



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

DOCTORADO EN BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

Biodiversidad intraespecífica varietal para mejorar ambientes degradados por monocultivos en *Musáceas*, como medida de control de plagas y enfermedades.

Memoria presentada por:

Daniel Federico Vera Avilés

Para optar al grado de Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona.

Tesis realizada bajo la dirección de:

Dra. Mercè Llugany, Profesora Titular, Fisiología Vegetal (BABVE), Facultad de Biociencias, Universidad Autónoma de Barcelona.

Dra. Carmita Suarez, Profesora Principal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad técnica Estatal de Quevedo – Ecuador.

Dr. Ralph Wills Flowers, Profesor Emérito, Florida A&M University, Tallahassee USA.

Dra. Mercè Llugany i Ollé

Dra. Carmita Suarez Capello

Dr. Ralph Wills Flowers

Daniel Vera Avilés

Bellaterra, Julio de 2017



Esta tesis ha sido financiada por Bioersity International (Italia) y la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador) a través del convenio del proyecto titulado: ***“Mejorar productividad y resiliencia de pequeños Productores, aumentando el uso de la diversidad varietal de sus cultivos como medio de mejorar su producción y el manejo integrado de plagas y enfermedades”***.

Agradecimientos

Quiero comenzar dando gracias a Dios a mi Madre, a mi Esposa e Hijo por darme esta oportunidad y fortaleza de terminar mis estudios de Doctorado, son muchas personas e instituciones que me han ayudado y me han permitido terminar esta etapa de mi vida. A Bioersity International, a la Universidad Tecnica Estatal de Quevedo y al Universidad Autónoma de Barcelona por brindarme la oportunidad y facilidades de realizar mis estudios de Doctorado. Agradecimientos a la Dra. Mercè Llugany y Charlotte Poschenrieder por su gran apoyo a la realización de este trabajo. Un especial agradecimiento a la Dra. Carmita Suarez Capello por su dirección y tutela de esta tesis y el apoyo emocional brindado. Al Dr. Ralp Wills Flowers por sus consejos y codirección.

INDICE

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCION GENERAL.....	1
1.1 Musas en Ecuador.....	1
1.2 Nomenclatura de <i>Musa</i> spp.....	3
1.3 Ecosistemas y el hombre.....	3
1.4 La revolución verde: el cambio de paradigma en agricultura.....	4
1.5 Sistemas agrícolas.....	4
1.5.1 Monocultivos.....	5
1.5.1.1 La expansión de los monocultivos.....	5
1.5.1.2 Problemas ambientales asociados a los monocultivos.....	6
1.5.2 Sistemas agrícolas mixtos.....	6
1.6 La Biodiversidad.....	7
1.6.1 Importancia de la biodiversidad agrícola.....	7
1.7 La Resiliencia.....	8
1.7.1 Uso de indicadores biológicos para medir resiliencia.....	9
1.7.2 Productividad y la resiliencia de los agroecosistemas.....	9
1.8 Plagas y enfermedades de las <i>Musáceas</i>	10
1.8.1 Sigatoka negra (<i>Mycosphaerella Fijiensis</i>).....	10
1.8.1.1 Etiología.....	11
1.8.1.2 Ciclo de vida.....	12
1.8.1.3 Patogénesis.....	13
1.8.1.4 Diseminación.....	14
1.8.1.5 Métodos de control.....	14
1.8.1.6 Resistencia genética.....	15
1.8.2 Nematodos fitoparásitos.....	16
1.8.3 Picudo negro (<i>Cosmopolites sordidus</i>).....	17
1.8.3.1 Origen y distribución.....	17
1.8.3.2 Biología y ciclo de vida.....	18
1.8.3.3 Síntomas producidos en la planta.....	19
1.8.3.4 Resistencia varietal.....	19
1.9 Microorganismos del suelo.....	19
1.9.1 Diversidad microbiana del suelo.....	20
2. OBJETIVOS.....	23

3. MATERIAL Y METODOS	24
3.1 Descripción de las localidades experimentales.....	25
3.2 Descripción de las parcelas.....	27
3.2.1 Parcelas establecidas con anterioridad del estudio.....	27
3.2.2 Parcelas establecidas para el estudio.....	28
3.2.3 Labores realizadas en las parcelas.....	30
3.3 Recogida de muestras.....	30
3.4 Parámetros estudiados.....	31
3.4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	31
3.4.2 Productividad.....	31
3.4.3 Relación de equivalencia de la tierra.....	31
3.4.4 Índice de infección de Sigatoka negra (<i>Mycosphaerella fijiensis</i>).....	32
3.4.5 Población de nematodos fitoparásitos.....	33
3.4.6 Incidencia de Picudo negro (<i>Cosmopolites sordidus</i> Germar).....	35
3.4.7 Carga microbiana del suelo.....	36
3.4.8 Diversidad de artrópodos.....	37
3.4.9 Abundancia de lombrices.....	38
3.4.10 Intensidad de malezas.....	38
3.5 Análisis de datos.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
4.1 Indicadores de resiliencia de los agroecosistemas.....	41
4.1.1 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	41
4.1.2 Diversidad y abundancia de artrópodos.....	42
4.1.3 Comunidad de nematodos.....	51
4.1.4 Índices de infección por nematodos, Picudo y Sigatoka negra.....	52
4.1.5 Biomasa y diversidad microbiana.....	54
4.1.5.1 Diversidad del Phylum Hongos.....	57
4.1.5.2 Diversidad del Phylum Bacterias.....	60
4.1.5.3 Diversidad de hongos y bacterias a nivel de especies.....	62
4.1.5.4 Índices de diversidad biológica de las comunidades de hongos y bacterias	64
4.1.5.5 Curva de rarefacción de especies de hongos y bacterias.....	65
4.1.5.6 Especies de hongos dominantes en los sistemas agrícolas.....	67
4.1.5.7 Especies de bacterias dominantes en los sistemas agrícolas.....	69
4.1.6 Abundancia de lombrices.....	71
4.1.7 Determinación de la diversidad de malezas	72

4.1.8	Productividad.....	75
4.2	Establecer la recuperación de productividad en sistemas agrícolas que presentan resiliencia después de introducir biodiversidad.....	77
4.2.1	Rendimiento y productividad.....	77
4.2.1.1	Peso de racimo.....	77
4.2.2	Relación Equivalente de Tierra (RET).....	82
4.3	Estado sanitario de los cultivos.....	89
4.3.1	Condiciones climáticas de las localidades.....	89
4.3.2	Incidencia de Sigatoka negra.....	89
4.3.2.1	Efectos simples sobre el factor años y el índice de infección de la enfermedad en monocultivos y mezclas de <i>Musa</i> spp.....	90
4.3.2.2	Efectos simples sobre localidad y el índice de infección de Sigatoka en monocultivos y mezclas de <i>Musa</i> spp.....	92
4.3.2.3	Efectos simples sobre los periodos estacionales (Lluvioso y seco) y el índice de infección de la enfermedad en monocultivos y mezclas de <i>Musa</i> spp	94
4.3.2.4	Análisis de la interacción entre los factores: localidad, año y período estacional con el índice de infección de Sigatoka en monocultivos y mezclas de <i>Musa</i> spp	96
4.3.2.5	Análisis por componentes del índice de enfermedad (%)	
4.3.2.6	Análisis de correlaciones entre el índice de infección de Sigatoka y las variables climáticas, por el número de componente y los factores de estudios.....	99
4.3.3	Análisis de la incidencia de las poblaciones de nematodos.....	100
4.3.3.1	Poblaciones de nematodos fitoparásitos.....	103
4.3.4	Determinar la incidencia de daño en las plantaciones de Picudo negro (<i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar)).....	109
4.3.4.1	Cuantificación del coeficiente de infestación de <i>C. sordidus</i> mediante la escala de Vilardebo.....	110
5.	CONCLUSIONES.....	121
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125
	ANEXOS.....	147

RESUMEN

La presente propuesta de tesis doctoral se orientó al estudio para mejorar ambientes degradados por monocultivos introduciendo biodiversidad intraespecífica varietal de *Musas sp.* En primer lugar se estudió la capacidad de resiliencia que tuvieran áreas dedicadas durante más de 25 años a monocultivo y seguidamente, implementar una nueva alternativa tecnológica para mejorar la diversidad del sistema agrícola y contrarrestar el daño causado por el ataque de plagas y enfermedades en las *Musáceas* a través del uso de la diversidad intraespecífica, sin producir alteraciones ambientales en los sistemas de producción de este sector agrícola y mejorando la calidad ambiental de los mismos. Se han realizado una serie de experimentos de campo con la finalidad de ir observando la capacidad de recuperación y comportamiento de los sistema agrícolas a corto y mediano plazo. De acuerdo con los resultados de los estudios, el sistema mixto de producción de musáceas fue el que presentó mayor presencia de artrópodos, siendo el orden *Collembola* el más diverso, lo que nos da la directriz de decir que este orden está asociado con la calidad de los suelos. En los sistemas mixtos, La Maná y El Carmen, se encontró mayor cantidad de lombrices y microorganismos y menor índice de infección de plagas y enfermedades en comparación con los sistemas de monocultivo. En cuanto a productividad la relación de equivalentes de tierra (RET) para los cultivos mixtos superó en 1,0 a los monocultivos en los años de estudio, lo que indica que la mezcla sobre-produjo con respecto a los monocultivos. Los índices de infección de Sigatoka negra, la población de nematodos fitopatógenos y la severidad del ataque del picudo negro son más altos en parcelas con monocultivo que cuando hay mezcla con cultivares que tienen tolerancia a estos estreses bióticos. El análisis de la estructura de la comunidad fúngica y bacteriana mediante técnicas moleculares (pirosecuenciación) indicó que los índices de diversidad fúngica mostraron diferencias significativas asociadas a las localidades y al sistema de manejo agrícola, mientras que los índices de diversidad bacteriana no registraron significancia alguna en cuanto a la dominancia de Simpson y diversidad de Shannon. Se observó gran presencia del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* en los sistemas con monocultivo, mientras que en los sistemas mixtos dominó la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico. De este estudio podemos concluir que los sistemas de cultivo mixto son más productivos, que presentan mayor biodiversidad y son más resistentes a sufrir el ataque de plagas y enfermedades que los sistemas agrícolas basados en el monocultivo.

Palabras clave: sistemas agrícolas, *Musáceas*, monocultivo, resiliencia, biodiversidad.

SUMMARY

The present thesis proposal was oriented to study how to improve environments degraded by monocultures of *Musa sp.* by introducing intraspecific biodiversity. In the first place, we studied the resilience capacity in these areas dedicated for more than 25 years to monoculture and then, implement a new technological alternative to improve the diversity in the agricultural system and counteract the damage caused by the attack of pests and diseases in the *Musaceae* through the use of intraspecific diversity, without producing environmental alterations in the production systems of this agricultural sector and improving the environmental quality of them. A series of field experiments have been carried out in order to observe the resilience and behaviour of the agricultural systems in the short and medium term. According to the results of the studies, the mixed system of *Musaceae* production presented the greatest presence of arthropods, being *Collembola* order the most diverse, which gives us the guideline to say that this order is associated with the quality of the soil. In the mixed systems, La Maná and El Carmen, we found more worms and microorganisms and a lower rate of infection of pests and diseases compared to monoculture systems. In terms of productivity the ratio of land equivalents (LER) for mixed crops exceeded in 1.0 that of monocultures in the studied years, indicating that the mixture produced more in respect to monocultures. Black Sigatoka infection index, the population of phytopathogenic nematodes, and the severity of black boll weevil attack were higher in plots with monoculture than when mixed with cultivars that tolerate these biotic stresses. Analysis of fungal and bacterial communities' structure using molecular techniques (pyrosequencing) indicated that fungal diversity indexes showed significant differences associated with localities and the type of agricultural management system, while bacterial diversity indexes did not show any significance in as for Simpson's dominance and Shannon's diversity. It was observed a great presence of the phytopathogenic fungus *Fusarium oxysporum* in monoculture systems, while in the mixed systems dominated the presence of atmospheric nitrogen fixing bacteria. From this study we can conclude that mixed farming systems are more productive, have greater biodiversity and are more resistant to pest and disease attack than monoculture based farming systems.

Key words: agricultural systems, *Musaceae*, monoculture, resilience, biodiversity.

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Musas en Ecuador

En Ecuador los cultivares predominantes en la exportación de musas son el Cavendish en el caso de “banano” y el Barraganete en el caso de “plátano”. El barraganete ha prevalecido en el mercado desde sus inicios como producto exportable. Sin embargo, en el caso del banano la variedad de exportación ha cambiado debido a la mayor susceptibilidad de estos cultivares a enfermedades fúngicas como la Sigatoka negra o el Fusarium.

Económicamente se reconocen dos sectores productivos de *Musa* spp., uno bien consolidado que depende fuertemente de insumos externos para la producción, y otro conformado por pequeños agricultores con escasa organización colectiva donde la producción intensiva en capital no se pudo consolidar. Según el censo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Acuicultura (MAGAP) realizado en el 2000, el 90% del cultivo de banano registrado pertenece al pequeño y mediano agricultor (Arias et al, 2004). Se presume que este valor se ha reducido a un 60% en 2011 (Marcillo, 2012).

El monocultivo de musas facilita una amplia gama de plagas y enfermedades, sobre todo hongos difíciles de combatir en zonas tropicales, la principal enfermedad causada por hongos es la Sigatoka negra, la cual puede mutar y desarrollar resistencia a los fungicidas y ser un gran problema cuando se intenta reducir el uso de sustancias químicas. (Arias et al, 2002)

Para tener un buen manejo de los monocultivos de banano y plátano se requiere de un fuerte uso de agroquímicos en cuanto al manejo de malezas, enfermedades y protección de la fruta. A esto se le suma las consecuencias que pueden tener el mal manejo de agroquímicos, problemas tales como: “cáncer a la piel, alteraciones mutagénicas y genéticas que causan deformaciones físicas, problemas en el sistema digestivo, en la visión, dolores de cabeza, y problemas a nivel pulmonar y del tracto respiratorio”. (Acción Ecológica, 2002)

El papel de la agrobiodiversidad intraespecífica para garantizar la soberanía alimentaria es trascendental. A medida que se presentan problemas ambientales, se requieren nuevas variedades de plantas que hagan frente a estos problemas. Esto será posible en la medida que se posea suficiente diversidad intraespecífica para crear variedades mejoradas, más resistentes a plagas y enfermedades. Gran parte de esta biodiversidad se

encuentra aún en sus hábitats de cultivo, contradictoriamente, en los sistemas agrícolas más pobres, que han sabido dar uso a estas especies olvidadas por el mercado.

El Carmen y La Maná constituyen las zonas musáceas con mayor biodiversidad en Ecuador. Sin embargo, el proceso de posicionamiento en el mercado responde a dos realidades distintas. El Carmen ubicado en la provincia de Manabí, se caracteriza por su excelente calidad de plátano barraganete que tuvo una acogida muy rápida por el sector externo, razón por la cual se le conoce como la puerta de oro de Manabí al mundo (Vásquez, 2010).

En cambio la producción de La Maná, ubicado en las estribaciones de la cordillera de los Andes de la provincia de Cotopaxi, responde a una realidad distinta. En la Maná se comenzó produciendo cultivares distintos a los utilizados en El Carmen, como el morado y el orito. Su vinculación al mercado exterior fue menos acelerada que la de El Carmen abasteciendo primero el mercado nacional. Posteriormente sus productos tuvieron acogida en el exterior, hasta el punto de hacerse su propio sitio en el mercado exterior (Bioversity Internacional, 2006).

1.2 Nomenclatura de *Musa* spp.

En Ecuador las musáceas provienen de la banana (*Musa acuminata* AA) o del plátano (*Musa balbisiana* AB). La poliploidía presente en los genomas se representa con la repetición de letras. Los plátanos como dominico y barraganete son triploides con genoma AAB mientras que las bananas como Gros Michel, Cavendish, Morado son triploides tipo AAA. Aunque todas las especies son de la misma familia muestran notables diferencias tanto en el fenotipo como en el genotipo, resaltando la variabilidad en los niveles de resistencia a plagas y enfermedades (Vásquez *et al*, 2005).

1.3 Ecosistemas y el hombre

Históricamente las interacciones ocurridas entre las actividades humanas y el medio ambiente en sistemas terrestres y marinos han resultado en diferentes procesos de perturbación, fragmentación y degradación de hábitats que potencialmente han afectado la biodiversidad del planeta en diferentes vías (Crome, 1996; Gascon *et al*, 2000; Malcom, 2001). Un claro ejemplo es la fragmentación de bosques que reduce la reproducción y el flujo génico promoviendo la extinción de especies (Nason y Hamrick, 1997), haciendo de los fragmentos sitios más vulnerables a la presencia fuegos, invasión

de especies exóticas y a otros procesos de erosión del hábitat (Cochrane *et al*, 1999, Nepstad *et al*, 1999; Jackson *et al*, 2002). Dentro de un ecosistema conservado existen funciones que resultan esenciales para su mantenimiento y organización (ej. purificación de aire y agua, generación y preservación de suelos fértiles, polinización de cultivos y vegetación silvestre, dispersión de semillas, reciclaje de nutrientes, etc.), las cuales se ven afectadas directamente por procesos de perturbación generando un deterioro ambiental con grandes repercusiones biológicas.

1.4 La Revolución Verde: el cambio de paradigma en agricultura

La denominada Revolución Verde tuvo lugar en los años cuarenta cuando Norman Borlaug se unió a la fundación Rockefeller con la finalidad de asistir a los agricultores pobres de México para aumentar su producción de trigo. Así, durante 20 años se produjo una variedad de trigo enana de alta producción, con una productividad de dos a tres veces mayor que las variedades tradicionales (Action Bioscience, 2002). Posteriormente, este programa se expandió a Pakistán e India y fue en 1968, cuando un administrador de la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID) escribió en su informe anual que había tenido lugar una gran mejora en Pakistán e India, con las palabras textuales “Parece una Revolución Verde”, y de ahí surge este nombre. En los años ochenta el éxito de la Revolución Verde se extendió hasta China, país que es actualmente un gran productor de alimentos (Action Bioscience, 2002).

Esta nueva forma de hacer agricultura “dejó de lado las bases de la agricultura tradicional fundamentada en el trabajo humano y animal. La agricultura tradicional utilizaba el compostaje y estiércol como métodos de fertilización y la rotación y barbecho como técnicas que ayudaban a mantener la fertilidad de los suelos. Con el nuevo modelo de desarrollo agrícola empieza la dependencia por los insumos externos (máquinas de labranza y cosecha, combustible para hacerlos funcionar y el uso de agroquímicos que estimulan la especialización por medio de monocultivo continuo, sin barbecho (Leaños, 2006).

1.5 Los Sistemas agrícolas

Un sistema agrícola es un conjunto de componentes que están unidos por alguna forma de interacción e interdependencia y que funcionan dentro de un límite establecido para alcanzar un objetivo agrícola determinado en nombre de los beneficiarios del sistema.

Esta definición es análoga a la definición general de cualquier sistema artificial, es decir, hecho por el hombre (monocultivos y mixtos) (FAO, 2009).

