	114,56	279,54	510,88	4,16	70,57	549,37	674,26	0,00	0,00
10	P	L	Micoriz	20,34	85,25	430,30	27,24	596,89	0,00						
	R			21,89	27,43	37,13	136,27	247,48	480,08	0,86	13,12	616,23	719,07	0,00	0,00
10	P	SL	Micoriz	23,86	82,55	373,38	6,50	671,32	0,00						
	R			8,96	20,90	24,96	59,02	162,17	415,93	1,39	115,16	608,50	743,67	0,00	0,00
10	P	SL	Productor	14,39	42,78	298,33	40,74	671,81	0,00						

n = numero de sitios para el Promedio; R = Rango ; P= Promedio

*Sitios con aplicación de lixiviado (L) y sin lixiviado

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lombri), Micorriza (Mic), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.); F_B_O_D = Dentro de la Trinchera; F_B_O_F= Fuera de la Trinchera

AR = Agregados de Raiz; AB = Agregados Biogenicos; AF = Agregados Fisicos; MO = Materia Orgánica; SsA = Suelo sin Agregar; Otros= Pieadras (Rocas)

Anexo KTabla 15. Promedios variables asociadas al crecimiento en diferentes edades de la planta.

Tratamiento	Descripcion	Tiempo (dds)	n	No. Hojas	Altura (cm)	Diametro (mm)
1	FBO	0	18	3.89	16.08	13.42
1	FBO	40	18	5.28	21.75	18.20
1	FBO	69	15	6.07	28.07	29.31
1	FBO	105	14	6.14	38.43	41.22
2	Lombri-lix	0	18	3.83	15.62	13.28
2	Lombri-lix	40	18	5.83	18.31	18.35
2	Lombri-lix	69	12	6.67	33.77	32.87
2	Lombri-lix	105	13	7.15	50.31	53.56
3	Lombri	0	18	3.89	16.27	12.92
3	Lombri	40	18	6.00	20.18	20.59
3	Lombri	69	14	6.71	38.89	37.22
3	Lombri	105	12	8.08	64.33	62.68
4	Micor_Lomb_lix	0	18	3.67	15.91	14.65
4	Micor_Lomb_lix	40	18	6.72	20.98	20.12
4	Micor_Lomb_lix	69	13	5.77	29.27	30.85
4	Micor_Lomb_lix	105	11	6.55	48.00	47.53
5	Micor_Lomb	0	18	3.44	16.14	13.82
5	Micor_Lomb	40	17	6.88	20.58	20.32
5	Micor_Lomb	69	11	6.18	29.80	29.87
5	Micor_Lomb	105	11	6.45	45.36	46.07
6	Micoriz_lix	0	18	3.94	14.53	11.85
6	Micoriz_lix	40	16	6.69	19.32	20.27
6	Micoriz_lix	69	10	6.70	31.91	35.04
6	Micoriz_lix	105	9	7.33	45.44	48.33
7	Micoriz	0	18	3.33	16.11	14.84
7	Micoriz	40	18	6.39	18.76	20.33
7	Micoriz	69	9	6.00	27.44	31.10
7	Micoriz	105	7	6.71	46.14	47.86
8	Testigo	0	18	3.50	16.15	14.02
8	Testigo	40	18	5.50	20.33	19.02
8	Testigo	69	13	7.08	34.58	35.52
8	Testigo	105	12	7.50	56.08	58.48

n = numero de sitios para el Promedio

*Sitios con aplicación de lixiviado (lix)

** Descripción de los tratamientos: Lombricompos (Lomb), Micorriza(Micoriz), Fertilización Bio-Orgánica (F.B.O.)

Anexo L. MODELOS PARA VARIABLES ASOCIADAS AL CRECIMIENTO

NO. DE HOJAS

T1

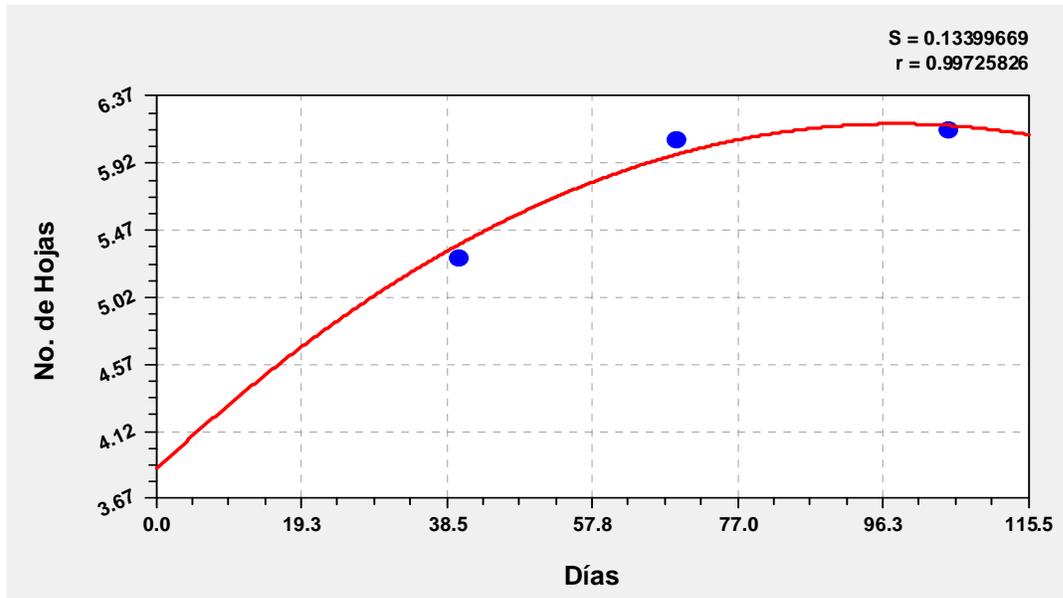
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$;

Coefficient Data:

a = 3.86679624108E+000

b = 4.71901312167E-002

c = -2.40761132214E-004



T2

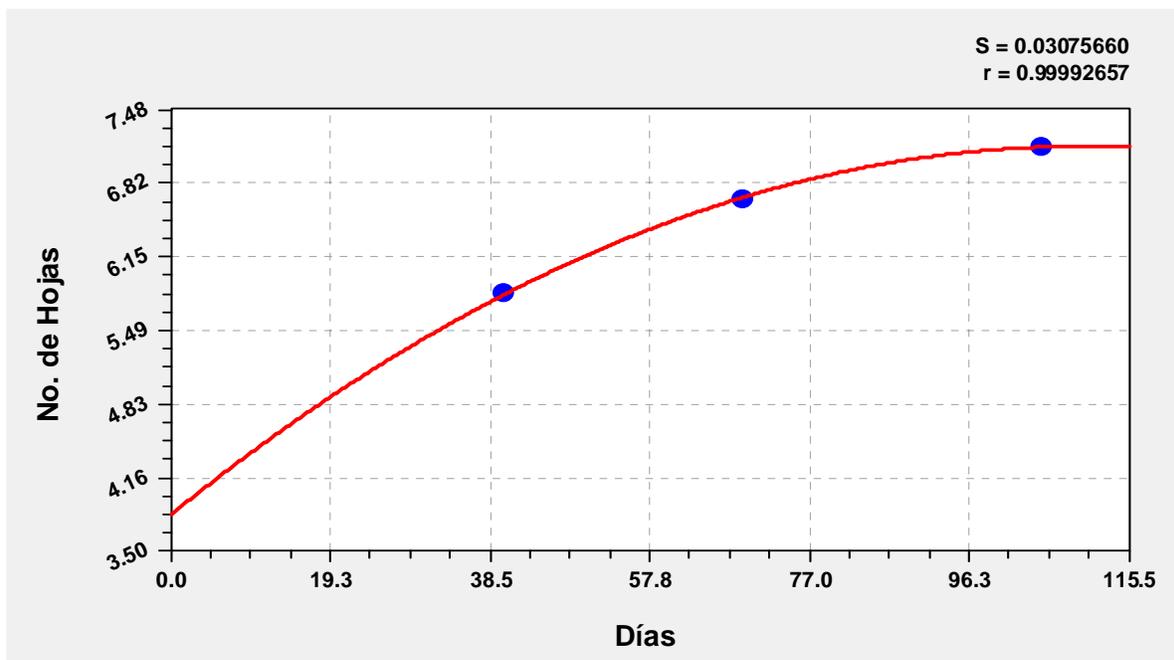
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$

Coefficient Data:

a = 3.83532601791E+000

b = 6.03376027224E-002

c = -2.74562927310E-004



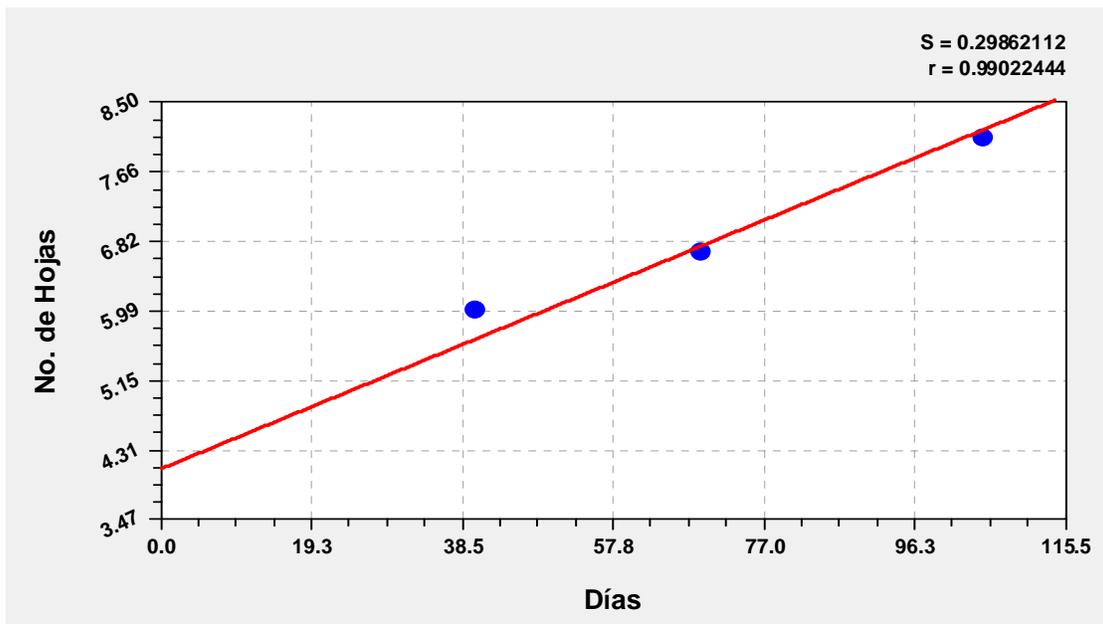
T3

Linear Fit: $y=a+bx$

Coefficient Data:

$a = 4.08830301499E+000$

$b = 3.89102240189E-002$



T4

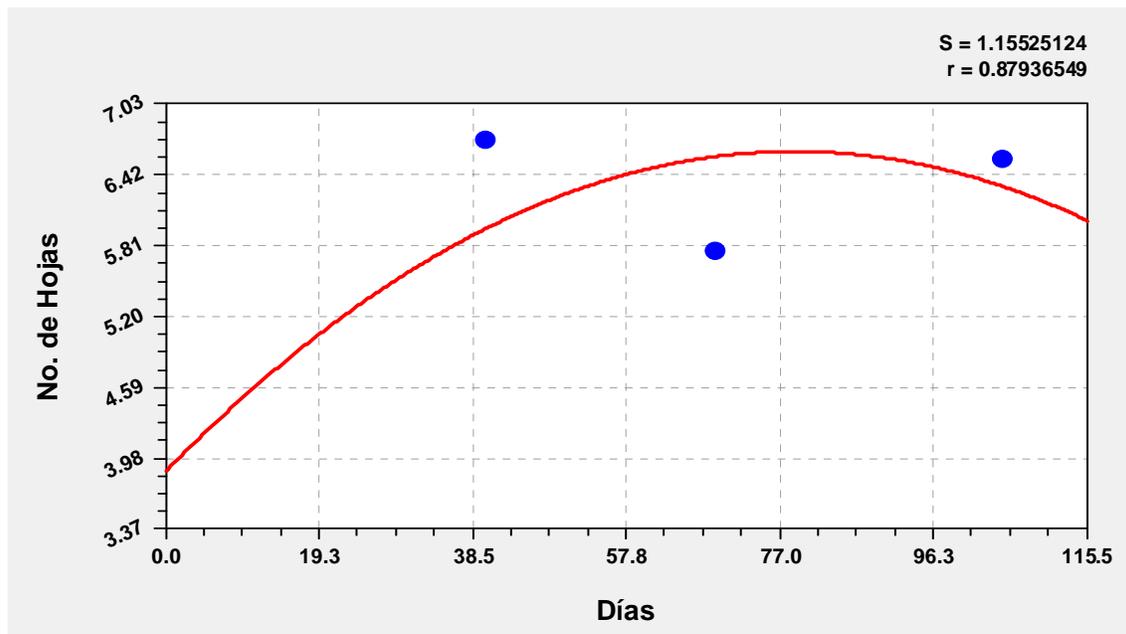
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$

Coefficient Data:

a = 3.87005099135E+000

b = 6.97187559383E-002

c = -4.42310924663E-004



T5

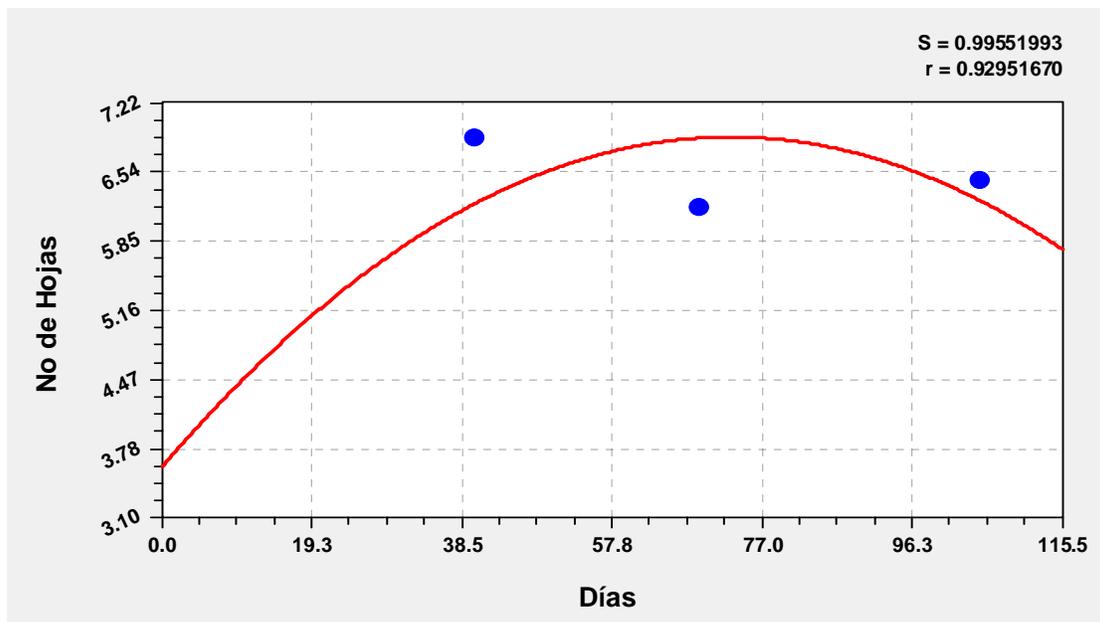
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$