1.5.1 Monocultivos

Se conoce como Monocultivo a la práctica de plantar grandes extensiones de tierra con cultivos de una sola especie, aplicando los mismos patrones de cultivo, riego, fertilización y recolección; lo que deriva en la producción de grandes cantidades de un solo producto a muy bajo coste. El aumento de la población mundial y el crecimiento de la economía capitalista requieren suplir al mercado con productos agrícolas, por lo que es indispensable encontrar métodos que permitan la producción a gran escala y al mismo tiempo que sea rentable. Por estas razones, y aprovechando el creciente desarrollo industrial, el monocultivo es la alternativa más viable económicamente.

1.5.1.1 La expansión de los monocultivos

Durante los primeros años del siglo XXI los monocultivos se han incrementado dramáticamente a través del mundo. De los 1.500 millones de hectáreas agrícolas, el 91% se dedica a monocultivos extensivos de maíz, soja, arroz, trigo, etc. Con la expansión de la agricultura industrial la diversidad de cultivos por unidad de suelo arable ha decrecido y el uso de las tierras agrícolas se ha intensificado con una tendencia hacia la concentración en manos de pocos agricultores y en particular de corporaciones. Hay fuerzas políticas y económicas que influyen las tendencias a dedicar grandes áreas de un país al monocultivo (Altieri, 1995).

Tradicionalmente las tecnologías que permitieron el cambio hacia el monocultivo han sido la mecanización, la mejora genética de variedades modernas y el desarrollo de agroquímicos para la fertilización y el control de plagas y malezas. Las políticas comerciales gubernamentales de las décadas pasadas promovieron la aceptación y la utilización de estas tecnologías. Como resultado, hay menos granjas, más extensas, más especializadas y con requerimientos más intensivos de capital. Hoy en día la biotecnología se ha transformado en el motor de la intensificación de la agricultura industrial; en el año 2008 los cultivos transgénicos alcanzaron 125 millones de hectáreas y el 53% de esta área global estaba dominada por soja resistente al Roundup. En total unos 13,3 millones de agricultores adoptaron cultivos transgénicos, 1 millón de ellos grandes latifundistas como en EEUU, Argentina, Brasil y otros países y el resto pequeños agricultores chinos e indios condenados a producir algodón Bt. Ninguno de

esta docena de millones de agricultores produce alimentos para las masas de pobres en el mundo (Altieri, 2004).

Muy de la mano de los transgénicos han emergido los monocultivos de biocombustibles (maíz, soja, caña de azúcar y palma africana) que avanzan a expensas de bosques y otros hábitats, convirtiendo áreas dedicadas a producir alimentos en desiertos verdes productores de etanol y biodiesel para satisfacer el apetito energético de los países del Norte y de las economías emergentes de China e India, que no muestran intenciones de disminuir su uso exagerado de energía (Altieri, 2009).

Por otro lado, los monocultivos de Musas tradicionalmente requieren un fuerte uso de agroquímicos en todas sus etapas: aplicación de herbicidas, colocación de plásticos tratados con pesticidas utilizados para cubrir y proteger los bananos o plátanos en el campo, colocación de “corbatas” y tiras de plástico tratadas con insecticidas que se atan a los racimos, tratamiento con nematocidas y fumigaciones aéreas de fungicidas. En las empacadoras, se limpia y desinfecta los bananos antes de empacarlos con bombas de insecticidas post cosecha.

1.5.1.2 Problemas ambientales asociados a los monocultivos

Hoy los monocultivos industriales no sólo han reducido la biodiversidad del paisaje vía la deforestación sino también por los impactos directos de los pesticidas sobre una variedad de organismos como polinizadores, enemigos naturales de plagas, y vida silvestre en general. La pérdida de rendimiento en muchos cultivos debido a las plagas (que alcanza del 20% al 30% en la mayoría de los cultivos), a pesar del incremento substancial en el uso de pesticidas (cerca de 500 millones de kilogramos de ingrediente activo a nivel mundial), es un síntoma de la vulnerabilidad ecológica de esta agricultura simplificada. Basados en la información disponible, los costes ambientales (impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, aguas y desarrollo de resistencia) y el coste social (envenenamiento y enfermedades humanas) del uso de pesticidas alcanza cerca de 8 millardos de dólares cada año (Pimentel and Lehman, 1993).

1.5.2 Sistemas agrícolas mixtos

En muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sus siembras en combinaciones, cultivos anuales con otros anuales,

anuales con perennes o perennes con perennes, cereales asociados a leguminosas y cultivos de raíces asociados a frutales (policultivos o cultivos intercalados) más que en cultivos de una sola especie (monocultivos o cultivos aislados). Hasta hace unos veinte años, los investigadores agrícolas, en sistemas agrícolas mixtos y policultivos general, ignoraban las características que caracterizaban a los policultivos. Sin embargo, recientemente, la investigación del policultivo ha aumentado y muchos de los beneficios potenciales de estos sistemas se han hecho más evidentes.

Una de las principales razones por la que los agricultores adoptan policultivos o sistemas agrícolas mixtos, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra. El hecho de aumentar la diversidad de la vegetación mediante el uso de los policultivos no es la panacea para resolver los problemas de producción y protección de cultivos, pero puede ofrecer a los agricultores opciones potencialmente útiles para disminuir la dependencia de insumos externos, reducir al mínimo la exposición a los productos agroquímicos, aminorar el riesgo económico, la vulnerabilidad nutricional y protegerla base necesaria de los recursos naturales para la sustentación agrícola (Vandermeer, 1992).

1.6 La biodiversidad

El término biodiversidad se utiliza para referirse “a la totalidad de genes, especies y ecosistemas presentes en una región determinada.”. Se define como “la variedad y variabilidad de los seres vivos y de los complejos ecológicos que ellos integran” identificándose tres niveles: ecológico, específico y genético

Desde el punto de vista genético del reino vegetal, la biodiversidad se clasifica en biodiversidad intraespecífica e interespecíficas. La biodiversidad intraespecífica se refiere a la diversidad en la misma especie o diversidad de genes dentro de una especie, por ejemplo los bananos barraganete y orito pertenecen al género *Musa*. La biodiversidad interespecífica se refiere a especies distintas que comparten en común ser del reino vegetal, por ejemplo el banano, el cacao y el café. (Altieri and Nicholls, 2000).

1.6.1 Importancia de la biodiversidad intraespecífica

La biodiversidad intraespecífica es útil al hombre, ya que ayuda a combatir muchas de las adversidades presentes y a hacer frente hacia las adversidades futuras. Desde el punto de vista del agricultor, la biodiversidad intraespecífica incrementa la resistencia a

plagas y enfermedades, dado que el cultivo desarrolla mayor apoyo biológico, garantizando así la producción. Este apoyo se debe a una mejora en la biota del suelo como en la del entorno, creando una sinergia en el cultivo.

Widawsky (1996), realizó un estudio en arroz en el este de China, en el que propuso tres pasos para medir el efecto de la biodiversidad intraespecífica en la producción; el primero fue buscar índices que midieran la biodiversidad dentro del cultivo, que puedan ser utilizadas en los modelos de uso de agroquímicos y en la función de producción. El segundo paso fue, mostrar la relación entre diversidad varietal y rendimiento, y por último propuso proveer la estimación del impacto de la biodiversidad intraespecífica a la producción, para lo cual se utiliza el modelo de producción y el modelo de uso de insumos químicos de control.

Con este método se logró concluir que el uso de mayor diversidad se asocia con rendimientos ligeramente más bajos que al sembrar una variedad única de alto rendimiento, sin embargo la inestabilidad de los cultivos decrecía. También, que los pesticidas son poco efectivos para mantener los niveles de producción y posiblemente lo que se lograba era una inestabilidad en la producción. Por último, se concluyó que el porcentaje que se perdía al usar altos niveles de biodiversidad varietal, se compensaba con la estabilidad de la producción.

1.7 Resiliencia

Se conoce como “resiliencia” o elasticidad de los ecosistemas y/o comunidades a la capacidad que tienen las especies que forman parte de estos, de regresar al estado original después de que se ha producido un cambio debido a perturbaciones naturales o por actividades humanas (Doak *et al*, 1998).

El valor del concepto de “resiliencia” es importante para entender los diferentes sistemas de explotación de los recursos naturales. El concepto de “resiliencia” al igual que muchos de los bioindicadores estudiados en la literatura, depende de los objetivos planteados, de los tipos de perturbaciones, de las medidas de control disponibles y del tiempo y la escala de interés que se esté manejando (Ludwig *et al*, 1997).

Las estrategias donde se ha utilizado el concepto de resiliencia en la conservación de ecosistemas se basan en minimizar los impactos biológicos de las perturbaciones y aumentar la capacidad de recuperación de los ecosistemas.

1.7.1 Uso de indicadores biológicos para medir resiliencia

Actualmente existe la necesidad del desarrollo de indicadores biológicos que permitan la evaluación del impacto que el hombre ejerce sobre el ambiente. Un indicador biológico es una propiedad, característica o proceso que puede ser medido para detectar cambios en el sistema estudiado. Los indicadores biológicos incluyen medidas de población de micro y macro organismos, su actividad o sub productos. Los principales indicadores biológicos que se han propuesto para evaluar los efectos del manejo sobre los agroecosistemas son: biomasa microbiana, características del suelo, diversidad de artrópodos, nematodos, malezas y sanidad del cultivo (Kennedy and Papendick, 1995).

1.7.2 Productividad y la resiliencia de los agroecosistema

Los cultivos asociados representan una forma de incrementar la variedad de productos cosechados por unidad de superficie y son ampliamente utilizadas en medios tropicales y subtropicales ya que proporcionan un ingreso adicional al agricultor en la misma unidad de terreno. Entre los beneficios que sustentan el empleo de asociación de cultivos, se encuentra una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos y climáticos, así como ventajas relativas a la distribución temporal del trabajo de mantenimiento, en función de los requerimientos particulares de las especies asociadas (Willey, 1979). La combinación de especies con distinto ciclo y diferentes requerimientos hídricos, lumínicos y nutricionales, mejora los rendimientos a través de un mejor uso de los recursos disponibles en tiempo y espacio, aunque el manejo del sistema es más complejo con limitaciones para la mecanización de las labores (Vandermeer, 1992). Otras ventajas de las asociaciones de cultivos relacionadas con la sostenibilidad ecológica y económica de los agroecosistemas son el control de la erosión, la conservación de la humedad y la disminución de la temperatura del suelo, el control de plagas y enfermedades (Emeasor and Ezueh, 1997., Altieri, 1990), y la restricción de las malezas (Zuofa *et al*, 1992).

Muchos de los conceptos se han desarrollado para evaluar las ventajas de rendimiento como resultado de la producción divergente de los diferentes sistemas de cultivos que incluyen; relación equivalente de la tierra (RET) (Willey, 1990). El cultivo intercalado de cereales con leguminosas ha sido popular en los ambientes tropicales húmedas (Tusbo *et al*, 2005) y las zonas de secano del mundo (Gosh, 2004) debido a sus ventajas de incremento de rendimiento, mala hierba control (Poggio, 2005), un seguro contra la

pérdida de cosechas, bajo coste de producción y altos rendimientos monetarios a los agricultores. La mejora de la fertilidad del suelo mediante la adición de nitrógeno mediante la fijación y la transferencia de la leguminosa al cereal (Gosh *et al*, 2006), lo que mejora la estabilidad del rendimiento, socioeconómico y algunas otras ventajas.

En estudios realizados de RET en un asociado arveja y trigo, la arveja contribuyó con un mejor índice en la asociación, lo cual supone que compitió mejor que el trigo. La RET total obtenida refleja ventajas cuando se combinan estos dos cultivos; en dos de estos casos fue mayor que la unidad, como fue en los tratamientos de una hilera intercalada de cada cultivo (A1:T1) y dos hileras intercaladas de cada cultivo (A2:T2). Estos valores concuerdan con otros estudios en diferentes países. Por ejemplo, en Estados Unidos se reportaron ventajas del sistema con valores de RET de 1,25; 1,32 y 1,26 cuando se combinó guisante y maíz a densidades de siembra alta, media y baja, respectivamente, (Francis and Decoteau, 1993).

1.8 Plagas y enfermedades de las *Musáceas*

Entre los problemas fitosanitarios más frecuentes que afronta el cultivo en relación a plagas y enfermedades se tiene: virus del mosaico del pepino (CMV), virus del rayado del banano (BSV), Moko (*Ralstonia solanacearum*), *Fusarium oxysporium*, Sigatoka negra (*Micosphaerella fijiensis*), Nematodos (*Radopholus similis*, *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* pp.), picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), de estos últimos tres problemas, son los responsables de grandes pérdidas económicas en la producción mundial y a la cual nos referiremos a continuación.

1.8.1 Sigatoka negra (*Micosphaerella fijiensis*)

La Sigatoka negra es una enfermedad causada por un hongo y fue observada por primera vez en las plantaciones de plátano en las islas de Fiji a 100 Km del Valle de Sigatoka, el área de donde la enfermedad tomó su nombre. En los años setenta, el personal de las plantaciones en Centroamérica acuñó el término “Sigatoka negra” para la enfermedad, porque una gran cantidad de manchas tenían una apariencia global más oscuras que las de otra enfermedad similar llamada Sigatoka amarilla (Stover, 1980). La Sigatoka negra está presente en todo el mundo en las áreas con clima tropical o subtropical húmedo. La enfermedad se desarrolla más rápidamente donde la humedad y las lluvias son altas mientras que las temperaturas por debajo de 20°C y los periodos secos inhiben el crecimiento del hongo.

En Centroamérica la Sigatoka negra se detectó por primera vez en Honduras en 1972, aunque al parecer se encontraba ya en el área algunos años antes. Desde ese momento se le citó como causada por *M. fijiensis var difformis* Mulder y Stover, lo cual lo hacía diferenciar de la "Raya negra" ya conocida en África, Asia e Islas del Pacífico.

Posteriormente se fue propagado hacia otras zonas productoras de plátanos y bananos del continente, debido a las características epidemiológicas de la enfermedad y a la continuidad de áreas de cultivos de musáceas entre los países afectados. Es así, como en 1975 se observa en Belice, luego en Guatemala en 1977, posteriormente en 1979 se presentó en Costa Rica, Nicaragua y El Salvador, en 1980 se detecta en México y en 1981 en Panamá. En Suramérica, entra hacia Colombia en 1981 y se observa posteriormente en 1987 en Ecuador y más recientemente en Venezuela en 1991. Hacia el Área del Caribe se reporta en Cuba igualmente en 1991. (Betancourt, 2000).

1.8.1.1 Etiología

El agente causal de la Sigatoka negra es un hongo que se encuentra en la naturaleza bajo dos formas diferentes: en estado asexual o perfecto representado por *Mycosphaerella fijiensis var difformis* Muider y Stover y en estado asexual o imperfecto *Paracercospora fijiensis* (Morelet) Deighton, constituyendo ambas, fases diferentes de un mismo individuo.

Esta etapa se caracteriza por la formación de pseudotecios, espermagonios y ascosporas. Los pseudotecios y espermagonios, se forman en mucha mayor cantidad durante las fases 2 y 3 (síntomas de la enfermedad). Los espermagonios son más abundantes en la cara inferior de la hoja que en la superior, se desarrollan frecuentemente en la cámara subestomática de los estomas. Los espermagonios maduros contienen hileras de espermacios (Meredith *et al*, 1969., Fouré, 1982).

Los primeros conidios se observan fácilmente en la fase 2 (síntomas de la enfermedad). Los conidióforos son el resultado de la reproducción asexual, son obclavados, hialinos a pardo oliváceos con uno a diez septos (más frecuentemente siete septos), con un hilium bien marcado (Meredith *et al*, 1969).

El hongo en su fase sexual forma una estructura denominada pseudotecio (peritecio) globoso, color marrón a pardo oscuro y entre 47 y 85 micras de diámetro, presentando en su parte posterior un poro denominado ostiolo, internamente se encuentran las ascas (especie de sacos) numerosas y bitunicadas con 8 ascosporas hialinas, uniseptadas,

bicelulares, fusiformes (alargadas) y ligeramente constreñidas a nivel de las septas y de dimensiones 12.5 a 16.5 micras de largo por 2.5 a 3.8 de ancho (Belalcázar *et al*, 1991)

Ambos estados son importantes en la infección a su hospedero (Alexopoulos and Mims, 1979). Taxonómicamente se le ubica dentro del:

Reino: Fungi
Phylum: Ascomycota
Clase: Loculoascomycete
Orden: Dothideales
Familia: Mycosphaerellaceae
Género: Mycosphaerella
Especie: *Mycosphaerella fijiensis*

1.8.1.2 Ciclo de vida

La Sigatoka negra es una enfermedad policíclica por la característica que tiene el hongo de reproducirse repetitivamente durante el curso de la epidemia, es decir, por presentar una secuencia sin fin de infección, colonización, esporulación y dispersión y, además, porque en él existe una infección ramificada dado que produce dos tipos de esporas diferentes aunque ellas no ocurran, necesariamente, en forma alterna o equitativa (Consuegra y Lorenzo, 2003)

Como se ilustra en la figura 1, el ciclo de vida de *Mycosphaerella fijiensis* se inicia con la deposición de las esporas, ya sean ascosporas o conidios, sobre las hojas libres de la enfermedad o sobre las ya afectadas. Los procesos de germinación y penetración del inoculo solo ocurren cuando hay condiciones favorables con humedad relativa de 90 a 100%, temperaturas de 26 a 28°C y, sobre todo, presencia de agua libre sobre las hojas. Bajo tales condiciones, las esporas germinan en un período de 2 a 6 horas, formando tubos germinativos que se extienden y ramifican en busca de los estomas. De este modo, se inicia el proceso de penetración que tarda de 2 a 3 días si las condiciones de humedad relativa, temperatura y humedad foliar son las adecuadas (Ploetz, 1994).

Las ascosporas o esporas de origen sexual se desarrollan en el interior de cuerpos fructíferos conocidos como ascócarpos o pseudotecios y se desprenden de la lesiones en estadio 5 y 6, según la escala de Fouré. Mientras que los conidios o esporas de origen asexual se producen sobre los conidióforos y se desprenden desde el estadio 2 hasta el 6, según la escala de Fouré. Los conidios se desprenden del conidióforo, por acción de agentes ambientales como el agua y el viento (Aislant y Gámez, 2004).