Coefficient Data:

a = 3.61239085504E+000

b = 8.97639369414E-002

c = -6.15958007915E-004



T6

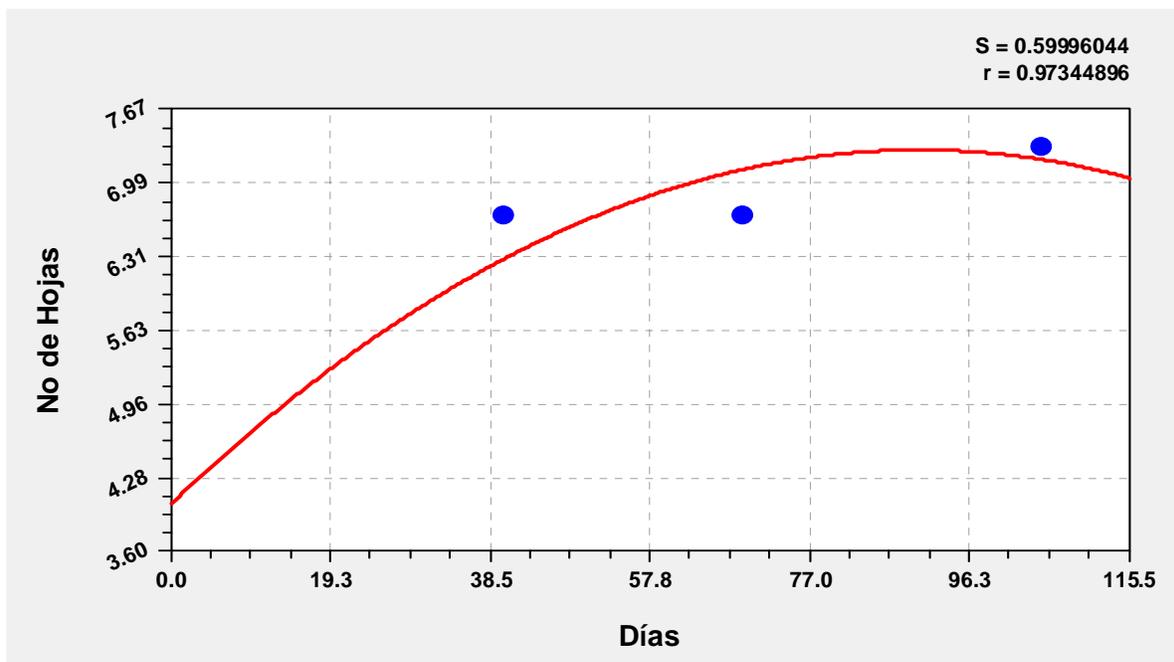
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$

Coefficient Data:

a = 4.04389314234E+000

b = 7.21948409178E-002

c = -4.00625130897E-004



T7

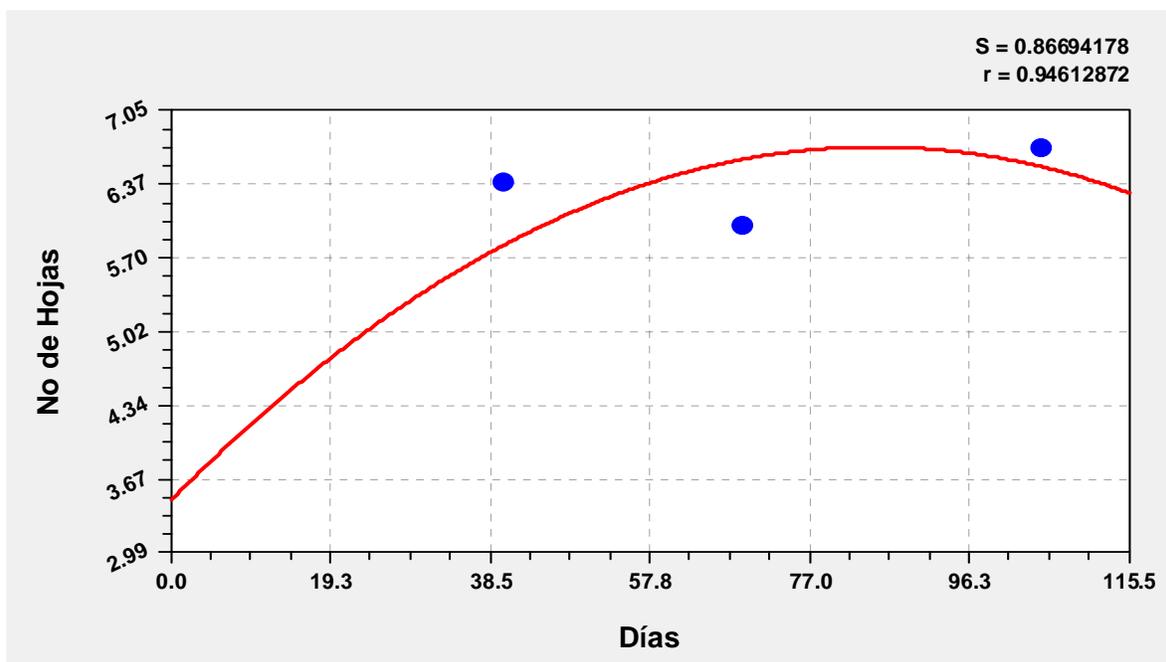
Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$

Coefficient Data:

a = 3.48012540642E+000

b = 7.63200632481E-002

c = -4.49959459379E-004

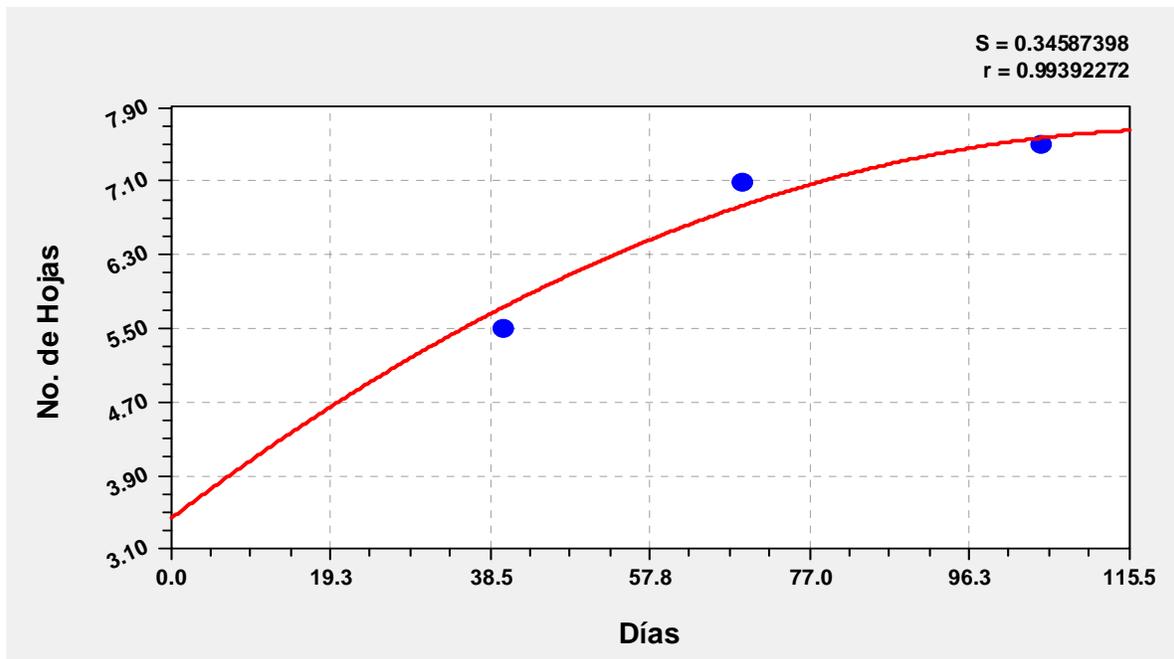


T8 Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$; Coefficient Data:

a = 3.44010616062E+000

b = 6.82763612615E-002

c = -2.75599099991E-004

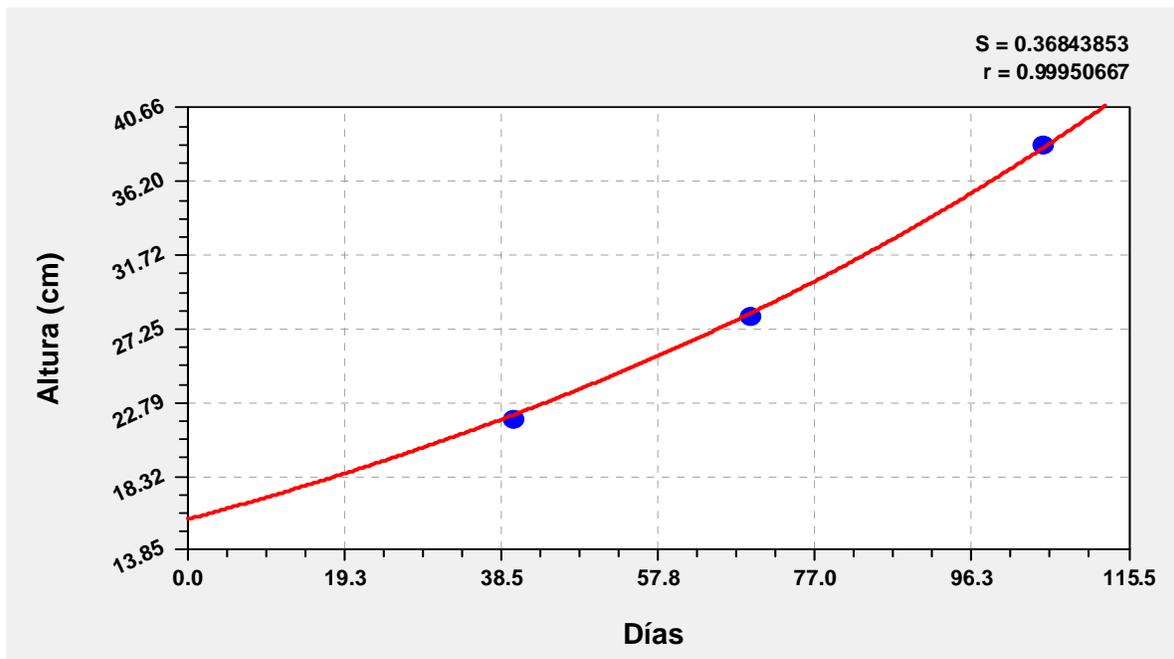


ALTURA

T1 Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.57169137139E+001

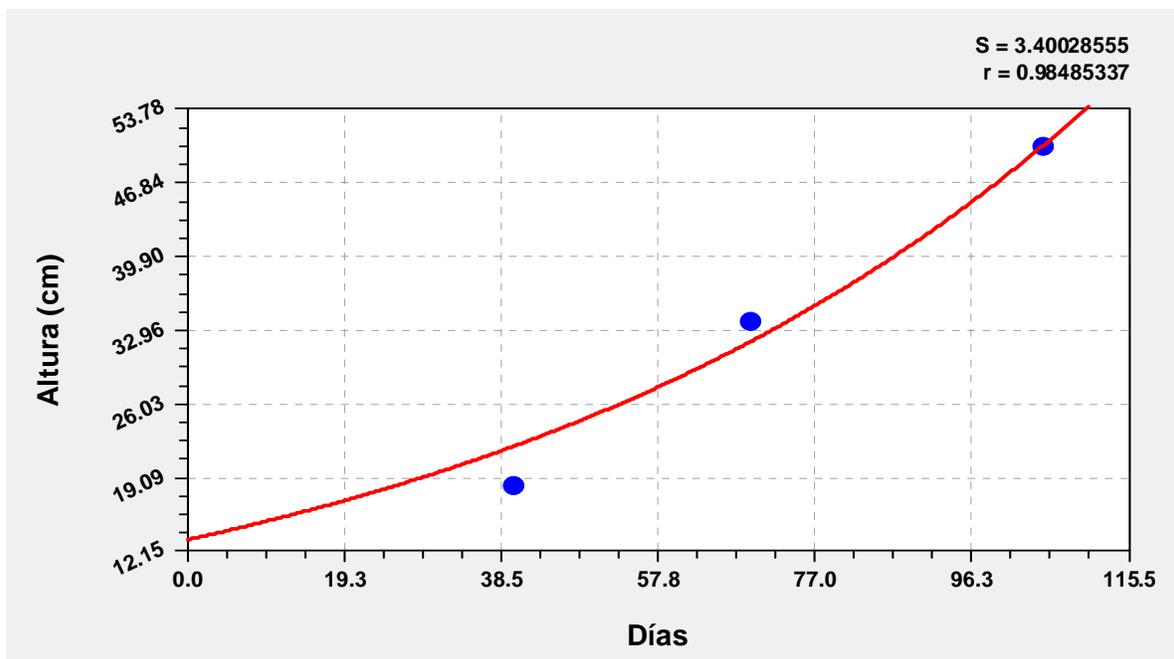
b = 8.48054666465E-003



T2 Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.32719807862E+001

b = 1.27178735382E-002

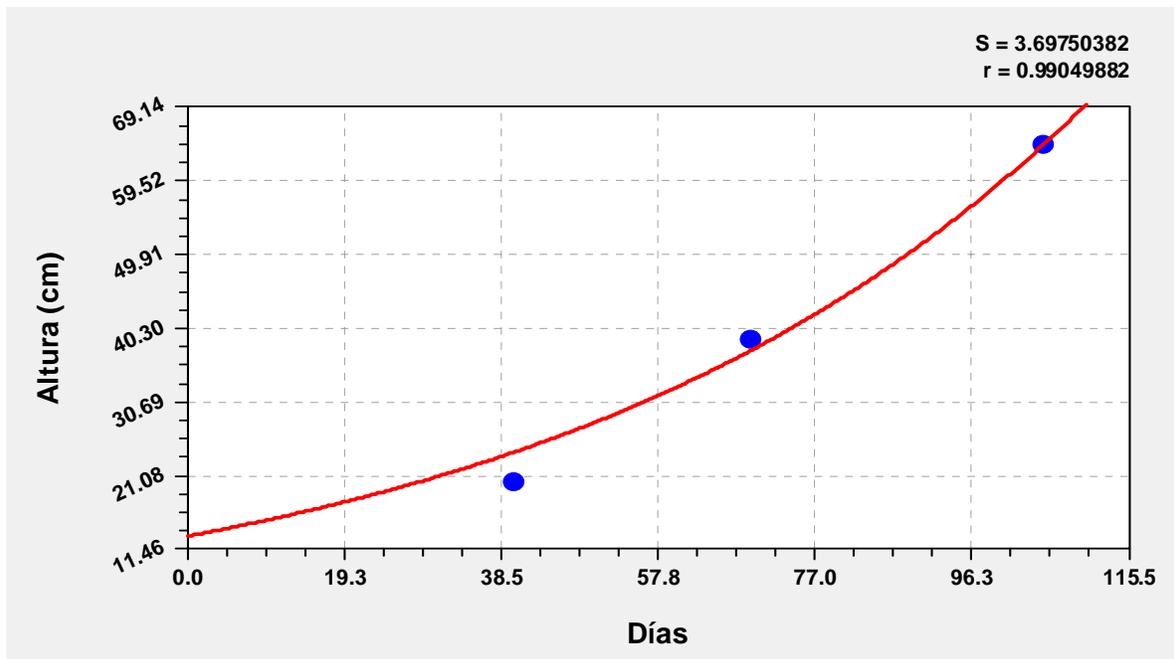


T3 Exponential

Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.32208243412E+001

b = 1.50691567046E-002

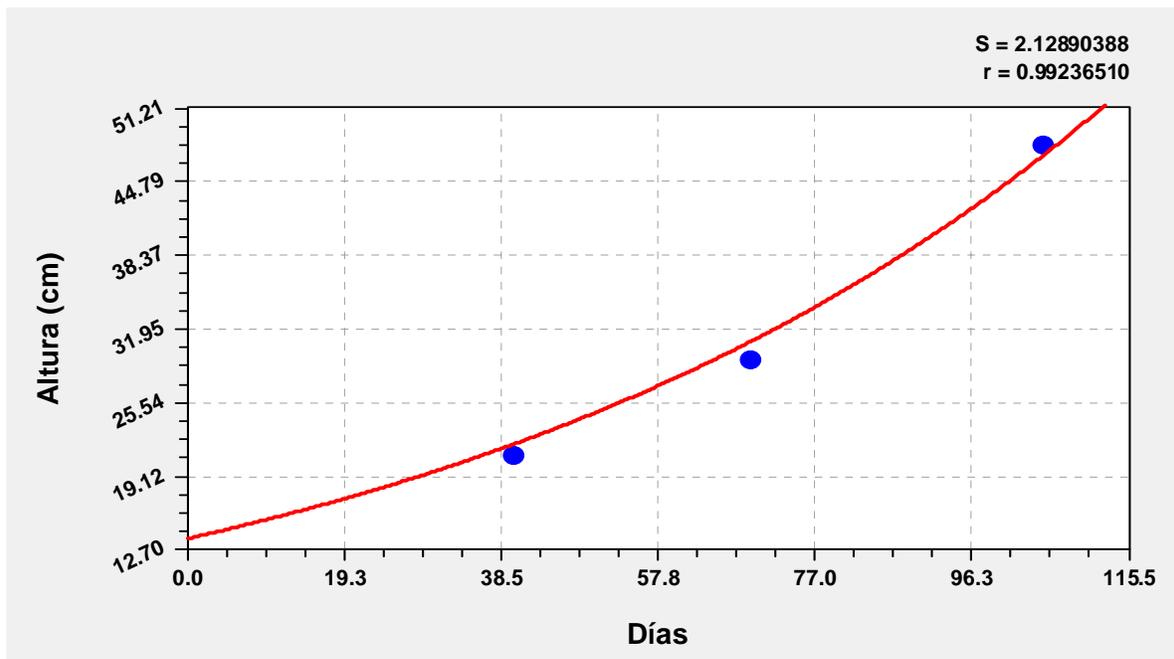


T4

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.37139391049E+001

b = 1.17590081932E-002

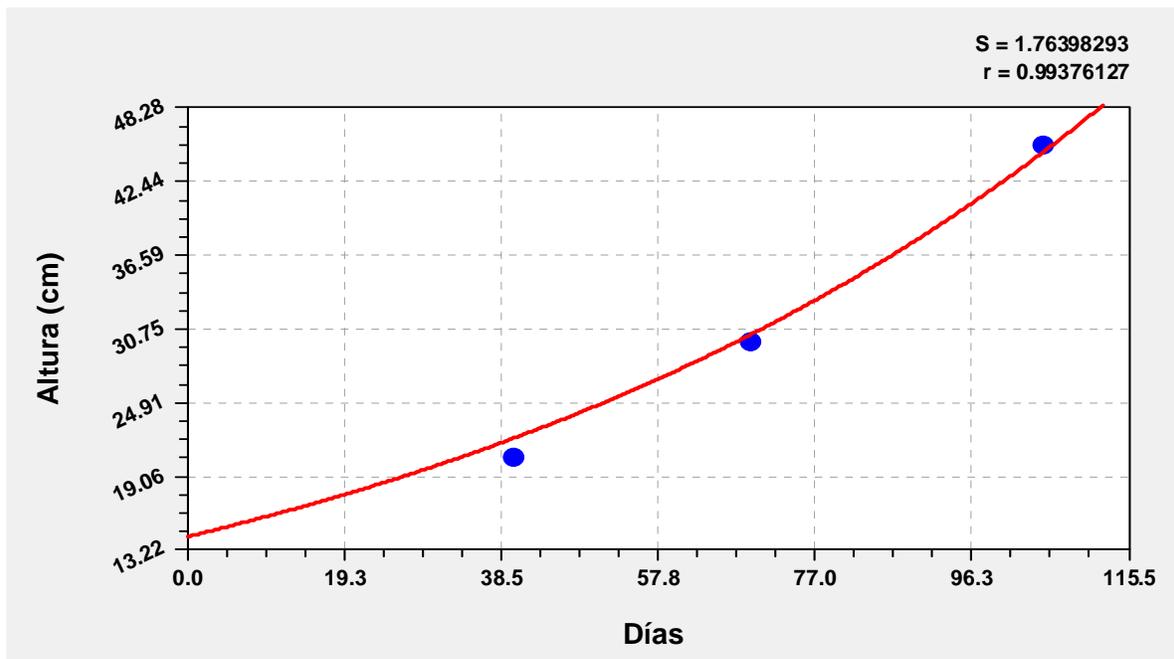


T5

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.43065347914E+001

b = 1.08811134167E-002

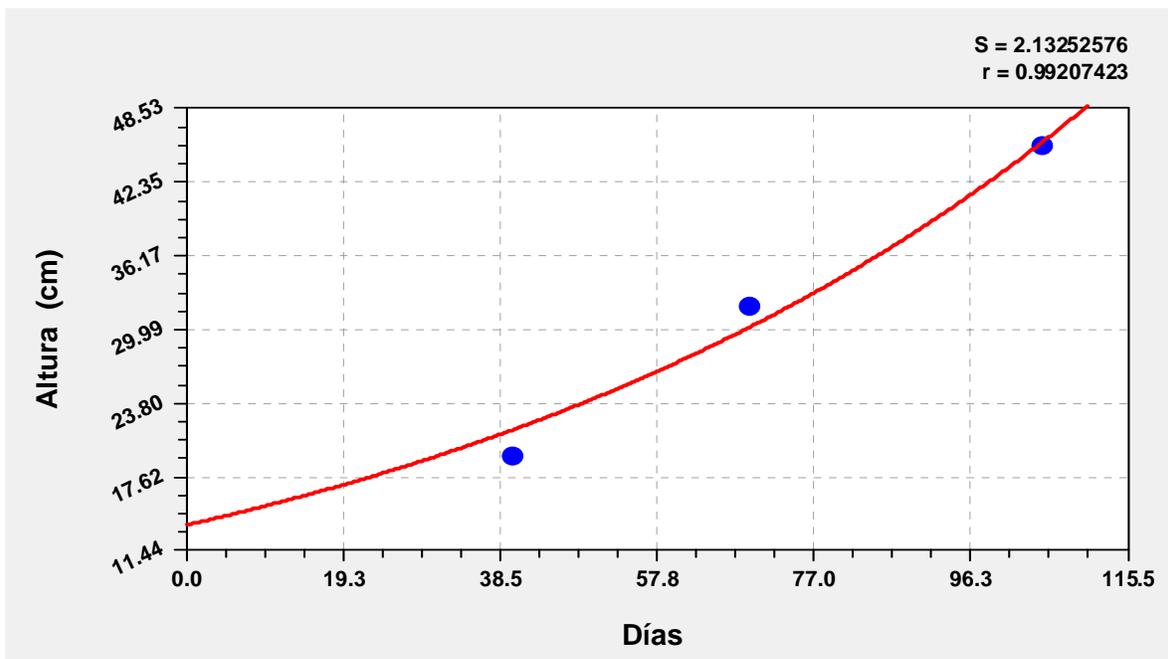


T6

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.36005255943E+001