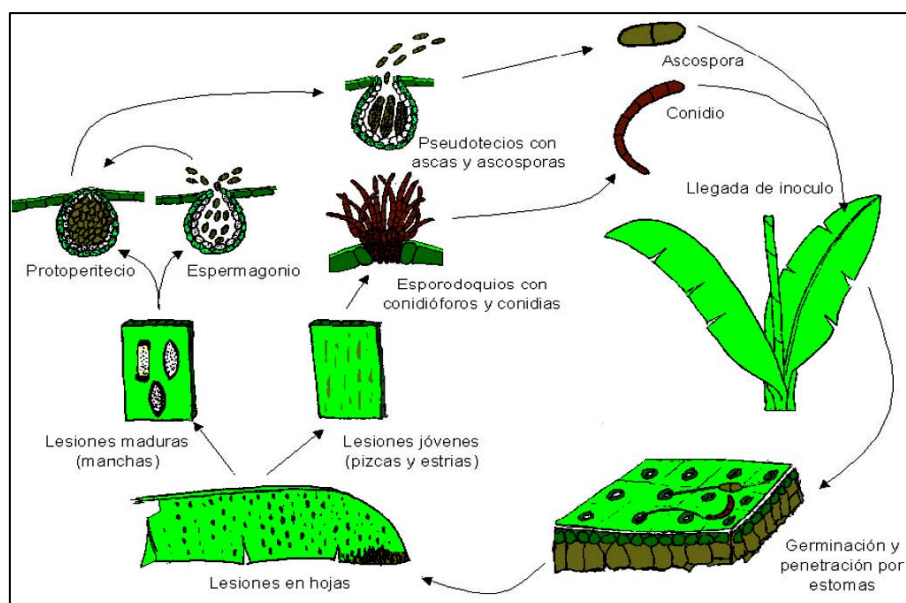


Figura 1. Ciclo de vida de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la Sigatoka negra del banano. Fuente: Bornacelly, H. (2009)

1.8.1.3 Patogénesis

Las esporas depositadas en las hojas germinan, si las condiciones de humedad son buenas, emitiendo un tubo germinativo que penetra por los estomas, para luego ramificarse y colonizar varias células vecinas produciendo primero el síntoma característico de “pizca”, y posteriormente las manchas y la necrosis generalizada. En las plantas, algunos compuestos fenólicos se encuentran constitutivamente y otros son respuestas al ataque de patógenos, a su vez la composición química y concentración de ellos varía. En el caso de banano y plátano, no son la excepción (Betancourt, 2000).

Los síntomas de Sigatoka en las hojas incluyen lesiones necróticas, algunas pueden tener un incipiente halo amarillo que se va extendiendo, lo que sugiere que el hongo produce toxinas que intervienen en la patogénesis de la enfermedad. Esto ha sido comprobado mediante trabajos “in vitro” en diferentes cultivares de bananos, uno de estos componentes tóxicos es el fijiensis, el cual altera el metabolismo de las metioninas produciéndose etileno que influye en la maduración irregular de frutos cuando los hay o racimos raquíuticos por ausencia de hojas fotosintéticamente activas como para mantener el llenado y maduración de los racimos. La variabilidad en la respuesta a la toxina del patógeno, junto a las condiciones ambientales, determinará la expresión sintomatológica y severidad de la enfermedad (Betancourt, 2000).

1.8.1.4 Diseminación

En las condiciones climáticas, donde se ubican tantas plantaciones de bananos y/o plátanos, las esporas sexuales o ascosporas como las asexuales o conidios se producen durante el ciclo de la enfermedad, y la presencia de conidios o ascósporas va a depender de las condiciones ambientales, especialmente período lluvioso-seco, temperatura y humedad relativa y viento (Betancourt, 2000).

La diseminación de la enfermedad ha sido favorecida por factores naturales como las corrientes de los ríos mediante el arrastre a las orillas del material enfermo, por el viento, al dispersar el inóculo proveniente de cultivos con prácticas mínimas de manejo y por el hombre mediante la movilización incontrolada de plántulas y hojas enfermas (Merchán, 2000).

La diseminación de la enfermedad es llevada a cabo en dos fases: la primera en la liberación propiamente de conidios o ascósporas y la otra consiste en el transporte de esos propágulos. En el proceso de diseminación se afirma generalmente que las ascosporas son elementos de mayor importancia que los conidios.

Liberación: los conidios cuando están maduros son liberados con la ayuda del salpique del agua. En el caso de las ascosporas, el asca permanece en el peritecio una vez fertilizado, expulsado y diseminado por el viento. En consecuencia la liberación está influenciada por el agua libre, en forma particular por las lluvias, el rocío y la irrigación por aspersión (Betancourt, 2000).

Transporte: La diseminación de la enfermedad ha sido favorecida por factores naturales como las corrientes de los ríos mediante el arrastre a las orillas del material enfermo, por el viento, al dispersar el inóculo proveniente de cultivos con prácticas mínimas de manejo y por el hombre mediante la movilización incontrolada de plántulas y hojas enfermas (Merchán, 2002).

1.8.1.5 Métodos de control

El método tradicional usado para el control de la Sigatoka negra comprende todas las labores que de manera directa favorecen el buen desarrollo de los cultivos y de forma indirecta crean condiciones desfavorables para el progreso de la enfermedad. En este sentido, se han establecido sistemas de siembra, construcción de drenajes, poda sanitaria

o control de malezas, descolinado, destronque, deshoje y un adecuado programa de fertilización (Merchan, 2000; Rosales y Pocasangre, 2002).

El control químico es el método más utilizado y se debe realizar dentro de un programa normal de rotación entre fungicidas sistémicos y preventivos. Se emplea principalmente en plantaciones de banano dedicadas a la producción de fruta para la exportación (Marín *et al.*, 2003). Aunque el combate químico de la Sigatoka negra en el plátano es tan efectivo como en banano, su empleo es muy limitado, principalmente por los escasos recursos de los productores, por el alto coste del control y por la topografía irregular (pendiente) de muchos cultivos (Merchán, 2000).

El control químico se hace mediante aspersiones aéreas y terrestres en las que se utilizan fungicidas, aceites minerales y emulsificantes, (Marín *et al.*, 2003., Merchán, 2000).

Se han investigado métodos alternativos para el control de esta enfermedad, entre ellos el uso de extractos de plantas (Arciniegas *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2006; Obledo *et al.*, 2004), hongos endofíticos (Osorio, 2006), que pueden ser menos tóxicos y económicos.

1.8.1.6 Resistencia genética

Una planta puede ser inmune a un patógeno, es decir, no es atacado por el patógeno aún en condiciones favorables para éste o mostrar varios grados de resistencia, que van desde la casi inmunidad hasta la completa susceptibilidad. La resistencia puede estar condicionada por varios factores internos y externos que influyen para reducir la probabilidad y el grado de infección. La primera etapa en cualquier interacción hospedante-patógeno es el reconocimiento del hospedante por el patógeno y quizá la situación inversa. Por lo tanto, la falta de factores de reconocimiento en el hospedante lo haría resistente a algún patógeno en particular (Agris, 1997).

La resistencia genética a Sigatoka negra generalmente se expresa mediante un retraso en el desarrollo de las lesiones después de ocurrir la infección. Cuanto más resistente sea el material requerirá más tiempo para que las lesiones alcancen su madurez. Agris (1997), menciona que la aparición de nuevos genotipos virulentos de patógenos capaces de vencer la resistencia de variedades resistentes es un fenómeno de presión de selección, determinado en gran medida por condiciones ambientales y del manejo del cultivo favorable a la reproducción del patógeno y por la extensión ocupada por los genotipos resistentes, o más directamente por la superficie ocupada por los genes de resistencia desplegados en la población.

1.8.2 Nematodos fitoparásitos

A nivel mundial se ha determinado que las pérdidas debidas a nematodos en las cosechas exceden los US\$ 100 billones de dólares al año, lo que equivale aproximadamente de un 12 % a un 15 % de pérdidas de la totalidad de producción. El grado del daño causado por los fitonematodos en los sistemas de producción de banano depende de varios factores, como densidad poblacional inicial, tipo de nematodos presentes, susceptibilidad del cultivo, condiciones ambientales e interacciones con otros organismos patógenos (Coto, 1991). Actualmente en el cultivo del banano la forma convencional de manejar patógenos del suelo y nematodos que afectan los cultivos es mediante la aplicación de dos a tres nematicidas por año que representa un coste aproximado de US\$ 350 a US\$ 400 por ha/año (Pocasangre, 2008). Este método de control es bien conocido por eliminar casi en su totalidad la microfauna y mesofauna del suelo, tales como nematodos de vida libre y ácaros que son agentes biológicos de control y participan en el reciclaje de nutrientes del suelo. Por lo tanto, es importante desarrollar métodos de control de patógenos de suelos que no afecten estas poblaciones benéficas (de Lara *et al*, 2003).

Por otra parte los nematodos fitoparásitos están agrupados en tres órdenes principales: Aphelenchida, Tylenchida y Dorylaimida. A nivel mundial los 10 géneros de nematodos fitoparásitos más importantes son: *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus spp.*, *Heterodera spp.*, *Ditylenchus spp.*, *Globodera spp.*, *Tylenchulus spp.*, *Xiphinema sp.*, *Radopholus sp.*, *Rotylenchulus spp.* y *Helicotylenchus spp.*

Radopholus similis es un nematodo endoparásito que completa su ciclo de vida en 20-25 días en los tejidos de la raíz y el rizoma de los plátanos y banano. Se considera el mayor causante de pérdidas en la producción bananera, ocasionando el volcamiento de las unidades de producción por su acción parasítica sobre las raíces (Leguizamo, 2008., Pocasangre, 2008). Bajo condiciones extremas, donde los suelos son pobres y erosionados, las pérdidas acumulativas durante tres ciclos de producción pueden alcanzar hasta el 75%, debido a la reducción de peso del racimo y a la caída de las plantas (Pocasangre, 2008).

El nematodo agallador de raíces *Meloidogyne spp.* es una plaga de gran importancia económica en todo el mundo, especialmente en países tropicales y subtropicales, con un umbral situado en 30.000 nematodos sobre 100 g de raíces

(Belalcazar *et al*, 1991; Suarez *et al*, 2002). En Ecuador se encuentra presente en todas las regiones, aunque las incidencias poblacionales más altas están en las zonas calientes.

El nematodo ectoparásito *Helicotylenchus* spp. vive en la superficie externa de su hospedante, aunque algunas especies pueden comportarse como semiendoparásitos. En algunos casos, se alimentan por períodos prolongados en sitios específicos, extrayendo alimentos de los tejidos más internos de las raíces sin provocar daños aparentes o notorios (Hunt *et al*, 2005; Decraemer and Geraert, 2006). Puede obstruir las funciones normales de las raíces, afectar el crecimiento, provocando síntomas de hojas coriáceas, amarilleamiento de hojas nuevas mientras que las hojas viejas muestran un color más anaranjado para finalizar cuando el ataque aumenta con una decoloración global del follaje y una disminución en el tamaño y peso de los racimos. Sólo cuando el ataque es muy severo se produce la caída de las plantas (Bustamante, 2000).

Pratylenchus spp es un endoparásito migratorio que colonizan los tejidos del córtex de la raíz y el rizoma del banano, plátano y abacá, en cuyos tejidos se nutren y multiplican. La presencia de *Pratylenchus* spp generalmente va acompañada con infecciones de hongos como *Fusarium oxysporum*, y *Rhizoctonia solani*. Su umbral se sitúa en los 20.000 nematodos en 100 g de raíces y los síntomas y daños se manifiestan en la parte aérea.

1.8.3 Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*)

Como en la mayoría de cultivos, el plátano y el banano también están expuestos a una serie de plagas que afectan su normal desarrollo, causando limitaciones en su producción y productividad. Los productores de plátano y bananos vienen enfrentando un serio problema que compromete la vida útil de la plantación, debido principalmente a los daños que las larvas del picudo negro ocasionan en el cormo o cepa de las plantas, daños que se agravan a causa de la siembra intensiva en monocultivo (Armijos 2008).

1.8.3.1 Origen y distribución

El origen del Picudo negro es probablemente el sudeste de Asia y se ha propagado a todas las regiones productoras de banano y plátano del trópico y subtropical (Tazán, 2003). Los problemas con este insecto parecen ser más severos en el plátano, los bananos de cocción de altiplanos y en los del género Ensete (Gold y Messiaen 2000). Anderson (2002), menciona que la clasificación taxonómica del insecto es la siguiente:

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Dryophthoridae
Subfamilia	Rhynchophorinae
Tribu	Litosomini
Género	<i>Cosmopolites</i>
Especie	<i>sordidus</i>

1.8.3.2 Biología y ciclo de vida

En las fincas plataneras es común observar grandes cantidades de plantas volcadas a causa del ataque del picudo negro, en cuyas cepas se distingue fácilmente las galerías y zonas necrosadas y podridas. Una observación detenida permite identificar adultos y larvas localizados en el interior de dichas galerías en donde desarrollan su ciclo de vida (Armijos, 2008).

Los adultos miden entre 10 a 15 mm de largo, son de color negro, con fuertes élitros y un pico pronunciado, debido a ello el nombre de Picudo negro. El adulto al inicio es marrón rojizo, pero con frecuencia se vuelve uniformemente negro. Cuando se deseca tiene aspecto grisáceo (Tazán, 2003). Los adultos del Picudo negro tienen un pico largo y curvo con dos grandes antenas que le sirven de orientación, y pueden permanecer en la misma planta por períodos largos, pero en condiciones favorables pueden movilizarse una distancia de 25 metros, en 15 días (Quijije *et al*, 2002).

Tazán (2003), menciona que los Picudos son nocturnos y se esconden durante el día alrededor de los rizomas, o entre las vainas de las hojas de la planta, sobre el suelo. Salen por la noche a alimentarse y las hembras depositan sus huevos en el tallo cortado o podrido o bien se trasladan a una cepa viva, donde las hembras ovipositan uno a uno, en orificios hechos con el pico. El punto preferido para la oviposición es entre las escamas de la vaina de la hoja en la corona del rizoma, justamente por encima del suelo.

Arias (1999), afirma que los huevos de *C. sordidus* se incuban en 4 a 7 días, dependiendo de la temperatura. Las larvas pasan por cinco estadios y a medida que crecen, aumentan el tamaño de la galería en las cepas. El estado larval dura de 22 a 120 días y depende de las condiciones climáticas, de la variedad de la planta hospedera y de la edad del cormo. En estado de prepupa vive de 2 a 3 días y la pupa de 7 a 10 días. El adulto puede vivir de dos a cuatro años.

1.8.3.3 Síntomas producidos en la planta

Los Picudos negros son atraídos por los rizomas recién cortados, lo que convierte a los retoños que se utilizan como material de plantación especialmente susceptibles al ataque (Gold y Messiaen, 2000).

La plaga puede atacar cualquier estado de desarrollo de la planta, en plantaciones nuevas, el insecto hace túneles en la semilla, lo que ocasiona retraso o pérdida de la emergencia del cultivo, amarillamiento y enanismo de la planta, hasta secamiento de las hojas. En plantaciones establecidas, la plaga produce túneles fundamentalmente en la periferia del cormo, provoca pudrición del mismo, amarillamiento de las hojas, reducción del vigor y caída de la planta; algunas veces causa esterilidad. En regiones donde no se maneja adecuadamente el cultivo, se han registrado hasta 132 adultos por planta, con un daño que supera el 30% de destrucción en la cepa (Quijije, 2003).

El ataque del picudo negro interfiere con la iniciación de las raíces, mata las raíces existentes, limita la absorción de nutrientes, reduce el vigor de las plantas, demora la floración y aumenta la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Las reducciones de rendimiento son causadas tanto por la pérdida de plantas (muerte de las plantas, el rompimiento de los rizomas, volcamiento), como por el reducido peso de los racimos.

1.8.3.4 Resistencia varietal

La resistencia de las plantas a los insectos se considera como una estrategia segura y duradera para el control de *C. sordidus*, especialmente en las plantaciones con bajas inversiones (Fancelli *et al*, 2002). Se ha sugerido la resistencia de la planta hospedante como una intervención potencial a largo plazo para el control del Picudo negro en las pequeñas fincas dentro de una perspectiva del manejo integrado de plagas. Sin embargo, el desarrollo de la resistencia a los Picudos negros se encuentra aún en su fase inicial y los programas de mejora solo recientemente han incluido la resistencia al picudo negro como uno de los criterios para la inclusión de una nueva Musa cultivada (Kiggundu y Gold 2002).

1.9 Microorganismos del suelo

El suelo es un recurso no renovable a escala humana, crítico para la producción de alimentos, el balance global y el funcionamiento de los agroecosistemas (Doran *et al*, 1996). Su biota, ensamblada en intrincadas comunidades, contribuye colectivamente en

un amplio rango de servicios esenciales para el funcionamiento sustentable de los agroecosistemas. (Pankhurst, 1997). En particular, los microorganismos juegan roles vitales en varios ciclos geoquímicos y están implicados en diversos procesos importantes para la calidad del suelo: regulan la descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y contribuyen a la formación y el mantenimiento de la estructura edáfica (Kirk *et al*, 2004; Johnson *et al*, 2003). También influyen en el ecosistema contribuyendo a la nutrición y salud de las plantas, dado que sirven como depósito y fuente de la mayoría de los nutrientes, son capaces de solubilizar minerales, producir hormonas vegetales, fijar el nitrógeno atmosférico, causar enfermedades o antagonizar microorganismos deletéreos (Kirk *et al*, 2004; Bardgett *et al*, 1997).

1.9.1 Diversidad microbiana en el suelo

El término biodiversidad microbiana, describe el número de especies de microorganismos diferentes y su abundancia relativa en una comunidad determinada en un hábitat dado. Tradicionalmente, este número se ha estimado para el total de células procariotas sobre la tierra en $4-6 \times 10^{30}$, idea que comprende entre 10^6 y 10^8 genes separados (grupos taxonómicos distintos basados en el análisis de secuencias de genes). Esto representa un enorme potencial biológico y genético que puede ser explotado para recuperar posibles nuevos genes, definir rutas metabólicas enteras y sus productos relacionados. Se ha estimado que la diversidad microbiana del suelo está dentro de un rango de 3000 y 11000 genomas por gramo de suelo. Sin embargo, la inmensa diversidad genética y fenotípica de bacterias y hongos hacen de esta comunidad una de las más difíciles de estudiar (Maddoni, *et al*, 2004).

En síntesis, los microorganismos edáficos constituyen un enorme reservorio de diversidad genética, un importante reservorio de nutrientes y un catalizador primario de las transformaciones de nutrientes. En la Figura 2 se puede observar el conjunto de factores que modifican la diversidad genética y fisiológica de las comunidades microbianas edáficas.

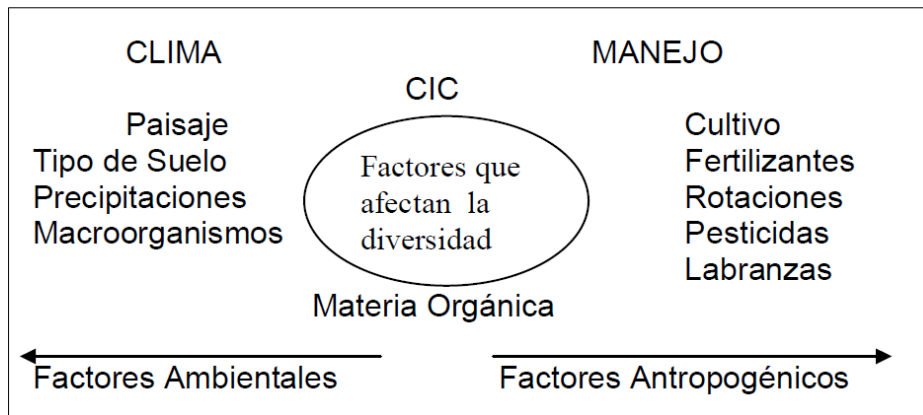


Figura 2. Esquema de los factores ambientales y antropogénicos que afectan la diversidad en los agroecosistemas (Maddonni *et al*, 2004).

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

La finalidad de este estudio es establecer la capacidad de resiliencia que pueden tener áreas dedicadas durante más de 25 años al monocultivo de musáceas e implementar una nueva alternativa tecnológica para mejorar la diversidad de microorganismos del suelo y contrarrestar el ataque de plagas y enfermedades a través del uso de la variabilidad intraespecífica, sin producir alteraciones ambientales en los sistemas de producción de este sector agrícola o, mejorando la calidad ambiental de los mismos. Con esos antecedentes se plantearon los siguientes objetivos.

- Determinar indicadores de biodiversidad y genéticos de resiliencia en sistemas agrícolas basados en el monocultivo y en sistemas mixtos bien establecidos.
- Establecer la recuperación de productividad en sistemas de producción que presentan resiliencia después de introducir biodiversidad en ellos.
- Determinar el estado de sanidad de los cultivos a través de la incidencia en las plantaciones del hongo Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), de nematodos fitoparásitos y del insecto Picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar).

MATERIAL Y METODOS GENERALES

3. MATERIAL Y METODOS GENERALES

3.1 Descripción de las localidades de experimentación

Para establecer la capacidad de resiliencia de áreas dedicadas al monocultivo de musáceas e implementar alternativas tecnológicas para mejorar la diversidad de microorganismos del suelo y contrarrestar el ataque de plagas y enfermedades a través de introducir variabilidad intraespecífica se llevaron a cabo varios ensayos. Para ello, se escogieron tres localidades (Fig. 3) de zonas productoras de musáceas con distintas condiciones agroclimáticas (Tabla 1): La Maná en la provincia de Latacunga (Tabla 2), El Carmen en la provincia de Manabí (Tabla 3) y Quevedo en la provincia de Los Ríos (Tabla 4).

Tabla 1. Principales características agroclimáticas de las zonas

Parámetros	La Maná	EL Carmen	Quevedo
Zona ecológica	BH - Tropical	BH - Tropical	BH - Tropical
Latitud	00° 53' 43" S	00° 16' 14" S	1° 5' 12" S
Longitud	79° 11' 05" W	79° 29' 12" W	79° 30' 2" W
Altura (msnm)	354,00	250,00	120
Textura	Franco arenoso	Franco arcilloso	Franco
pH	5,6	6,6	6,0

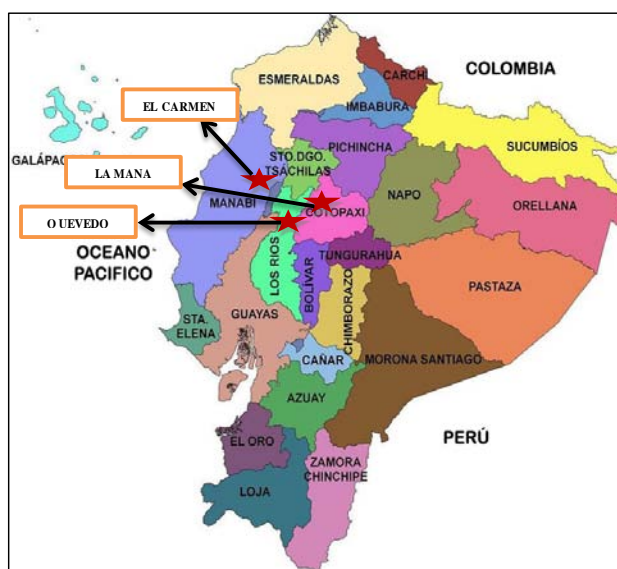


Figura 3. Localización de los ensayos.

En las Tablas 2, 3 y 4 se ilustra los valores de las variables meteorológicas (precipitación, temperatura, humedad relativa y heliofanía) de las localidades donde se han llevado a cabo los ensayos separándolas por periodo lluvioso y seco, durante los dos años que duró el estudio (2015 y 2016).

Tabla 2. Variables climáticas en los periodos lluvioso y seco, durante dos años en la localidad de La Maná (INAMHI, 2017).

La Maná		2015			2016		
Variables meteorológicas		Lluvioso	Seco	Total	Lluvioso	Seco	Total
Precipitación (mm)		2887	821	3708	2584	110	2694
Temperatura (°C)	Máx.	29,3	28,7	29	29,3	28,2	28,7
	Mín.	20,6	20,2	20,4	21	19,8	20,4
	Media	24,9	24,4	24,7	25,1	23,9	24,6
Humedad relativa (%)		88	88	88	91	89	90
Heliofania (horas luz)		384	377	761	388	373	761

Tabla 3. Variables climáticas en los periodos lluvioso y seco, durante dos años en la localidad de El Carmen (INAMHI, 2017).

El Carmen		2015			2016		
Variables meteorológicas		Lluvioso	Seco	Total	Lluvioso	Seco	Total
Precipitación (mm)		2536	961	3496	2366	440	2860
Temperatura (°C)	Máx.	29,6	28,6	29,1	30,0	28,6	29,3
	Mín.	21,9	20,3	21,1	20,3	19,1	19,7
	Media	25,77	24,4	25,1	25,1	23,9	24,5
Humedad relativa (%)		88,00	88	88	90	88	89
Heliofania (horas luz)		444	427	871	390	375	765

Tabla 4. Variables climáticas en los periodos lluvioso y seco, durante dos años en la localidad de Quevedo (INAMHI, 2017).

Quevedo		2015			2016		
Variables meteorológicas		Lluvioso	Seco	Total	Lluvioso	Seco	Total
Precipitación (mm)		2486	534	3020	1996	67,5	206
Temperatura (°C)	Máx.	30,8	30,1	30,4	30,8	30,1	30,5
	Mín.	23,1	22,5	22,8	23,4	21,6	22,5
	Media	27	26,3	26,6	27,1	25,8	26,5
Humedad relativa (%)		85	83	84	85	81	83
Heliofania (horas luz)		599	432	1030	501	362	863

El año 2015 fue más lluvioso que el 2016 siendo La Maná la localidad con mayor precipitación y se consideró que el período seco fue bueno mientras que el de 2016 fue más severo con precipitaciones muy bajas especialmente en Quevedo. Las temperaturas máxima, mínima y media de las tres localidades presentaron tendencias similares. Quevedo registró promedios de humedad relativa inferiores a las otras dos localidades en ambos periodos y años.

3.2 Descripción de las parcelas de ensayo

En la Maná y el Carmen se aprovecharon parcelas de plantaciones ya establecidas y dedicadas al monocultivo durante más de 25 años y parcelas con mínimo 5 años de dedicación a sistemas mixtos (mezcla) para los ensayos dedicados a estudiar los indicadores biológicos de resiliencia, la recuperación de productividad en monocultivos donde se ha introducido diversidad y también para analizar posibles diferencias en la microbiota del suelo y en la biodiversidad de artrópodos. Además en las 3 localidades se diseñaron y establecieron parcelas nuevas con el objetivo de estudiar la incidencia de las plagas y enfermedades frecuentes en el cultivo de bananas y plátanos (Tabla 5). Se tomaron datos en las parcelas durante dos años consecutivos, 2015 y 2016.

Tabla 5. Tipos de parcelas y ensayos realizados en ellas.

Tipo sistema Localidad	Monocultivo establecido hace > 25 años	Cultivo mixto establecido hace 5 años	Monocultivo y mixto diseñado y sembrado para este estudio
La Maná	Indicadores resiliencia, microbiota y artrópodos		Incidencia de plagas y enfermedades
El Carmen			
Quevedo	-	-	

3.2.1 Parcelas establecidas con anterioridad al estudio (Anexo I)

En la Maná y El Carmen se aprovechó la existencia de 1 plantación de 1 hectárea con un sistema mixto intraespecífico de musáceas establecido hace 5 años. En ambas se cultivan individualmente las mismas 12 variedades (Tabla 6) con la diferencia que el cultivar que hay sembrado a su alrededor es el banano Orito en la Maná y el plátano Barraganete en El Carmen. La distancia de siembra entre plantas y entre surcos es de 3,0 m. Estas parcelas están sujetas a manejo convencional donde los productores realizan labores de labranza mínima y una aplicación moderada de agroquímicos. Adicionalmente para efectos de comparación se escogió una parcela de monocultivo con las mismas dimensiones en ambas localidades y establecidas hace más de 25 años; una de banano Orito para La Maná y otra de plátano Barraganete para El Carmen. En estas plantaciones se realizan actividades de labranza fuerte y aplicación continua de agroquímicos. Se establecieron dos bloques de repetición por tipo de cultivo.

Tabla 6. Cultivares de *Musa* utilizados en el sistema mixto intraespecifico.

Cultivar (nombre en Ecuador)	Grupo genómico	Subgrupo ¹	Ploidia ¹
Plátanos (<i>Musa balbisiana</i>)			
	AB		
Limeño	AAB	Plantain tipo Iholena	Triploide
Maqueño	AAB	Plantain tipo Maia Maoli	Triploide
Dominico	AAB	Plantain tipo French	Triploide
Dominico gigante	AAB	Plantain tipo French	Triploide
Dominico negro	AAB	Plantain tipo French	Triploide
Dominico-Hartón	AAB	Plantain tipo French	Triploide
Barraganete	AAB	Plantain tipo Horn	Triploide
Bananas (<i>Musa acuminata</i>)			
	AA		
Guineo de seda	AAA	Gros Michel	Triploide
Williams	AAA	Cavendish	Triploide
Filipino	AAA	Cavendish	Triploide
Guineo de jardín	AAA	Cavendish	Triploide
Orito	AA	Sucrier	Diploide

¹Clasificación y ploidia de acuerdo a Daniells *et al.* (2001), Ploetz *et al.* (2007) y de Langhe *et al.* (2010).

El diseño experimental fue en forma de bloques distribuidos al azar donde se analizaron los siguientes factores: localidades (La Mana y El Carmen), sistemas de producción (mixtos y monocultivos), época del año (lluviosa y seca) y número de repeticiones (2).

3.2.2 Parcelas sembradas para el estudio

En las tres localidades de estudio se diseñaron y establecieron, durante el mes de marzo de 2014, parcelas nuevas y similares entre ellas tanto de monocultivos como mezclas (máximo cinco cultivares). El establecimiento de las parcelas se realizó con una población de 1333,33 plantas ha⁻¹ (2,5 m entre planta x 3,0 m entre hilera) utilizando plantas multiplicadas vegetativamente en invernaderos y con características agronómicas y sanitarias distintas frente a las plagas y enfermedades más habituales de las musáceas (Tabla 7).

Tabla 7. Características agronómicas y sanitarias de los cultivares en estudio

Cultivares	Sigatoka negra	Picudo negro	Nematodos	AP m	DF días	DC días	PR kg
Barraganete (AAB)	Sensible	Sensible	Sensible	2,5	300	415	16
Orito (AA)	Resistente	Resistente	Tolerante	2,5	270	308	10
Gros Michel (AAA)	Tolerante	Resistente	Tolerante	4,0	340	430	23
Maqueño (AAB)	Tolerante	Tolerante	Tolerante	4,0	360	428	23
Limeño (AAB)	Resistente	Tolerante	Sensible	4,0	280	350	20

AP = altura planta; DF = días a floración; DC = días a cosecha, PR = peso racimo

Las mezclas sembradas fueron de los cinco cultivares con mayor potencial de aceptación por parte de los productores: en El Carmen y Quevedo la variedad predominante local Barraganete que se combina con cuatro cultivares (Orito, Limeño, Maqueño y Gross Michel) con características de tolerancia a los problemas sanitarios prevalentes; en La Maná el ensayo tiene como base el cultivar Orito que es el principal cultivo comercial en el área.

Se tomaron datos de los ensayos realizados en ellas y se compararon las parcelas de monocultivo con las de mezcla, dando lugar a 16 combinaciones de cultivares mostradas en la Tabla 8.

Tabla 8. Combinación de cultivares usados en los diferentes niveles de mezclas, en función de sus características de resistencia a problemas fitosanitarios y sus características agronómicas.

Nº	Mezclas musáceas
1	Limeño + Barraganete
2	Limeño + Orito
3	Limeño + Gros Michel
4	Barraganete + Orito
5	Barraganete + Gros Michel
6	Orito + Gros Michel
7	Limeño (Monocultivo)
8	Barraganete (Monocultivo)
9	Orito (Monocultivo)
10	Gros Michel (Monocultivo)
11	Limeño + Barraganete + Orito + Gross Michel
12	Limeño + Maqueño
13	Maqueño + Orito
14	Maqueño (Monocultivo)
15	Maqueño + Barraganete
16	Limeño+ Barraganete + Orito + Gros Michel + Maqueño

La investigación se realizó bajo un diseño factorial con una distribución de bloques al azar y 4 repeticiones (Anexo II).

La combinación factorial se basó en: 3 zonas x 2 años x 2 épocas x 4 tipos de cultivos. De acuerdo con esto, la distribución en campo se realizó de la siguiente manera:

✓ **Factor 1: Localidades**

Nivel 1: La Mana, Nivel 2: Quevedo, Nivel 3: El Carmen

✓ **Factor 2: Años**

Nivel 1: 2015, Nivel 2: 2016,

✓ **Factor 3: Época**

Nivel 1: Lluviosa, Nivel 2: Seca

✓ **Factor 4: Cultivares**

Nivel 1: Monocultivos, Nivel 2: Mezclas de 2 cultivares, Nivel 3: Mezclas de 4 cultivares, Nivel 4: Mezclas de 5 cultivares

3.2.3 Labores realizadas en las parcelas

En todas las parcelas, establecidas con anterioridad o creadas para el estudio, se realizaron las siguientes labores:

- Deshoje fitosanitario quincenal, que consistió en la eliminación total de hojas dobladas y totalmente necrosadas por la Sigatoka negra.
- Eliminación de la partes necrosada en la hojas, esta actividad se la realizo quincenalmente.
- Deshije cada dos meses, cuidando de dejar un hijo para la siguiente generación seleccionando el más vigoroso.
- Deschante cada mes en la época lluviosa y cada 2 meses en la época seca. Consiste en eliminar el tejido seco de las plantas.
- Cosecha de fruta que se realizó con una frecuencia de cada 2 semana para la época lluviosa y cada 3 semana para la época seca
- Repique de cormos de las plantas cosechadas.
- Fertilización con dosis de (65 kg/ha de N, 45 kg/ha de P₂O₅ y 156 kg/ha de K₂O) distribuidos en la entrada y salida de la época lluviosa.
- Control de malezas manual cada mes en la época lluviosa y cada dos meses en la seca, después de evaluar las especies presentes.

3.3 Recogida de muestras

La recolección de muestras en las parcelas ya establecidas se realizó tanto en la época lluviosa como en la seca durante dos años consecutivos y en las dos localidades. Se tomó 1 muestra en cada uno de los 12 cultivares en el sistema mixto y 12 muestras similares en los monocultivos y se unificaron en una, respectivamente, de manera que

cada muestra unificada de cada parcela estuvo compuesta por 12 submuestras dando un total de 48 muestras (2 repeticiones x 2 épocas x 2 años x 2 sistemas x 3 localidades).

3.4 Parámetros estudiados

3.4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

Las propiedades físico-químicas del suelo evaluadas fueron: Textura (bouyoucos); pH (Suspensión suelo: agua (p/v) 1:1; potenciometría); Carbono orgánico oxidable (Walkley – Black; colorimetría); Fósforo disponible (Bray II; colorimetría); Determinación de los niveles de Calcio, Potasio, Magnesio y Sodio (Extracción con Acetato de amonio 1M, pH 7, absorción atómica), Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc (Extracción con DTPA; absorción atómica), Boro (extracción con fosfato monocálcico; Colorimetría) y acidez intercambiable (extracción con KCl 1N; valoración volumétrica).

3.4.2 Productividad

Se tomaron registros del peso del racimo en el momento de la cosecha dentro de cada parcela experimental. Se procedió a cortar parte del pedúnculo presente por encima de la primera mano, así como a la eliminación de la mano falsa. Posteriormente se colocaron en una balanza y se registraron los pesos netos por cada racimo sin considerar el raquis. Luego se extrapolo los rendimientos a una hectárea. Para el cálculo de cajas hectárea año, se calculó del rendimiento total por hectárea, considerando un índice de merma 16% por estropeo y sanidad y ajustando a un ratio de 0,8%. Con los valores del rendimiento obtenidos se calcularon el índice de eficiencia de la asociación o mezclas como la relación de equivalencia de la tierra (RET), descrita en Willey (1979) y Baldy & Stigter (1993).

3.4.3 Relación de equivalencia de la tierra (RET)

La RET se calculó como la suma de los rendimientos relativos de cada cultivar según la fórmula: $RET = (RC_{1A}/RC_{1M}) + (RC_{2A}/RC_{2M})$

Dónde:

RET = Índice de eficiencia.

RC1A = Rendimiento del cultivar uno en asociación.

RC2A = Rendimiento del cultivar dos en asociación.

RC1M = Rendimiento del cultivar uno en monocultivo.

RC2M = Rendimiento del cultivar dos en monocultivo.

3.4.4 Índice de infección de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)

El índice de infección de Sigatoka negra se determinó usando el método y la escala visual de Stover (1971) modificada por Gauhl (1994) (Tabla 9 y Fig. 4). Semanalmente se observaron 4 plantas por parcela desde los seis meses de edad y durante dos años para ver el progreso de la enfermedad en cada tipo de parcela. Para el efecto se muestrearon 4 plantas en la parcela útil de cada tratamiento hasta la floración y finalmente en el momento de la cosecha (10 semanas después de la floración). Este método de evaluación se basa en la cuantificación del estado de desarrollo de la enfermedad según los síntomas observados en las plantas afectadas (tipo y número de lesiones, número de hojas afectadas, porcentaje de área foliar afectada e infectada) a través de una estimación del área total foliar enferma, calculando para cada hoja el porcentaje de daño.

Tabla 9. Grados de la escala de Stover (1971) modificada por Gauhl (1994), para evaluar la incidencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en *Musa* sp.

Grado	Descripción del daño en la hoja
1	Hasta 10 manchas por hoja
2	Menos del 5% de área foliar enferma
3	De 6 al 15% de área foliar enferma
4	De 16 al 33% de área foliar enferma
5	De 34 al 50% de área foliar enferma
6	Más del 50% de área foliar enferma

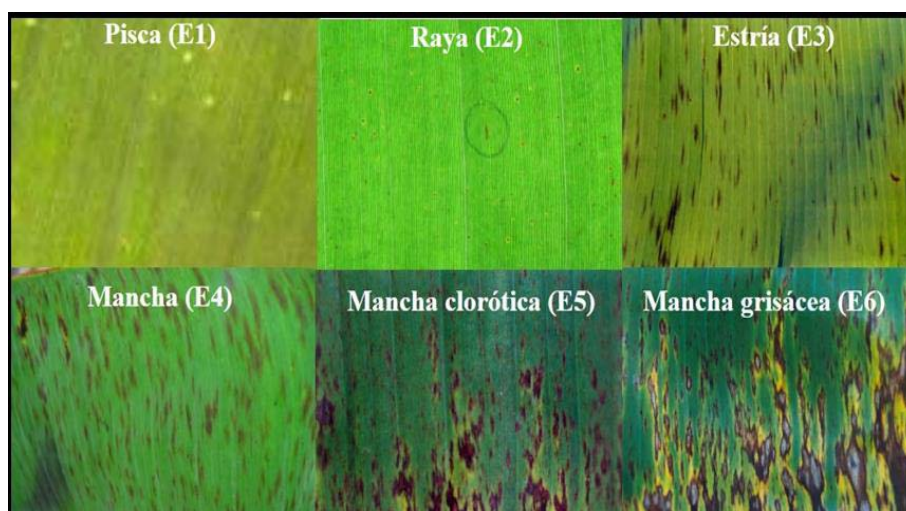


Figura 4. Escala de evolución de los síntomas de Sigatoka negra.