b = 1.15583981890E-002

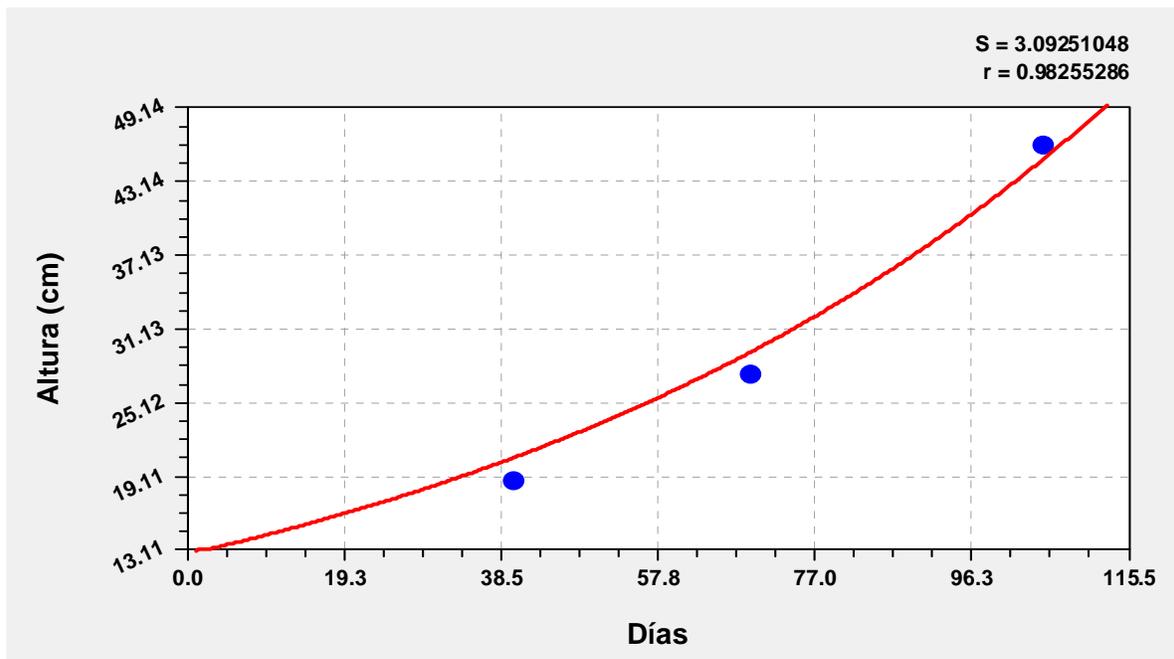


T7

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.27904638639E+001

b = 1.19880803110E-002



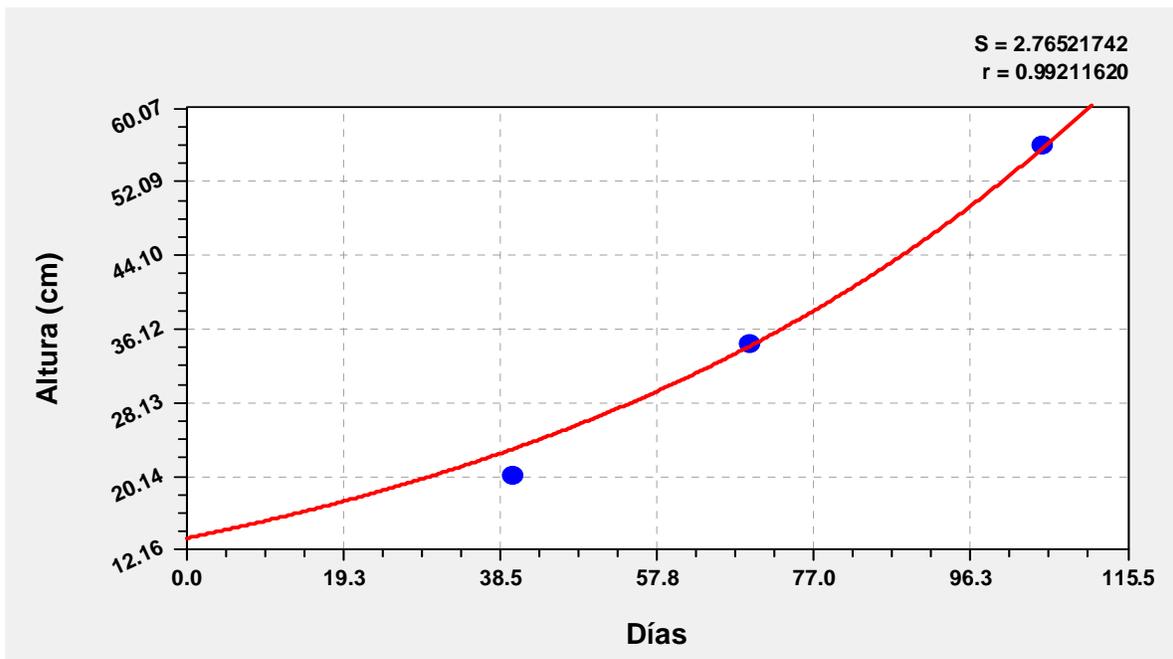
T8

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$;

Coefficient Data:

a = 1.34568040483E+001

b = 1.35404362315E-002



Diámetro

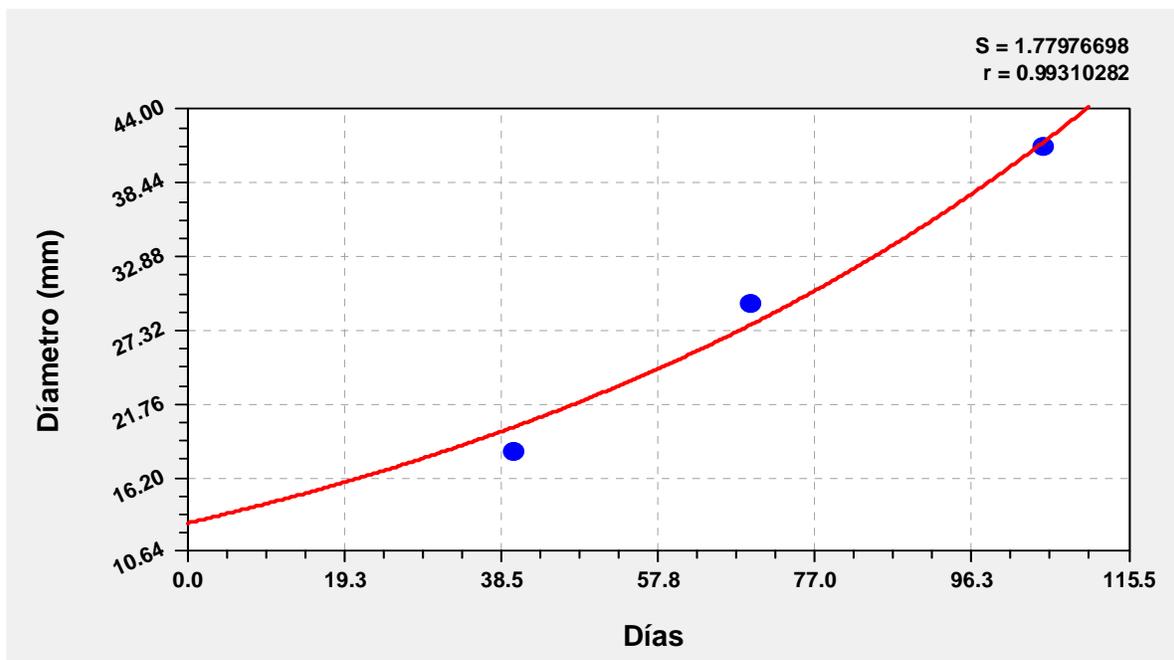
T1

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$;