El cálculo del índice de la enfermedad se realizó utilizando la fórmula propuesta por Townsend y Heuberger modificada citados por Reyes (1995) como se describe a continuación:

$$IE (\%) = \frac{\sum (a * b)}{k * n} * 100$$

Donde,

IE (%) = Índice de la enfermedad en porcentaje

a = valores numéricos de la categoría de daño (escala de 0 a 6)

b = número de hoja afectadas por cada categoría de daño

k = número máximo de la escala (k=6)

n = número total de hojas evaluadas

3.4.5 Población de nematodos fitoparásitos

Para la recolección de las muestras de nematodos de vida libre del suelo se utilizó la metodología descrita por Pocasangre (2008), que consiste en seleccionar una planta de banano al inicio de su fase productiva (de dos a tres días después de emitir la inflorescencia). A 10 cm frente al hijo de sucesión se realizó una excavación con pala de aproximadamente 15 cm de profundidad y 13 cm de ancho. Se introdujo la pala de dos a tres veces en el mismo hoyo para obtener aproximadamente 0,5 kg de muestra de suelo por planta. Al final por cada muestreo se evaluaron un total de 48 plantas de musáceas (24 plantas por sistema de producción). Durante este experimento se realizaron un muestreo de suelo y raíz para época lluviosa y otro para la época seca.

De las mismas plantas muestreadas para nematodos de vida libre también se tomaron raíces para la extracción de nematodos fitoparásitos a una profundidad de 30 cm.

Para la extracción de nematodos se utilizó el método de Baermann modificado (Agrios, 1989; Bauer, 1991; Brathwaite y Sosa-Moss; 1995) después de pasar el suelo por tamices de 4 mm para eliminar partículas grandes. Una muestra de ese suelo (250 g) se humedeció por capilaridad; esto permite el paso de los nematodos del suelo a la solución de agua de forma activa. Transcurrido un tiempo de 48 horas después de haber colocado las muestras en el Baermann modificado, se recogió el agua y se filtró por una batería de tamices de 60 mesh, 140 mesh y 500 mesh para recolectar los nematodos

presentes. La suspensión de nematodos obtenida fue colocada en un plato para la identificación y conteo total de nematodos presentes en la muestra bajo microscopio.

Anualmente se registró la población de nematodos fitoparásitos presentes mediante análisis hematológico de raíces. Para determinar el daño causado por nemátodos en los cultivos se procedió a tomar muestras de los 20 primeros cm de raíces, al pie de una planta recién florecida. Para el análisis hematológico en raíces, se extrajeron tres submuestras por parcela para conformar una sola. En total sumaron 64 muestras por cada ensayo que fueron enviadas a analizar al Departamento Nacional de Protección Vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria del Ecuador, siguiendo el método de Taylor y Loegering (1953).

La salud radical, se midió con una escala de 1 a 5, donde 1 es completamente sano; 2, menos de 25 % de daño; 3, de 25 % a 50 % de daño; 4, de 50 % a 75 % y 5 más de 75 % de daño. El índice de necrosis se midió tomando al azar cinco raíces haciéndoles cortes longitudinales y midiendo el porcentaje de daño de cada raíz, considerando que cada raíz representa un 20 % y con la lectura de cinco raíces se completa el porcentaje 100 % por muestra analizada. Para la variable diámetro del sistema radical, a las cinco raíces seleccionadas se les midió el diámetro en la parte central con ayuda de un Vernier graduado en milímetros. Adicional a todo este procedimiento se pesó el sistema radical antes de realizar el estudio de las variables antes mencionadas.

Con los resultados obtenidos se determinó el índice de diversidad de Shannon-Wiener de familias a través de la fórmula: $H_t = -\sum t_i \log_2 t_i$ donde t_i es la proporción del total de la muestra que corresponde al taxón i . Combina dos componentes de la diversidad: el número de especies y la igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en las diversas especies.

También se analizó la equidad de familias como $E_t = H_t / H_{t_{\text{máx}}}$, donde $H_{t_{\text{máx}}} = \log_2$ (número de taxones). Compara la diversidad calculada con la diversidad máxima posible. No es una medida influenciada por los taxones abundantes o por la cantidad de taxones como sí lo es el índice de diversidad.

Finalmente se calculó el índice de madurez (Bongers, 1990) con la fórmula $MI = \sum v_i p_i$, donde v_i es el valor c-p en el taxón i y p_i es la proporción del taxón en la muestra. Se excluyen los nematodos fitófagos. Este índice determina el grado de sucesión alcanzado por un ecosistema y se basa en la ubicación de las familias de nematodos en cinco

grupos c-p que representan diferentes estrategias de supervivencia y requerimientos ecológicos.

En el análisis de los datos para cada variable se lo realizo con el Software estadístico NINJA: (Nematode Indicator Joint Analysis) (Sieriebriennikov, *et al.*, 2014)

3.4.6 Incidencia de Picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar)

Para evaluar la incidencia de Picudo negro se colocaron semestralmente 12 trampas por parcela tipo tajada o “sánduche” elaborada con porciones de pseudotallo de 80 cm de longitud con cuatro cortes transversales de 10 a 15 cm de ancho y dentro de ellas se introdujeron pedazos de piña que sirvieron como atrayente de los adultos de picudo negro. Las trampas se colocaron en el centro de cada parcela y fueron cubiertas con hojas de plátano para evitar su rápida deshidratación.

Con el objetivo de tener una determinación y comparación de la severidad del daño, se utilizó la escala del coeficiente de infestación (Vilardebo) citado por (Velez, 2011), donde se calcula el porcentaje de tejido perforado por las larvas de picudo. Esta escala nos permitió evaluar el daño producido a cada uno de los cultivares determinando la susceptibilidad y resistencia de los mismos. Se contabilizó el número de galerías producidas por las larvas de picudo negro entre los cultivares de musáceas, realizando un corte horizontal-transversal en los cormos de 4 plantas por tratamiento en el momento de la cosecha (2 cosechas al año).

Para simplificar esta evaluación visual se agrupo el daño en ocho niveles:

0 = Ausencia de galería

5 = Presencia de vestigios (pizcas)

10 = Infestación intermedia entre 5 y 20

20 = Presencia de galerías alrededor de una cuarta parte del contorno del cormo

30 = Valor intermedio entre 20 y 40

40 = Presencia de galerías alrededor de la mitad del contorno del cormo

60 = Presencia de galerías alrededor de tres cuartas partes del contorno del cormo

100 = Presencia de galerías sobre todo el contorno del cormo

3.4.7 Carga microbiana del suelo

La determinación de carga microbiana del suelo se realizó en el horizonte superficial a 0 -10 cm de profundidad mediante la técnica del conteo en placas Petri o Unidades Formadoras de Colonias (UFC), utilizando medios de cultivos específicos para cada grupo funcional; bacterias (agar nutritivo), hongos (Agar Rosa de Bengala), actinomicetes (Agar Caseína), solubilizadores de fosforo (Agar Ramos Callao), celulolíticos (Agar Extracto de suelo) y fijadores de nitrógeno (Agar Watanabe).

Las extracciones de DNA total de las muestras de suelo se realizaron mediante el kit comercial PowerSoil DNA isolation kit (Mo Bio Laboratories, Loker Ave West, Carlsbad), el cual no requiere la ulterior purificación del DNA para aplicaciones posteriores, siguiendo las instrucciones del fabricante. En el caso de las muestras de suelo se utilizaron 250 mg de muestra previamente homogeneizada y tamizada a 2 mm. Se midió el radio de absorbancia 260/280 y concentración en $\text{ng } \mu\text{l}^{-1}$ mediante técnica espectrofotométrica (Tabla 10).

Tabla 10: Resultados de absorbancia y concentración del ADN de las muestras de suelo (R1 y R2 réplica 1 y 2, respectivamente).

Código	Tipos de muestras	Abs. 260/280	$\text{ng } \mu\text{l}^{-1}$
A	La Mana, Monocultivo, Época seca, R1	1,81	30,8
B	La Mana, Monocultivo, Época seca, R2	1,88	27,4
C	La Mana, Mixto, Época seca, R1	1,92	31,1
D	La Mana, Mixto, Época seca, R2	1,88	23,2
E	El Carmen, Monocultivo, Época seca, R1	1,98	19,6
F	El Carmen, Monocultivo, Época seca, R2	2,03	16,8
G	El Carmen, Mixto, Época seca, R1	1,92	19,4
H	El Carmen, Mixto, Época seca, R2	1,87	21,7
I	El Carmen, Monocultivo, Época lluviosa, R1	1,18	36,8
J	El Carmen, Monocultivo, Época lluviosa, R2	0,89	16,6
K	El Carmen, Mixto, Época lluviosa, R1	1,17	33,8
L	El Carmen, Mixto, Época lluviosa, R2	1,22	32,2
M	La Mana, Monocultivo, Época lluviosa, R1	1,21	32,5
N	La Mana, Monocultivo, Época lluviosa, R2	1,19	28,6
O	La Mana, Mixto, Época lluviosa, R1	1,23	32,4
P	La Mana, Mixto, Época lluviosa, R2	1,13	34,1

Se amplificó con primers universales para el fragmento 16S y 18S del cistron de RNA ribosomal, (1492R & 27F) posteriormente se realizó una corrida electroforética con 1kb

DNA ladder (Labnet International, Inc.) en gel de agarosa al 1% y se purificaron con el kit MinElute GelR Extraction Kit (QIAGEN) a partir de la escisión de las bandas de interés con un bisturí estéril. Los productos purificados se cuantificaron mediante NanoDrop para garantizar una concentración mínima de 20 ng/μl, y se enviaron a secuenciar a Molecular Research DNA Lab (Shallowater, TX, USA).

El análisis de diversidad de microorganismos (hongos y bacterias) se realizó mediante la técnica molecular de Pirosecuenciación de librerías del gen ARNr 16s para bacterias y 18s para hongos (bar-coded pyrosequencing).

Los cebadores de PCR de la región variable V4 del gen rRNA 16S y 18S 515/806 (Caporaso et al 2011) se usaron en un PCR de 30 etapas de un solo paso usando el Kit Master Mix de HotStarTaq Plus (Qiagen, EE.UU.) bajo las siguientes condiciones: 94°C durante 3 Minutos, seguido de 28 ciclos (5 ciclos usados en productos de PCR) de 94°C durante 30 segundos, 53°C durante 40 segundos y 72°C durante 1 minuto, después de lo cual se realizó un paso final de alargamiento a 72°C durante 5 minutos Realizada. La secuenciación se realizó en MR DNA (www.mrdnalab.com, Shallowater, TX, USA) en una PGM de Ion Torrent siguiendo las directrices del fabricante. Los datos de secuencia se procesaron usando una tubería de análisis patentada (MR DNA, Shallowater, TX, USA). En resumen, las secuencias se agotaron de códigos de barras y cebadores, luego se eliminaron secuencias <150 pb, se eliminaron secuencias con llamadas de base ambiguas y con corridas de homopolímero superiores a 6 pb. Se destruyeron las secuencias, se generaron OTU y se eliminaron las quimeras. Las unidades taxonómicas operacionales (OTU) se definieron agrupando con una divergencia del 3% (97% de similitud). Las OTU finales se clasificaron taxonómicamente utilizando BLASTn contra una base de datos curada derivada de Green Genes, RDPII y NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov, De Santis et al 2006, <http://rdp.cme.msu.edu>).

3.4.8 Diversidad de artrópodos

Las trampas utilizadas para la recolección de artrópodos fueron de dos tipos:

-Trampas Pozo o de caída; son recipientes de capacidad un litro que se colocan enterrados a nivel de la superficie del suelo y retienen cualquier organismo que, al desplazarse por el suelo, se introduzca por caída dentro del envase. Se utilizó agua y detergente líquido en su interior y se mantuvieron enterradas durante 72 horas.

-Trampas Cromáticas; consisten en platos de plástico amarillo de 18 cm de diámetro, colocados en el suelo con una solución de agua y jabón líquido, durante 3 horas.

Se recolectaron un total de 80 muestras divididas en 40 muestras por cada localidad y éstas a su vez estuvieron subdivididas en 10 muestras por cada sistema de producción y tipo de trampa utilizada.

Para la identificación de los especímenes recolectados se utilizaron las claves taxonómicas (caracteres morfológicos), llegando al nivel de órdenes y familia. Se trató hasta donde fue posible, de diferenciar entre individuos benéficos y dañinos (Borror and Delong's. 2004).

3.4.9 Abundancia de Lombrices

Las lombrices fueron recolectadas y cuantificadas manualmente durante la época lluviosa a una profundidad de 10 cm; para ello se utilizó un cuadrado de 25 x 25 cm.

3.4.10 Tipo e intensidad de malezas

Se realizó un análisis de frecuencia y abundancia, para determinar la dominancia de cada especie y observar diferencias entre los sistemas, el área monitoreada estaba representada por una hectárea donde se demarcaron 26 cuadrantes de 0,33m×1m de donde se colectaron 3 sub muestras siguiendo metodología descrita por Ladrada (2004).

Para determinar los parámetros de diversidad se realizó un muestreo cuantitativo de número de individuos de cada especie de malezas el cual se extrapoló al metro cuadrado obteniendo el número de individuos por metro cuadrado en cada cuadrante del monitoreo. La identificación de las especies se realizó utilizando bibliografía específica (Ordeñana, 1992;, *et al.*, 1984; CENICAFE, 1987).

3.5 Análisis estadístico de datos

El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza combinado y análisis individuales para cada parcela. Cuando el ANOVA detectó diferencias significativas, se realizó una separación de medias usando la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5 %. ($p \leq 0,05$).

También se utilizó un análisis multivariado de componentes principales para correlacionar las variables de estudios con los diferentes ambientes y periodos de evaluación sanitaria. Dada la naturaleza de este experimento, tratando de racionalizar la

información que se deriva de ella, las variables se analizó desde dos puntos de vista distintos: por un lado, la situación de las mezclas mismo (el diseño incluye el monocultivo o un solo cultivar/parcela, hasta la mezcla de los cinco cultivares, el número de mezclas estará dispuesto de acuerdo al número de componentes o cultivares que lo integren, donde también se hizo un análisis estadístico de acuerdo al número de componentes).

Para analizar la diversidad de artrópodos se realizó un análisis de varianza factorial y un análisis de componentes principales Biplot utilizando el programa estadístico INFOSSTAT 2014 (Balzarini et al. 2014), y se determinó la abundancia, riqueza, diversidad y similitud de la macrofauna del suelo por localidad y sistema de producción mediante el programa estadístico PAST (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Indicadores de resiliencia en los agroecosistemas

Los indicadores de resiliencia tanto físico-químicos como de biodiversidad y genéticos se estudiaron en las localidades de La Maná y El Carmen en agroecosistemas de monocultivo y mixtos ya establecidos y donde se cultivan musáceas desde hace más de 25 y 5 años, respectivamente.

4.1.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

Los sistemas agrícolas en las localidades estudiadas presentan niveles de pH variables (Tabla 11), en un rango estrecho de 5,5 a 6,4, destacando que en las parcelas con monocultivos tienen valores de pH medios ligeramente menores que los encontrados en los sistemas mixtos. Es normal que los suelos de estos sistemas presenten una acidez media, ya que al ser de formación aluvial y por el uso intensivo de agroquímicos en la plantación, la rizosfera tiende a acidificarse.

Según el porcentaje de arena, limo y arcilla, se trata de suelos de textura franco-arenosa y franco-limosa. Estos datos indican que estas parcelas reúnen las condiciones edafológicas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos de musáceas (Tabla 11).

El contenido en materia orgánica (MO) se usa con frecuencia como indicador de calidad del suelo pero según Coleman et al. (2004) no necesariamente tiene que estar asociado con un mejor estado del sistema. En los sistemas mixtos de nuestro estudio los contenidos en MO, amonio y nitrógeno total fueron mayores que en los monocultivos. La entrada de MO proviene principalmente de la vegetación o de los residuos de cosechas, siendo un recurso energético rápidamente explotado por los invertebrados edáficos (Galantini & Suñer, 2008). Según Coleman et al. (2004). Esta situación podría reflejar la acumulación del carbono orgánico en los suelos, además de la inmovilización de nutrientes esenciales tal como el nitrógeno y el amonio.

Tabla 11. Propiedades físicas y químicas de las parcelas ya establecidas.

	La Maná		El Carmen	
	Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
pH	5,9	5,5	6,4	6,0
NH ₄ (ppm)	26	24	27	24
Fosforo (ppm)	5	5	5	7
Potasio (meq/100ml)	0,17	0,16	0,19	1,19
Calcio (meq/100ml)	4,0	5,0	7,0	7,0
Magnesio (meq/100ml)	1,1	1,0	1,3	1,5
Azufre (ppm)	16	9	13	11
Zinc (ppm)	1,9	2,2	5,0	5,5
Cobre (ppm)	4,8	5,6	5,3	7,6
Hierro (ppm)	169	179	168	181
Manganeso (ppm)	2,2	3,2	2,9	2,7
Boro (ppm)	0,38	0,34	0,32	0,46
Materia Orgánica (%)	4,3	2,9	4,0	3,2
Nitrógeno (%)	0,42	0,35	0,39	0,36
Textura	Franco	Franco-Arenoso	Franco-Limoso	Franco-Limoso

El contenido en fosforo no presento variación en ambos tipos de sistemas agrícolas, considerándose bajo. Lo mismo sucedió con el contenido de potasio exceptuando el de El Carmen el cual fue más alto en el sistema monocultivo, debido al manejo intensivo y a las elevadas aplicaciones de fertilizantes potásicos. Las concentraciones de calcio, magnesio, azufre y zinc estuvieron dentro de las concentraciones medias en todos los sitios y sistemas agrícolas. La cantidad de hierro encontrada fue alta debido a la elevada precipitación de las localidades y a los pH ácidos.

4.1.2 Diversidad y abundancia de artrópodos

Los artrópodos observados en las parcelas de estudio están distribuidos en tres clases y ocho órdenes (Tabla 12) por sistema agrícola y por localidad. La mayor cantidad de especímenes observados corresponde a la clase Insecta o Hexápoda, de los órdenes Collémbola e Hymenóptera de la localidad de La Maná, con 59,6% y 29,6% en el sistema mixto y con 47,6% y 37,7% en el sistema monocultivo, respectivamente. En la localidad de El Carmen el orden más abundante fue el Hymenóptera, con 61,9% en el sistema mixto y 77,2% en el monocultivo. Los grupos menos representados fueron los órdenes Prostigma y Spirobolida, con porcentajes inferiores a uno en cada uno de los sistemas agrícolas y localidades estudiadas.

La Maná es una zona con características climáticas (Tabla 2 y 3) más húmedas (precipitación y humedad relativa) que El Carmen por lo que tiene condiciones más favorables para el desarrollo y conservación de estos grupos de insectos, haciendo que sus agroecosistemas sean más estables y diversos. Aun así, hay diferencias significativas entre los ecosistemas teniendo los sistemas mixtos más cantidad de especímenes que los monocultivos. Estos resultados no solo están relacionados con los factores climáticos de la localidad sino probablemente también con factores edáficos, de disponibilidad de nutrientes y biodiversidad de las zonas, como han manifestado otros autores que han trabajado en agroecosistemas de otras latitudes (Behan-Pelletier, 1999; Büchs, 2003). En varios estudios se ha establecido una relación directa entre la abundancia de colémbolos y la humedad edáfica (Thomas y Marshall ,1999; Culik, 2002; Cutz-Pool, 2003) igual que ocurre en La Maná. Los colémbolos juegan un importante papel funcional en los procesos de descomposición de la materia vegetal muerta y son capaces de fraccionar y triturar los restos vegetales, lo que aumenta la implantación de la microflora mejorando el ciclo de nutrientes (Bellinger et al., 2003; Cassagne, 2003). Los alimentos que ingieren, una vez degradados, son incorporados al suelo en forma de millones de bolitas de heces fecales que benefician las raíces, por la liberación continua de nutrientes, en la medida que estas son desintegradas por los microorganismos edáficos (Chocobar, 2010). Los colémbolos intervienen en la formación de humus ayudando en la formación de las características del suelo por lo que se les considera un indicador directo de estabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas.

Por otra parte, también participan en el mantenimiento de las concentraciones de hongos y nematodos favorables para el crecimiento de las plantas; pero además pueden comer hongos patógenos y con ello disminuyen las concentraciones fungosas en los cultivos, por lo que se utilizan como bioindicadores de la contaminación del suelo (González et al., 2003). Estos hexápodos constituyen indicadores del pH del suelo y la humedad; algunas especies son sensibles a los productos químicos, mientras que otras aumentan su densidad. También sirven para revelar las diferencias entre los bosques, así como en la evolución de los ecosistemas con diferentes grados de perturbación (Palacios-Vargas, 2000).

Tabla 12. Abundancia de Artrópodos distribuidos por grupos taxonómicos, por sistema agrícola (mixto y monocultivo) y por localidad (El Carmen y La Maná).

Clase	Orden	La Maná				El Carmen			
		Mixto	%	Mono	%	Mixto	%	Mono	%
Arachnida	<i>Aracnida</i>	25	1	19	1,2	26	2,8	26	3,2
	<i>Prostigmata</i>	0	0	6	0,4	10	1,0	2	0,2
Hexapoda	<i>Coleoptera</i>	41	1,5	39	2,4	37	4,0	20	2,4
	<i>Collembola</i>	1601	59,6	758	47,6	136	14,5	9	1,1
	<i>Diptera</i>	98	3,6	49	3,1	111	12	95	11,6
	<i>Hemiptera</i>	90	3,4	43	2,7	29	3,0	14	1,7
	<i>Hymenoptera</i>	795	29,6	601	37,7	579	62	632	77,2
	<i>Orthoptera</i>	30	1	77	4,8	5	0,5	18	2,2
Diplopoda	<i>Spirobolida</i>	6	0,2	1	0,1	3	0,3	3	0,4
Total		2686	100	1593	100	936	100	819	100

Al realizar la clasificación taxonómica de los artrópodos se identificaron familias que poseen individuos beneficiosos al ser depredadores o parasitoides de plagas presentes en los cultivos, siendo mayor el número de familias beneficiosas en La Maná (Figura 5 y Tabla 13).

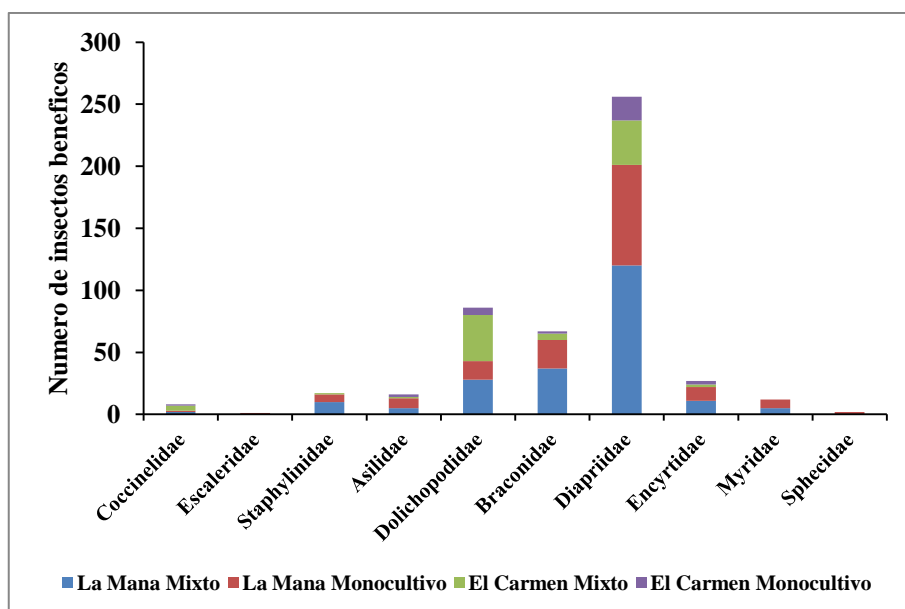


Figura 5. Número de especímenes beneficiosos distribuidos por familia en la Maná y El Carmen y por tipo de sistema agrícola.

La familia más común de insectos beneficiosos es la Braconidae que se reconoce por ser endo ó ecto parasitoides con estrategia idiobionte atacando exclusivamente Lepidópteros, Coleópteros y Dípteros en diferentes etapas de desarrollo y que mayoritariamente se localizó en los sistemas mixtos. Las avispas de la familia Diapriidae, se encuentran comúnmente en microhábitats húmedos y áreas sombrías como los ecosistemas de La Maná y en mayor abundancia en el sistema mixto. Principalmente son endoparasitoides y depredadores primarios de díptera (pupa), aunque algunas especies son parasitoides de grupos de otros órdenes (Fernández & Sharkey 2006; Quintero et al. 2012). Parasitoides de la familia Diapriidae han sido reportados como endoparasitoides de moscas del género *Dasiops* en diferentes cultivos.

Varios estudios en diferentes modelos de policultivo han demostrado que la composición y diversidad de plantas en o alrededor de los sistemas de producción influyen en el número de insectos (incluyendo parasitoides) Esto ocurre porque cumplen el papel de atraer a los enemigos naturales ofreciendo recursos tales como microhábitats y alimentos que, en el caso específico de los parasitoides, pueden ser determinantes para la riqueza de sus especies, su longevidad y su nivel de parasitismo (Araj et al. , 2008; Letourneau et al., 2011).

Tabla 13. Números de Artrópodos beneficiosos observados y distribuidos por sistema agrícola (mixto y monocultivo) y localidad (El Carmen y La Maná).

Orden	Familia	La Maná		El Carmen	
		Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
Coleóptera	<i>Coccinellidae</i>	2	1	4	1
	<i>Escaleridae</i>	0	1	0	0
	<i>Staphylinidae</i>	10	6	1	0
Díptera	<i>Asilidae</i>	5	8	1	2
	<i>Dolichopodidae</i>	28	15	37	6
Himenóptera	<i>Braconidae</i>	37	23	5	2
	<i>Diapriidae</i>	120	81	36	19
	<i>Encyrtidae</i>	11	11	2	3
	<i>Myridae</i>	5	7	0	0
	<i>Sphecidae</i>	0	2	0	0
Total		218	155	86	33

El mayor número de artrópodos (2686) se obtuvo en el sistema mixto de La Maná (Tabla 12), mientras que la cantidad capturada en El Carmen fue bastante similar en ambos sistemas de producción y en total un 40% inferior a la de La Maná. La diferencia

entre los sitios puede deberse a las características climáticas del sitio donde se observa una mayor precipitación, temperatura, humedad relativa y a las diferentes texturas del suelo y una mayor presencia de materia orgánica en el suelo de La Maná. La diferencia también podría deberse a la estabilidad del sistema, 5 años frente a 30 años, y a la aplicación de agroquímicos más altos en los sistemas de monocultivo que en los mixtos.

Nuestros resultados están en concordancia con los de Lavelle (1992) que considera que los artrópodos en el suelo de El Carmen son inferiores en abundancia porque deben adaptarse a hábitats donde las fluctuaciones micro-climáticas pueden ser muy fuertes y suelen tener suelos compactos con bajo contenido de oxígeno y con pocos espacios abiertos y baja disponibilidad y calidad de los alimentos.

De acuerdo con los datos de los índices de diversidad (Fig. 6) se observa una tendencia homogénea en cuanto a la diversidad (Shannon_H) e igualdad (Evenness_e^H/S) de artrópodos del suelo excepto en el sistema monocultivo de El Carmen que registro un índice inferior en comparación con las otros sistemas agrícolas y localidades. Por otra parte, el sistema agrícola y la localidad no ejercen influencia sobre la dominancia (Simpson 1-D) y la equidad (J) de los artrópodos.

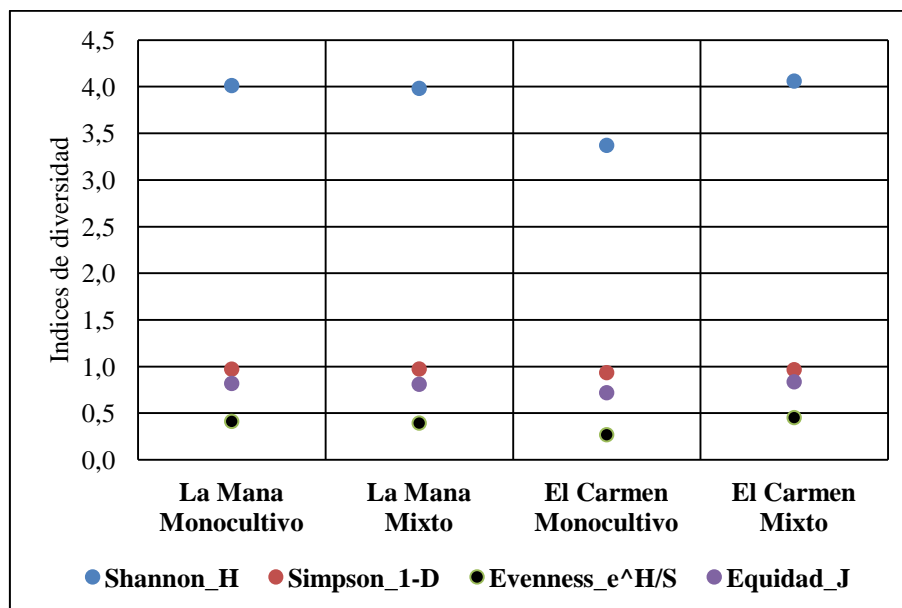


Figura 6. Valores de los índices de biodiversidad de Simpson (1-D) y sus tres componentes Dominancia (D), Riqueza (e^H/S) y Equidad (J) en función del sistema agrícola y la localidad, considerando la cantidad de artrópodos observados.

El sistema agrícola influye sobre la abundancia en órdenes Díptera ($p > 0,01$) y Orthóptera ($p < 0,01$), y para el factor Localidad se encontró diferencias significativas

para los órdenes Collémbola ($p>0,01$) y Hemíptera ($p>0,01$). No existen diferencias significativas entre los dos sistemas de cultivo y las localidades para órdenes Arácnidos, Coleóptera, Hymenóptera, Prostigmata y Spirobolida. (Tabla 14). Estos órdenes tienen gran capacidad de adaptación a diversos ambientes y sus largos ciclos de vida en algunas especies, posibilitan su presencia durante todo el año (Navarrete & Newton, 1996). Además, algunas especies influyen en la transformación de residuos biodegradables, especialmente la materia orgánica depositada sobre la superficie del suelo, la cual es incorporada al sistema edáfico, a través de los túneles y canales que los coleópteros excavan, lo que facilita la infiltración y aireación del suelo (Chamorro, 2001).

Tabla 14. Influencia de los sistemas agrícolas en las poblaciones de artrópodos. Resultados del análisis de varianza factorial al comparar los factores sistema agrícola (mixto y monocultivo) y localidad (El Carmen y La Mana). A los valores se les ha aplicado la transformación raíz cuadrada($x+1$) antes del análisis.

Orden	Factor	Cuadrados medios	F	p-valor
Araneae	Localidades	0,1	1,4	0,2
	Épocas	11,1	169	0,0
	Sistemas agrícolas	0,01	0,2	0,7
	Localidades*Épocas	0,0	0,1	0,8
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,1	1,2	0,3
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,2	3,4	0,1
Coleoptera	Localidades	0,6	12,8	0,001
	Épocas	4,4	89,2	0,00
	Sistemas agrícolas	0,7	13,7	0,00
	Localidades*Épocas	0,1	1,9	0,18
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,3	6,22	0,02
	Épocas*Sistemas agrícolas	1,1	21,89	0,00
Collembola	Localidades	576	247	0,0
	Épocas	0,7	0,3	0,6
	Sistemas agrícolas	103	44,4	0,0
	Localidades*Épocas	5,4	2,3	0,1
	Localidades*Sistemas agrícolas	12,9	5,5	0,02
	Épocas*Sistemas agrícolas	3,0	1,3	0,26
Diptera	Localidades	0,7	1,6	0,2
	Épocas	14,8	33,7	0,0
	Sistemas agrícolas	4,8	10,9	0,002
	Localidades*Épocas	0,1	0,2	0,6
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,1	0,3	0,6
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,2	0,4	0,5

Hemiptera	Localidades	7,7	49,4	0,00
	Épocas	0,5	3,6	0,06
	Sistemas agrícolas	3,2	22,2	0,00
	Localidades*Épocas	3,8	26,3	0,00
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,6	4,3	0,04
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,21	1,48	0,227
Hymenoptera	Localidades	16,07	11,16	0,001
	Épocas	183,74	127,62	0,000
	Sistemas agrícolas	5,20	3,61	0,061
	Localidades*Épocas	33,49	23,26	0,000
	Localidades*Sistemas agrícolas	1,85	1,28	0,261
	Épocas*Sistemas agrícolas	3,13	2,17	0,145
Orthoptera	Localidades	8,06	29,27	0,000
	Épocas	2,19	18,81	0,000
	Sistemas agrícolas	3,03	26,05	0,000
	Localidades*Épocas	0,05	0,43	0,512
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,59	5,10	0,027
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,57	4,93	0,030
Prostigmata	Localidades	0,08	8,10	0,006
	Épocas	0,68	72,90	0,000
	Sistemas agrícolas	0,01	0,90	0,346
	Localidades*Épocas	0,08	8,10	0,006
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,41	44,10	0,000
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,01	0,90	0,346
Spirobolida	Localidades	0,00	0,12	0,730
	Épocas	0,36	20,28	0,000
	Sistemas agrícolas	0,05	3,00	0,088
	Localidades*Épocas	0,00	0,12	0,730
	Localidades*Sistemas agrícolas	0,05	3,00	0,088
	Épocas*Sistemas agrícolas	0,05	3,00	0,088

El índice de diversidad de Simpson para cada grupo taxonómico y por localidad se puede ver en la Tabla 15. En La Maná se obtuvo un índice de 0,59, indicando que este sitio tiene las características adecuadas para el hábitat de diferentes organismos, siendo un ecosistema equilibrado. Por el contrario, en El Carmen se obtuvo un índice de 0,49, siendo este ecosistema en gran medida desequilibrado y con condiciones menos favorables para el desarrollo de muchos artrópodos, en relación con La Maná.

Tabla 15. Índice de Simpson para cada una de las categorías taxonómicas de artrópodos encontrados en El Carmen y La Maná.

Orden	La Maná		El Carmen	
	Nº Individuos	Simpson	Nº Individuos	Simpson
<i>Arácnida</i>	52	0,00015	44	0,00063
<i>Coleoptera</i>	80	0,00035	57	0,00106
<i>Collembola</i>	2359	0,30280	145	0,00689
<i>Díptera</i>	147	0,00118	206	0,01390
<i>Hemíptera</i>	133	0,00096	43	0,00061
<i>Hymenoptera</i>	1396	0,10604	1211	0,48051
<i>Orthoptera</i>	107	0,00062	23	0,00017
<i>Prostigmata</i>	6	0,00000	12	0,00005
<i>Spirobolida</i>	7	0,00000	6	0,00001
Total	4287	0,41	1747	0,50
	1-D	0,59	1-D	0,49

Según el coeficiente de Jaccard, la mayor semejanza basada en las familias de artrópodos, se encontró entre los sistemas mixto y monocultivo de ambas localidades, con un 80% (Tabla 16). A nivel de órdenes se pudo observar una estrecha similitud del 100% entre monocultivo (La Mana) y mixto (El Carmen). Los sistemas mixtos (La Mana) y el monocultivo (El Carmen) presentaron un bajo porcentaje de similitud (Tabla 17).

Tabla 16. Comparación del Índice Similitud de Jaccard (%) entre las localidades y los sistemas de producción, en base a las diferentes Familias de artrópodos.

Localidades/Sistemas Agrícolas	El Carmen, Mixto	La Mana, Monocultivo	La Mana, Mixto
El Carmen, Monocultivo	0,8 (80%)	0,55 (55%)	0,42 (42%)
El Carmen, Mixto	--	0,57 (57%)	0,52 (52%)
La Mana, Monocultivo	--	--	0,79 (79%)

Tabla 17. Comparación del Índice Similitud de Jaccard (%) entre las localidades y los sistemas de producción, en base a los diferentes Ordenes de artrópodos.

Localidades/Sistemas Agrícolas	El Carmen, Mixto	La Mana, Monocultivo	La Mana, Mixto
El Carmen, Monocultivo	0,88 (88%)	0,88 (88%)	0,56 (56%)
El Carmen, Mixto	--	1 (100%)	0,88 (88%)
La Mana, Monocultivo	--	--	0,88 (88%)

En el análisis factorial, la escasa dispersión de los puntos observada para los factores localidades-orden-sistema agrícola (Figura 3) puede estar relacionada con el número relativamente alto de órdenes específicos, lo que favorecería la caracterización de los ecosistemas. Como puede observarse en el análisis de componentes principales (PCA), se separan las estaciones, la estación lluviosa se distingue más y con pocos artrópodos, a diferencia de la estación seca donde se concentra la mayor cantidad de artrópodos. Se observa mayor variabilidad entre los órdenes presentes en las diferentes localidades y según la estación del año (lluvioso y seco) en la que se analiza el sistema agrícola. En La Maná, Hemiptera y Collembola están más asociados a la estación seca y al sistema agrícola mixto, mientras que Coleópteros y Orthoptera están relacionados con a la estación seca y el sistema de producción de monocultivos. En El Carmen, Hymenoptera, Arachnida y Diptera están más presentes en la estación seca y el sistema de producción mixta y Prostigmata en la estación seca y en el agrosistema de monocultivos. Estos dos ejes representan el 55,0% de la variabilidad total observada (Figura 7).

Uno de los aspectos más importantes derivados de estos resultados es que, un sistema más diverso presenta una mayor diversidad de artrópodos asociados y puede depender de la escala y el contexto. Esta diversidad está estrechamente relacionada con la diversidad de plantas en el ecosistema y las condiciones climáticas del sitio (Dassou et al., 2016). Haddad et al. (2001) demostraron que la identidad de las especies vegetales determina la abundancia de artrópodos, así como afecta diferentes procesos ecológicos dentro de los ecosistemas agrícolas, procesos como la acumulación de biomasa, las tasas de descomposición y la humedad del suelo (Monocultivo y mixto). Así, los resultados de la diversidad de artrópodos pueden estar más influenciados por los efectos de la composición de las plantas que por los efectos del número de especies (Haddad et al., 2001; Rzanny et al., 2013). Por otra parte, el estudio de Rzanny et al., 2013 se llevó a cabo en la región templada. Mientras que los inviernos en clima templado inducen un colapso anual en la abundancia de todos los taxones, un clima tropical es relativamente estable y por lo tanto apoya una comunidad relativamente menos perturbada. Se argumenta que las condiciones relativamente estables en los agrosistemas basados en musa mixta del presente estudio (estos sistemas tenían por lo menos 5 años de edad) permitieron una comunidad de plantas estable durante años, y la presencia de un cultivo perenne refuerza esta estabilidad. Otro factor que contribuye al establecimiento de una comunidad de artrópodos relativamente estable en estos agrosistemas de musáceas mixtas es la aplicación baja a moderada de tratamientos con pesticidas.