Coefficient Data:

a = 1.27933419932E+001

b = 1.12223862548E-002



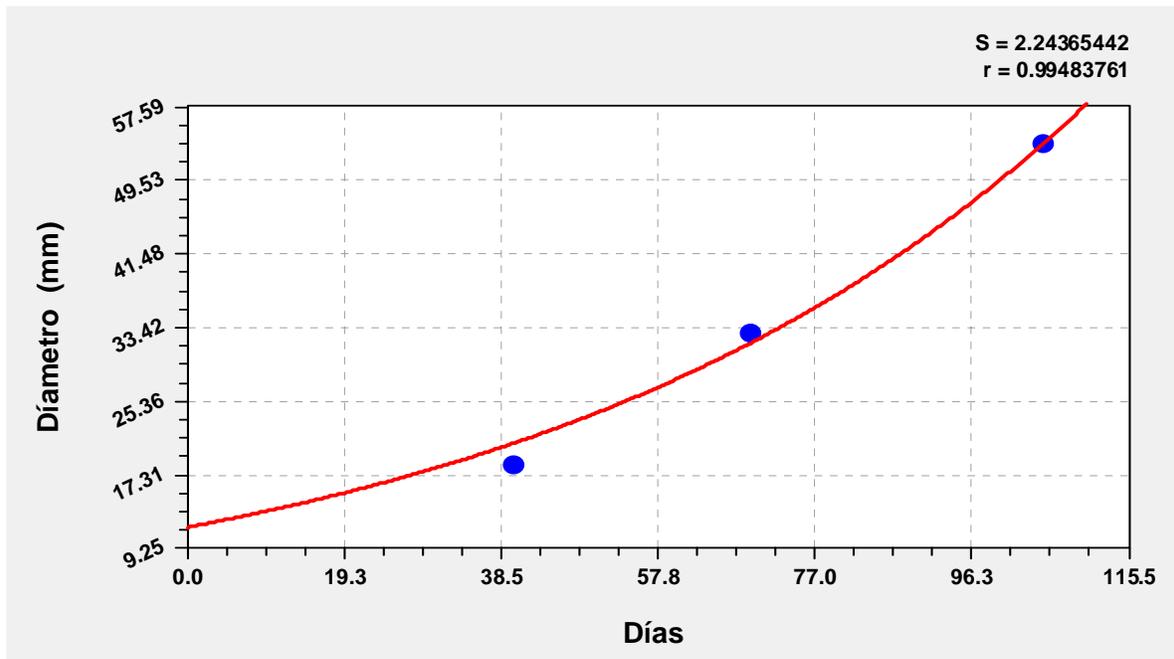
T2

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

a = 1.16152039640E+001

b = 1.45704711329E-002

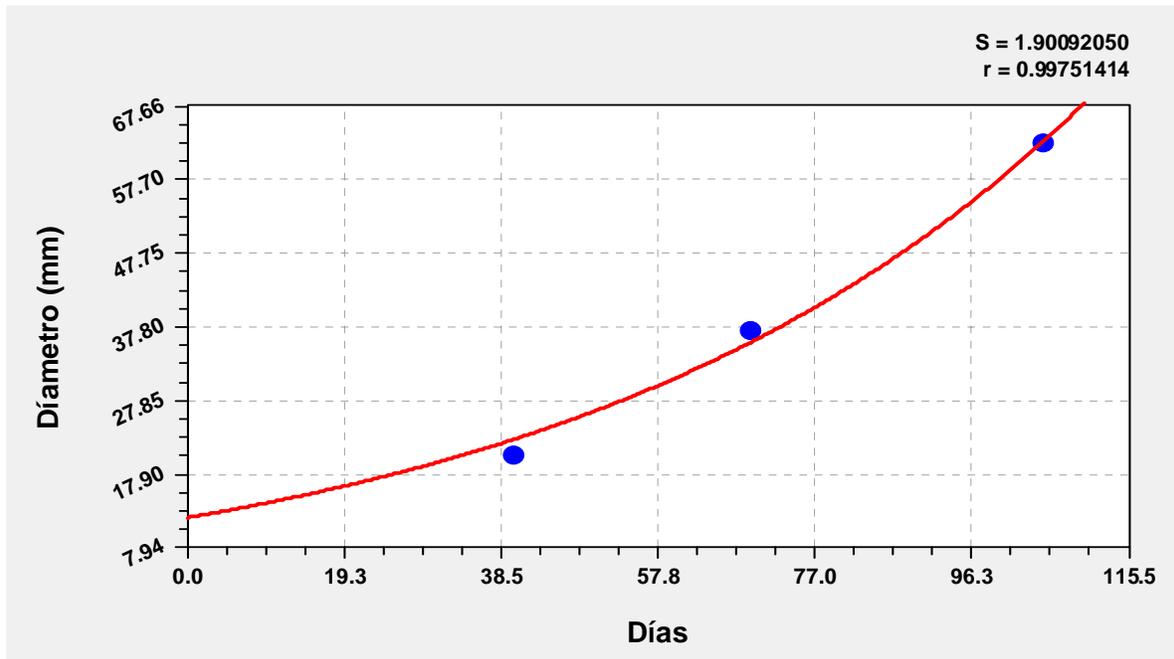


T3

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.20610971191E+001

b = 1.57377613279E-002



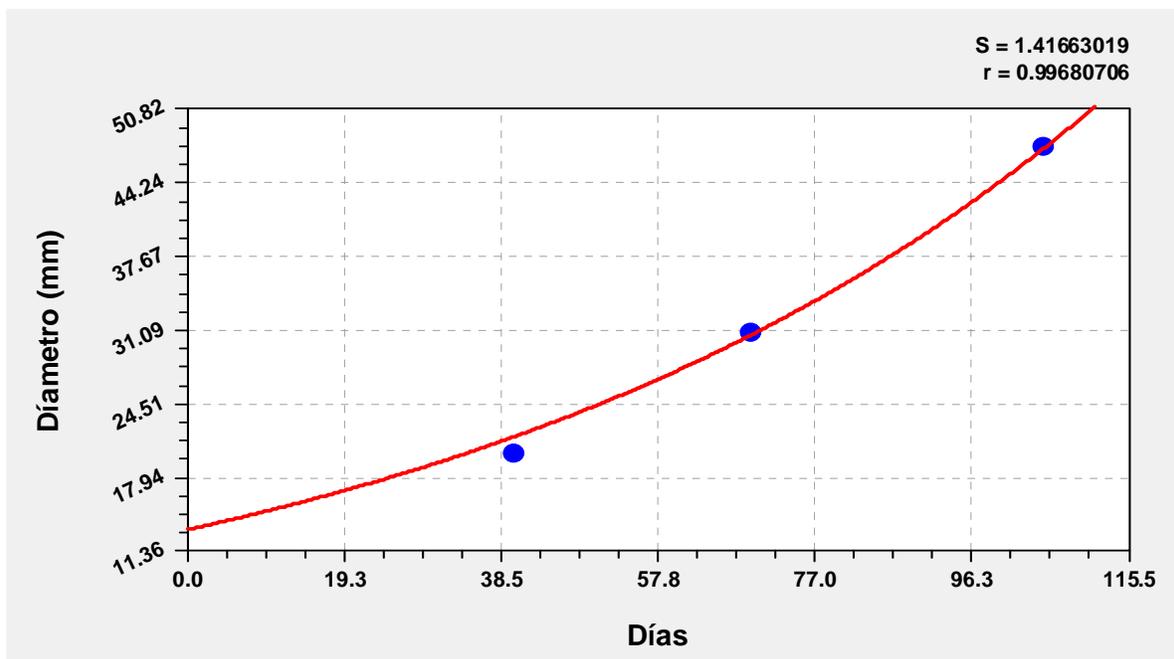
T4

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

a = 1.33211554784E+001

b = 1.20794195651E-002



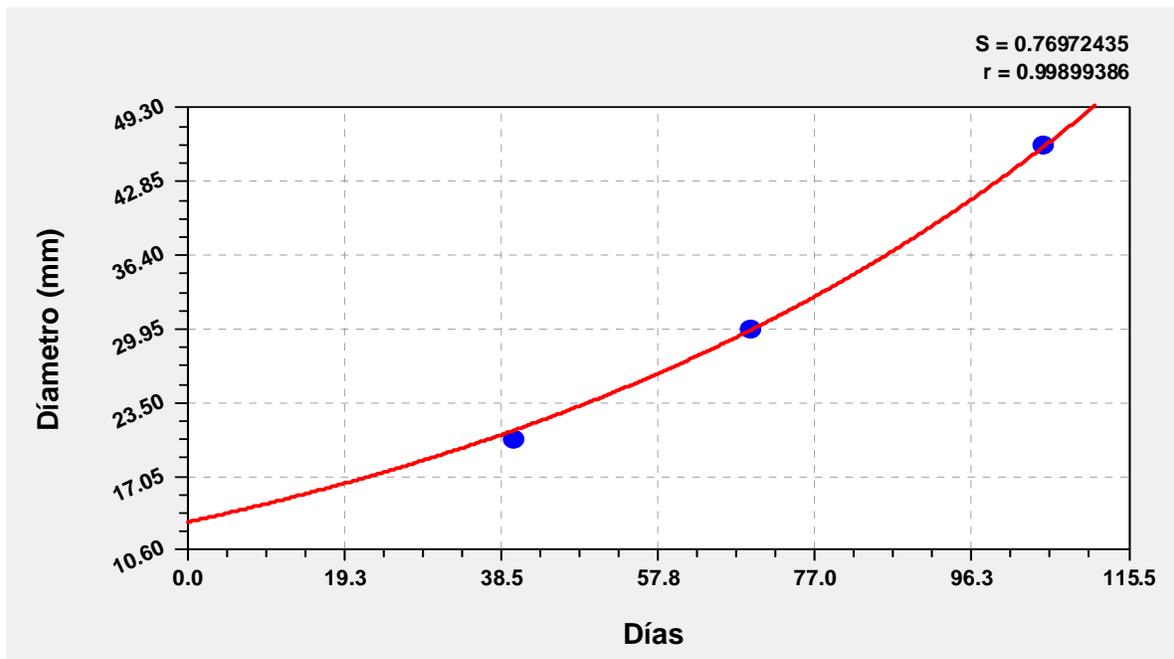
T5