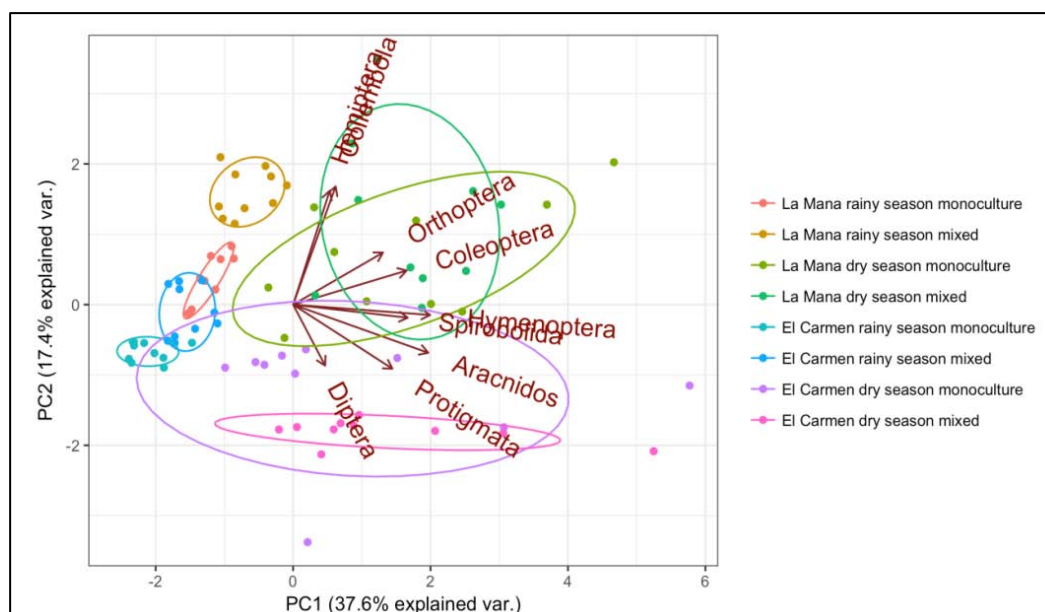


Figura 7. Análisis de componentes principales (Biplot) entre localidades, épocas, sistemas agrícolas y número de órdenes de artrópodos encontrados.

4.1.3 Comunidad de nematodos

En la Tabla 18 se muestran las variables utilizadas (diversidad y madurez) para analizar la comunidad de nematodos en cada una de las localidades y ecosistemas agrícolas y poder evaluar el estado de los ecosistemas y el efecto de las alteraciones en estos.

En cuanto a la diversidad (índices de diversidad y de equidad), se observan pocas diferencias entre los dos tipos de sistemas. Aunque algunos estudios indican que las alteraciones causadas por el tipo de manejo pueden provocar el descenso en el valor del índice de diversidad, otros reportan poca o ninguna diferencia entre sistemas alterados y no alterados (Neher y Campbell, 1994; Neher, 1995). En muchos casos el tipo de sistema agrícola y las actividades agrícolas que se realizan en ellos provocan la disminución en la abundancia de nematodos del suelo (Hodda et al., 1997).

Esta discrepancia se debe a que los cambios son más evidentes en la composición de la comunidad que en su diversidad. El sistema mixto, aunque no tuvo el mayor índice de diversidad, sí muestra el valor más alto de equidad, lo que indica una mejor distribución del total de los individuos en las familias presentes. El índice de madurez refleja mejor los cambios en el ecosistema. El sistema mixto, tiene mayor índice, mientras que los sistemas monocultivos tienen índices menores especialmente en El Carmen que se maneja de una forma más intensiva como muchas entradas de fertilizantes y pesticidas.

La cantidad encontrada de fitonematodos en el sistema monocultivo fue elevada con respecto al sistema mixto para los dos sitios; sin embargo, las poblaciones varían a

través del tiempo ya que los mismos son atraídos hacia las plantas por exudados de éstas. Además, existen otros factores como el contenido de agua del suelo, el tamaño de poros, u otros factores bióticos que dan como resultado una distribución espacial. Agrios (1989) y Coto (1991) indican que, debido a la íntima relación de los fitonematodos con sus plantas hospedantes, éstos son habitantes de la interfase raíz-suelo, lo cual difiere considerablemente del resto de la masa del suelo. Según Araúz (1998), las especies fitoparásitas forman un porcentaje mayor de la nematofauna en agroecosistemas que en ecosistemas naturales. Dicho autor indica que el nematodo *R. similis* causa severos daños en el cultivo de musáceas, y esto es motivo por el cual se aplican grandes cantidades de nematicidas en las áreas del trópico donde se cultivan.

Tabla 18. Variables calculadas para la comunidad de nematodos en dos sistemas agrícolas en las localidades de La Maná y El Carmen.

Descripción de los ecosistemas agrícolas	La Maná		El Carmen	
	Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
Nematodos / 100 g suelo	887	1031	177	325
Diversidad de Shannon Wiener	2,8	2,9	2,4	2,1
Equidad de familias	0,9	0,9	0,8	0,7
Índice de madurez	3,8	2,8	4,0	1,4
Nematodos fitoparásitos (%)	29,8	73,1	48	95,4
Nematodos beneficiosos (%)	70,2	26,9	52	4,6

Los análisis realizados durante esta investigación indicaron que las poblaciones de nematodos fitopatógenos son abundantes en los sistemas de producción bananeros y plataneros perturbados y que los nematodos de vida libre, beneficiosos, son escasos pero se encuentran en mayor cantidad en los sistemas mixtos que en los monocultivos donde tienen un papel significativo manteniendo la fertilidad de los suelos mediante el flujo de energía, la movilización y la utilización de nutrientes (Coto, 1991).

4.1.4 Índices de infección por nematodos, Picudo y Sigatoka negra

El índice de infección de nematodos fue más elevado en la zona de El Carmen, y en monocultivos (Figura 8). La salud radical es un indicativo para conocer las poblaciones de nematodos en estos sistemas. En esta investigación se indicó que la producción agrícola de monocultivos provoca un decrecimiento en la calidad de suelo resultando en poblaciones de fitonematodos mayores. Gauggel et al. (2005) indica que la degradación biológica resulta en la alteración de las poblaciones de los microorganismos del suelo con un posible deterioro del sistema radical y decrecimiento en la producción.

En la Figura 9 se aprecia que el sistema monocultivo de El Carmen presenta el mayor número de picudos (29) por trampa seguido por el sistema mixto (10) de la misma localidad y finalmente los sistemas mixtos y monocultivos de La Maná que presentaron un promedio de 9 y 6 picudos, respectivamente. Estos resultados difieren con los obtenidos por Castrillón (2004) donde mencionan que la población de picudos es mayor en sistemas asociados que en monocultivos. La mayor población del insecto en el sistema monocultivo puede deberse a que un solo cultivar, Barraganete en el caso de El Carmen, sea más apetecible y cree un ambiente más favorable para su reproducción y desarrollo. Esto se debe a que los picudos en estas localidades colocan los huevos en el interior de los cormos de las plantas de plátano como lo mencionan Merchán (2004) y Castrillón (2004).

El número de galerías realizadas por las larvas de picudo negro, es en realidad el marcador visual de la magnitud del daño que realiza esta plaga. En el ecosistema de monocultivo de El Carmen se registró el mayor número de galerías (27). Esto es atribuible a la débil tolerancia que presenta el cultivar Barraganete a esta plaga. Un panorama diferente es el que encontramos en el sistema mixto presentando un número de galerías muy inferior. Con esto queda claro que el uso de sistemas mixto conjugando cultivares o variedades resistentes y tolerantes minimiza en un gran porcentaje el ataque de plagas y enfermedades volviendo al sistema agrícola más estable y equilibrado y convirtiéndolos en más resilientes.

Los dos sistemas agrícolas en las distintas localidades mostraron diferencias marcadas durante las evaluaciones quincenales a lo largo del año de evaluación de la infección por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet llamada Sigatoka negra. En la Figura 8 se aprecia que la incidencia de Sigatoka negra en La Maná y en ambos sistemas agrícolas tiene un índice porcentual bajo (> 9) debido que el cultivar Orito que se utiliza en esta zona tiene un alto grado de resistencia al hongo. En El Carmen se presenta un escenario distinto porque el cultivar Barraganete es muy susceptible a Sigatoka y el sistema de monocultivo alcanza un nivel de infección superior al 30% en comparación al sistema mixto que registró valores bajos (7,2%). A partir del mes de febrero, los valores se incrementan continuando en el mes de marzo, donde la tendencia por parte del monocultivo es de tener mayores índices en los posteriores ciclos de producción debido a que la temperatura, humedad relativa y precipitación tienden a incrementarse, resultados que concuerdan con los de Guzman, (2004) quien señala que cuanto mayor es la humedad relativa y la temperatura del ambiente, mayor es la incidencia y severidad de la Sigatoka negra.

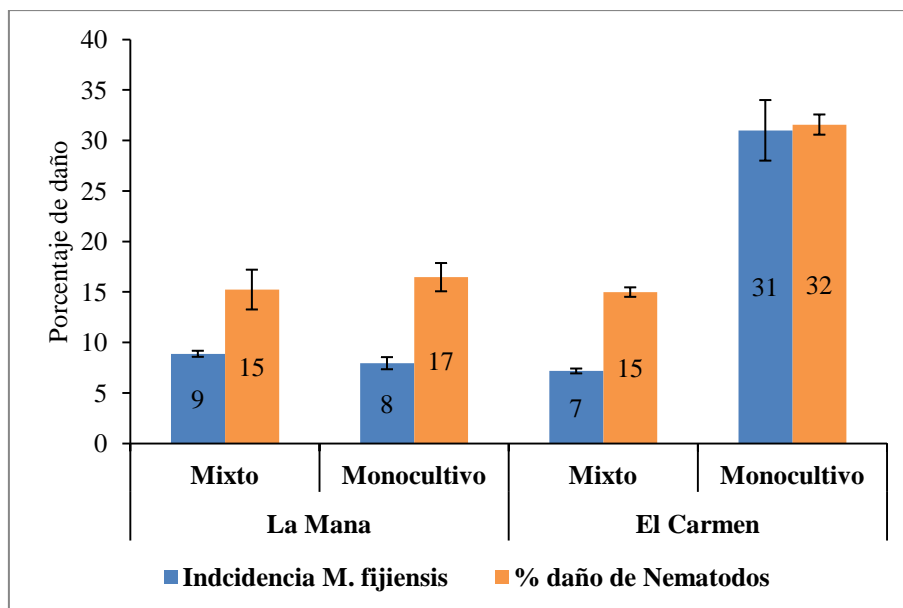


Figura 8. Índices de infección (%) \pm SE de Sigatoka negra (*M.fijiensis*) y nematodos en dos sistemas de producción y dos localidades.

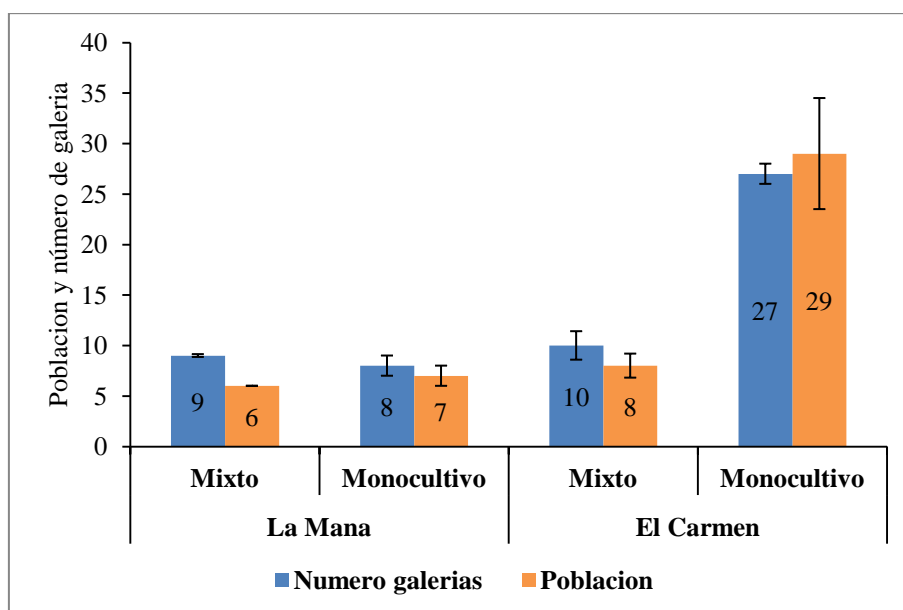


Figura 9. Población y número de galerías \pm SE de Picudo negro, en dos sistemas de producción y dos localidades.

4.1.5 Biomasa y diversidad microbiana

Los valores de colonias de bacterias y actinomicetos en los suelos de ambas localidades resultaron ser mayores en los sistemas mixtos que en los sistemas monocultivos (Tabla 19), posiblemente porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación. Estos microorganismos guardan una relación significativa con los valores de acidez y de materia orgánica, lo que implica que las poblaciones microbianas

sobreviven con el aporte de nutrientes añadidos por fertilización y que la materia orgánica aumenta la labor microbiana en los procesos de mineralización.

En cuanto a las comunidades de hongos (Tabla 19), éstas se diferencian claramente entre los suelos de las distintas localidades y sistemas agrícolas. Hay una mayor población de la colonia de hongos en los monocultivos que en los sistemas mixtos. Es importante tener en cuenta que para algunos autores (Atlas y Bartha, 2002), la mineralización de la materia orgánica se debe principalmente a las poblaciones fúngicas en una relación 3:1 con respecto a las poblaciones bacterianas. Éste enfoque fisiológico de la biomasa microbiana demuestra el potencial microbiológico, y por lo tanto bioquímico, de los suelos al determinar su calidad.

En cuanto a los microorganismos solubilizadores de fósforos y fijadores de nitrógeno se nota una marcada diferencia en los sistemas mixtos en comparación con los monocultivos. Estudios realizados en Colombia en varios sistemas agrícolas permitieron evidenciar que cada tipo de uso y manejo de sistema agrícola genera diferentes nichos ecológicos (Vallejo et al., 2011), los cuales pueden favorecer o promover el establecimiento de ciertos grupos microbianos, que estarían adaptados a las condiciones ambientales impuestas por las prácticas de manejo. Los sistemas agrícolas con mayor diversidad favorecerían el crecimiento de hongos totales, micorrizas vesículo arbusculares (VAM), bacterias simbiotas fijadores de nitrógeno y actinomicetos, independientemente de la edad de establecimiento del sistema. Por el contrario, las densidades significativamente menores de hongos en sistemas convencionales o monocultivos pueden ser el resultado de actividades como la labranza que afecta el establecimiento y el mantenimiento de las redes extensivas de hifas fúngicas y en el caso de las endomicorrizas, reduce la colonización de raíces, como consecuencia de la fragmentación de la red del micelio fúngico (Acosta-Martínez et al., 2010).

Los microorganismos edáficos se utilizan como bioindicadores de la salud del suelo y por ende del sistema agrícola, debido a la importancia de su función en los ciclos biogeoquímicos de la materia. Por lo tanto, son una importante herramienta para monitorear alteraciones en los ecosistemas, ya que responden rápidamente a cambios físicos o químicos. Algunos indicadores ecológicos que muestran el dinamismo de los procesos en el suelo son: el número y diversidad de microorganismos y sus productos enzimáticos (Peacock et al., 2001).

Tabla 19. Grupos funcionales de microorganismo del suelo (UFC x 1000) distribuidos por sistema agrícola (mixto y monocultivo) y localidad (El Carmen y La Maná).

Grupos funcionales	La Maná		El Carmen	
	Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
Bacterias	2050	850	1490	1090
Actinomicetes	12950	9500	29500	26500
Hongos	10	26	8	17
Celulolítico	80	105	123	92
Solubilizadores de P	12	1	10	6
Fijadores de N simbiótico	29	15	8	7

Para obtener información sobre los taxones de hongos y bacterias presentes en los sistemas agrícolas en diferentes épocas del año se llevó a cabo la extracción de ADN microbiano. La concentración de ADN microbiano total extraído de las muestras varió entre 18 y 33 ng μl^{-1} . Se logró extraer el ADN microbiano total de todas las muestras de suelo y los productos de las extracciones se corroboraron en geles de agarosa al 1% (Figura 10 y 11).

Hay que tener en cuenta que, a pesar de la diferencia en el tipo de manejo del cultivo, cada muestra se comporta como un microcosmos independiente lo que resulta en la obtención de concentraciones y purezas diferentes durante los procesos de extracción y purificación del ADN metagenómico. Finalmente, muchos microorganismos pueden estar en un estado de inanición siendo fisiológicamente pequeños teniendo tasas de replicación reducidas, lo cual dificulta su lisis (Schmeisser et al., 2007).

Posteriormente se llevó a cabo una amplificación del ARNr 16S y 18S y los amplicones purificados se enviaron a un laboratorio especializado para su pirosecuenciación. De esta forma, tras la eliminación de secuencias de baja calidad y quiméricas, se obtuvieron numerosas lecturas con un mínimo de 400 pb correspondientes a las 16 muestras analizadas (2 localidades, 2 sistemas agrícolas, 2 épocas y 2 repeticiones). El elevado número de secuencias obtenidas para cada uno de los microcosmos analizados, permitió llevar a cabo un análisis exhaustivo de la diversidad presente en ellos. Las secuencias obtenidas se clasificaron en unidades taxonómicas operativas (OTUs) usando un umbral de similitud del 97%.

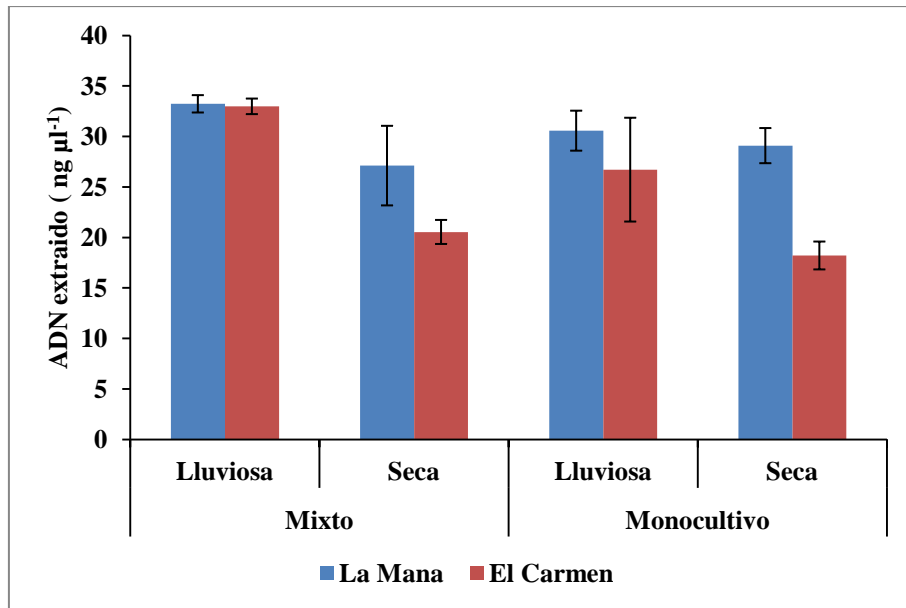


Figura 10. Concentración de ADN microbiano total extraído (ng µl⁻¹) ± SE en sistemas mixtos y monocultivos de El Carmen y La Maná.