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$;

Coefficient Data:

a = 1.30632344514E+001

b = 1.19771478980E-002

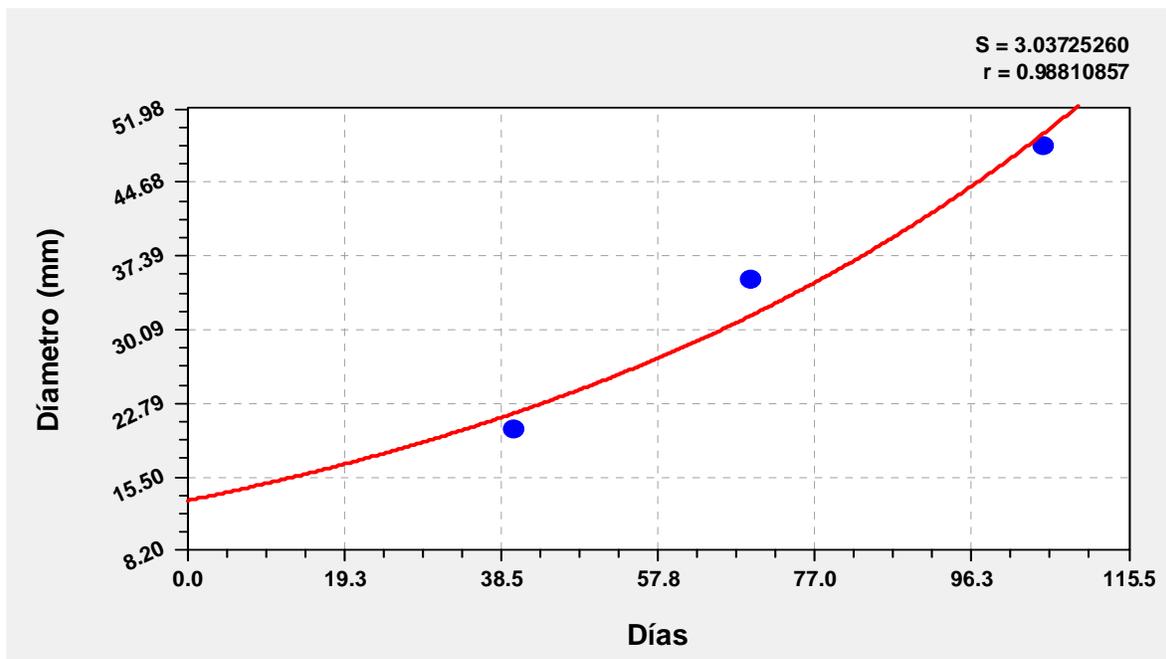


T6

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$; Coefficient Data:

a = 1.31775633346E+001

b = 1.26156827773E-002

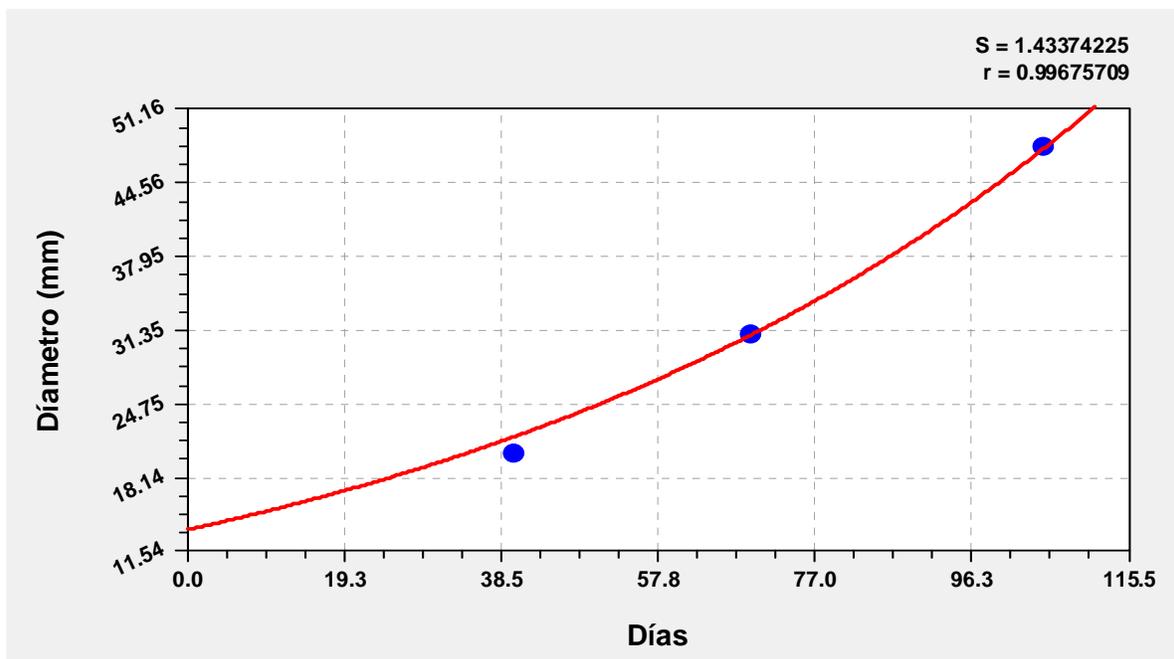


T7 Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$;

Coefficient Data:

a = 1.34876514104E+001

b = 1.20252037816E-002



T8

Exponential Fit: $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

a = 1.20459940036E+001

b = 1.50677441651E-002