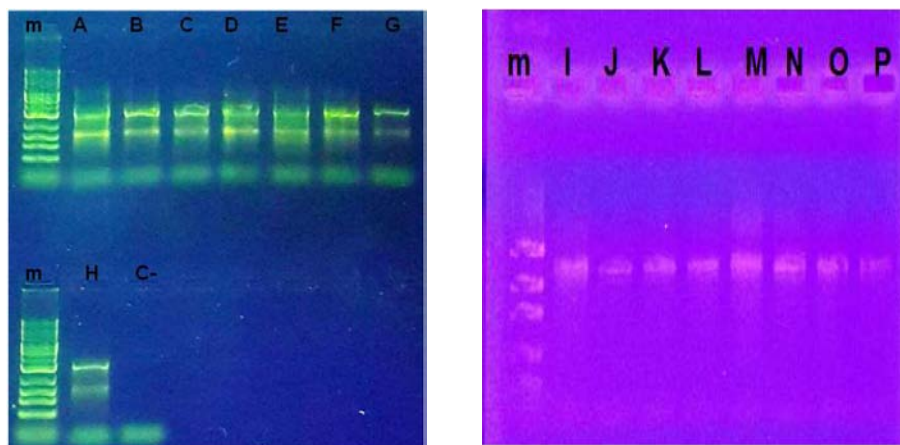


Figura 11. Electroforesis en gel de agarosa, de izquierda a derecha muestras A-P, m*: marcador DNA ladder y C-: control negativo.

4.1.5.1 Diversidad del Phylum Hongos

En la Figura 12 se observa la distribución de filotipos indicadores globalmente en las diferentes estrategias a nivel de phylum en la localidad de La Maná. Hay una gran predominancia del phyla Ascomycota en todos los sistemas agrícola, seguido por el Basidiomycota que también está presente en todos los sistemas de manejo agrícola con una marcada presencia en el sistema mixto lluvioso donde hay una predominancia fuerte. En menos cantidad se observa el Phylum fungi que generalmente tiene mayor

presencia en la época lluviosa. El phylum Glomeromycota que son responsables de propiciar fósforo a las plantas está presente de forma escasa en los sistemas agrícolas, especialmente en los sistemas mixtos donde hay una mejor regulación del equilibrio.

En la localidad El Carmen se observa una absoluta predominancia del phylum Ascomycota, seguido por los phyla Basidiomycota, Fungi y Cryptomycota que están presentes en todos los sistemas agrícolas (Figura 13).

Los hongos Basidiomycota y Ascomycota como predominantes en todos los sistemas agrícolas y localidades estudiadas son muy comunes en los suelos agrícolas tropicales. El phylum Basidiomycota se caracteriza por el basidio, un meiosporangio en el que generalmente se forman cuatro esporas sexuales (Bauer et al., 2006) y en la mayoría de los casos por la formación de un cuerpo fructífero. El micelio vegetativo se desarrolla, por lo general, en el suelo y en restos de plantas. Muchos de ellos forman ectomicorrizas en asociación con el sistema de raíces de sistemas agroforestales. La evaluación de la diversidad de estos hongos y el monitoreo de su impacto en la comunidad requieren de técnicas específicas (Rossman et al., 1998) que no son consideradas en este manual. Los patógenos de plantas importantes en el suelo son especies de *Rhizoctonia* y *Sclerotium*.

El phylum Ascomycota representa el grupo más abundante de hongos. Se caracterizan por la formación de las ascas, una estructura formada durante la fase sexual de su ciclo de vida. La fase asexual de los ascomycetes se llama anamórfica y es la fase más comúnmente encontrada. La filogenia de este grupo aún es objeto de discusión y de revisión. Para fines prácticos, pueden distinguirse los grupos más importantes, tales como Dlectomycetes, Discomycetes, Pyrenomycetes y Loculoascomycetes. Algunos de los Ascomycetes como *Aspergillus*, *Penicillium* que habitan en el suelo, pertenecen a los Plectomycetes, Ascomycetes que forman un asca en un cuerpo fructífero cleistotecal. Los patógenos de plantas importantes para las musáceas son especies de *Mycosphaerella* (Krik et al., 2008).

La comunidad del phylum Glomeromycota no es muy abundante en los sistemas agrícolas de musáceas pero forma parte integral de las plantas de cultivos, entre ellas el plátano, asegurando su crecimiento en distintas condiciones y ambientes. Los Glomeromycota inciden en el cultivo para su óptimo crecimiento en suelos con determinados niveles de fertilidad. Los efectos de estos microorganismos tienen consecuencias sobre el desarrollo y la nutrición y, además, pueden incrementar la

resistencia natural de las plantas en situaciones de desequilibrios bióticos o abióticos (Domínguez et al., 2004). En el cultivo de banano se ha demostrado la alta eficiencia de las micorrizas en condiciones controladas y se emplean en la mayoría de materiales micropropagados (Rizzardi, 1990; Declerck et al., 1994, 1995; Jaizme y Azcón, 1995; Yano-Melo et al., 1999).

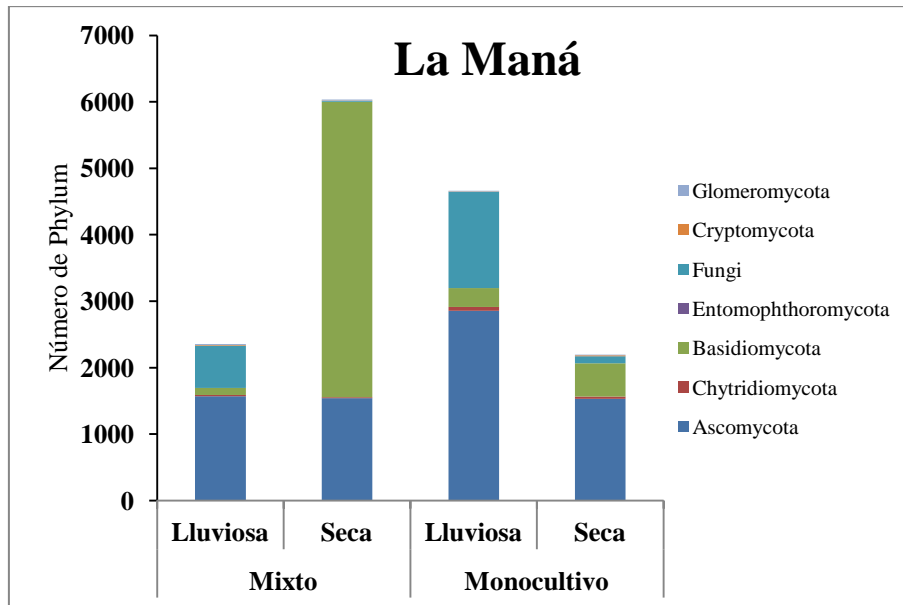


Figura 12. Abundancia de Phylum de hongos en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de la localidad de La Maná.

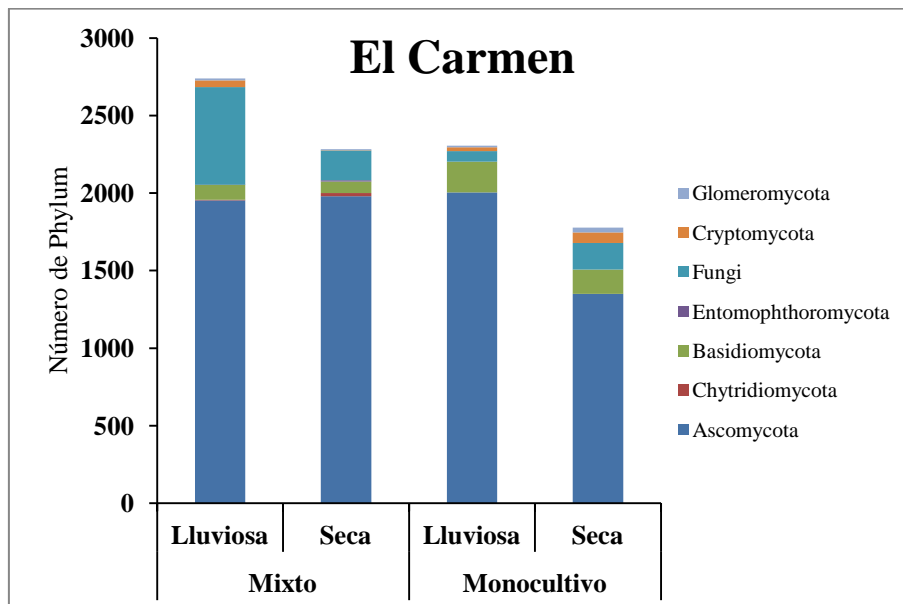


Figura 13. Abundancia de Phylum de hongos, en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de la localidad de El Carmen.

4.1.5.2 Diversidad del Phylum Bacterias

Las secuencias de las librerías se agruparon en 15 phyla (Figura 14 y 15), de las que Proteobacteria fueron claramente mayoritarias en las dos localidades ya que representaron el 55% del total de las muestras. En el sistema mixto de La Maná y El Carmen se encuentra la mayor abundancia de phyla superando al sistema monocultivo. Otros phyla representativos en ambas localidades y sistemas agrícolas fueron: Acidobacterias, Actinobacterias, Nistropirae y Firmicutes. Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Fierer et al., 2009; Kanokratana et al., 2011; Preem et al., 2012) quienes afirman que estos cinco phyla bacterianas dominantes (Proteobacteria, Acidobacteria, Actinobacteria, Nistropirae, Firmicutes) se encuentran en los suelos agrícolas tropicales. Estudios previos observaron que el 73-86% de las secuencias totales obtenidas de tierras agrícolas tropicales se asignan a *Acidobacterias*, *Proteobacterias*, *Firmicutes*, *Actinobacterias*, *Verrucomicrobia* y *Bacteroidetes*. Nacke et al. (2011), encontró que los phyla *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Actinobacteria* y *Proteobacteria* fueron los dominantes en suelos forestales de sistemas de cultivos mixtos en Alemania. Todos estos datos sugirieron que la limitación de la dispersión es menos importante en la determinación de la comunidad bacteriana (Finlay, 1999 y 2002).

Las Proteobacterias son un grupo fisiológica y morfológicamente diverso. Incluyen muchas bacterias que interactúan con huéspedes eucariotas. Las interacciones con plantas comprenden la colonización de la rizosfera, y el establecimiento de relaciones patógenas o simbióticas. Importantes ejemplos de esto son las enfermedades causadas en plantas por *Rhizobium tumefaciens* (anteriormente *Agrobacterium tumefaciens*) (Chen 2008) y la formación de nódulos de las raíces que fijan el nitrógeno en las leguminosas por los diferentes miembros del grupo de *Rhizobium* (Martinez-Romero 2009). También incluye bacterias que infectan a invertebrados que habitan en el suelo (ej. Colémbolos) (Czarnetzki 2004). Otras *Proteobacteria* que habitan el suelo, como *Methylomonas sp.*, aeróbicamente utilizan metano u otros compuestos de un carbono (C1) como fuente de carbono y energía (Chen 2003, Le Mer 2001). También incluyen muchos organismos de crecimiento relativamente rápido, que pueden ser muy abundantes en diferentes suelos tropicales como las *Pseudomonas*.

Las *Actinobacterias* son bacterias Gram-positivas, muchas consideradas organismos típicos del suelo (Gremion, 2003) por ser metabólicamente versátiles, y porque la

mayoría son formadoras de esporas y por lo tanto pueden resistir períodos de sequía. Los miembros más abundantes incluyen a *Rhodococcus*, *Frankia* (fijadora de nitrógeno molecular en nódulos de raíces de los árboles), y muchas especies del género *Streptomyces*. Estos organismos son habitantes típicos de las capas de detritos y son capaces de producir antibióticos e influir sobre la salud de las plantas (Schlatter 2009).

El phylum *Acidobacteria*, a pesar de su gran abundancia en muchos suelos, también está representado por sólo unos pocos géneros cultivados (ej. *Acidobacterium*, *Geothrix* y *Holophaga*) (Eichorst, 2011). Uno de los principales factores que regula fuertemente la abundancia de *Acidobacteria* es el pH (Rousk, 2010). Se ha visto que a valores crecientes de pH la diversidad de *Acidobacterias* disminuye.

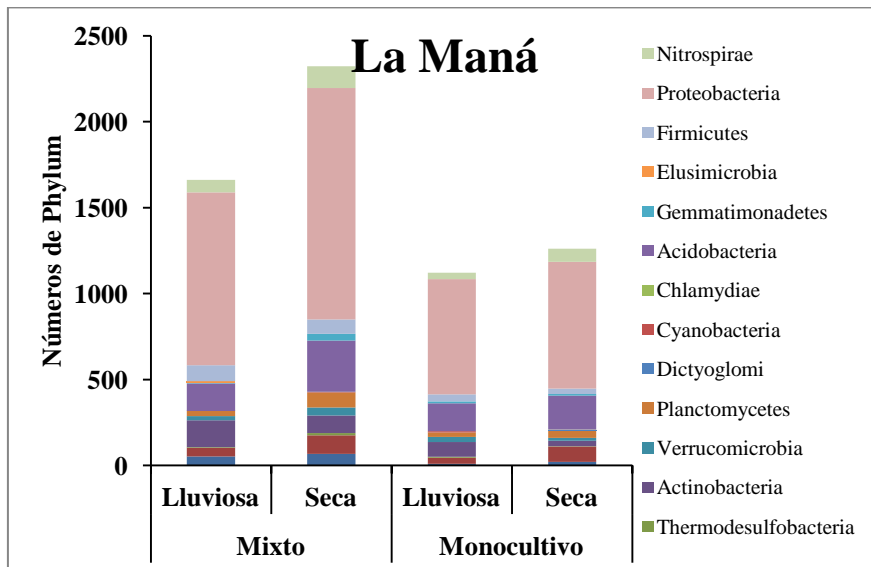


Figura 14. Abundancia a nivel de Phylum bacteriano, en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de La Maná.

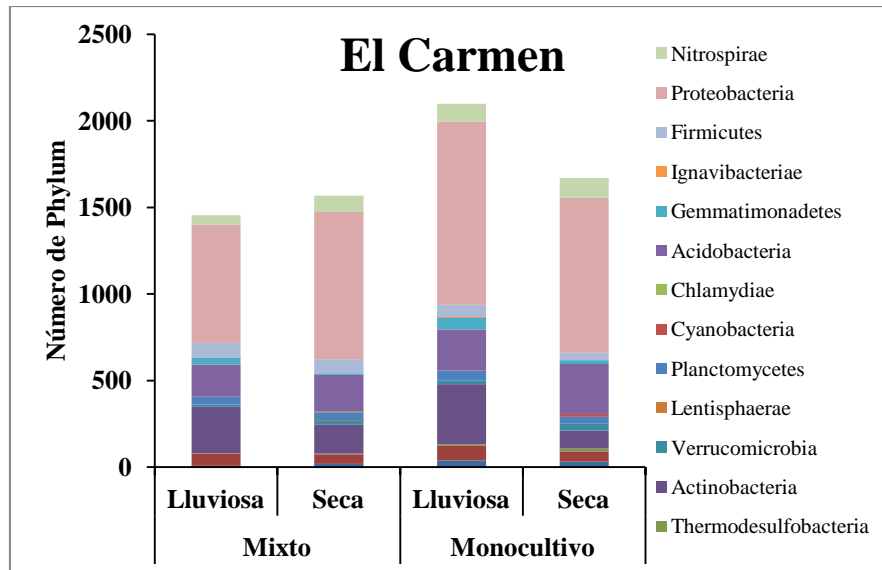


Figura 15. Abundancia a nivel de Phylum bacteriano, en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de El Carmen.

4.1.5.3 Diversidad de hongos y bacterias a nivel de especies

En la Figura 16, se observa que la localidad de La Maná presenta mayor abundancias en la población. En el Carmen se pudo observar que existe una tendencia uniforme en la población de hongos a nivel de especies para cada una de las épocas y los sistemas agrícolas. En La Maná la población de hongos a nivel de especies tuvo un comportamiento inestable llegando a tener la mayor población en el sistema mixto de la época seca seguida por el sistema monocultivo de la época lluviosa, donde esta inestabilidad se debe probablemente a muchos factores ambientales, como la química de la materia orgánica del suelo, las especies vegetales, el pH del suelo y los factores ambientales propios de cada zona donde pueden influir la población de diversidad microbiana de hongos y bacterias, la población microbiológica del suelo al establecerse un equilibrio en el sistema implantado. Y que en los sistemas mixtos de varios años de vida, donde los restos vegetales se acumulan sobre la superficie y se van degradando de acuerdo a los requerimientos de los microorganismos se llega a un equilibrio en la dinámica microorganismo - sustrato. Otra causa que juega un papel importante sobre las poblaciones y abundancias de hongos son los niveles de perturbaciones de cualquier índole, causada en los sistemas agrícolas, indudablemente son una causa de amenaza para la comunidad nativa de ciertos hongos especialmente los micorrizogenos. En tanto que la utilización de insumos químicos en la producción agrícola en la época lluviosa puede disminuir la población de hongos micorrizicos y elevar la población de otros

tipos de hongos en la época seca, así como el uso de inoculante exóticos que pueden no ser eficientes para asociarse con las plantas de los cultivos locales y quizás signifique competencia para hongos beneficiosos.

En la figura 17 se muestran los cambios en la abundancia de las comunidades bacterianas en los dos sistemas de manejo y en las dos localidades y permite comparar las distintas condiciones entre sí. En La Maná la mayor abundancia de bacterias a nivel de especie se encontró en el sistema de manejo mixto en comparación con el sistema monocultivo. Mientras que en El Carmen se observó una tendencia uniforme de acuerdo a la abundancia de bacterias el cual no estuvo influido ni por los sistemas agrícola ni las épocas del años. Las comunidades microbianas del suelo son de vital importancia para el mantenimiento del balance ecológico del mismo y por lo tanto de la sostenibilidad de ambientes naturales o agroecosistemas. Estas comunidades microbianas se encuentran en su mayor parte en la rizósfera interfase donde interactúan los constituyentes del suelo, las raíces de las plantas y los microorganismos ya sean saprófitos, epífitos, endófitos, patógenos o benéficos. Los microorganismos promotores de crecimiento de las plantas pueden ser considerados microorganismos beneficiosos ya que influyen la salud de la planta. Estos efectos beneficiosos son debidos a diversos mecanismos como la producción de fitohormonas, solubilidad de fosfatos, fijación de nitrógeno o control biológico sobre patógenos. Las bacterias beneficiosas son cepas de *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Enterobacter* y *Serratia* (Jaizme-Vega, et al., 2003; Rivera-Cruz, et al., 2008).

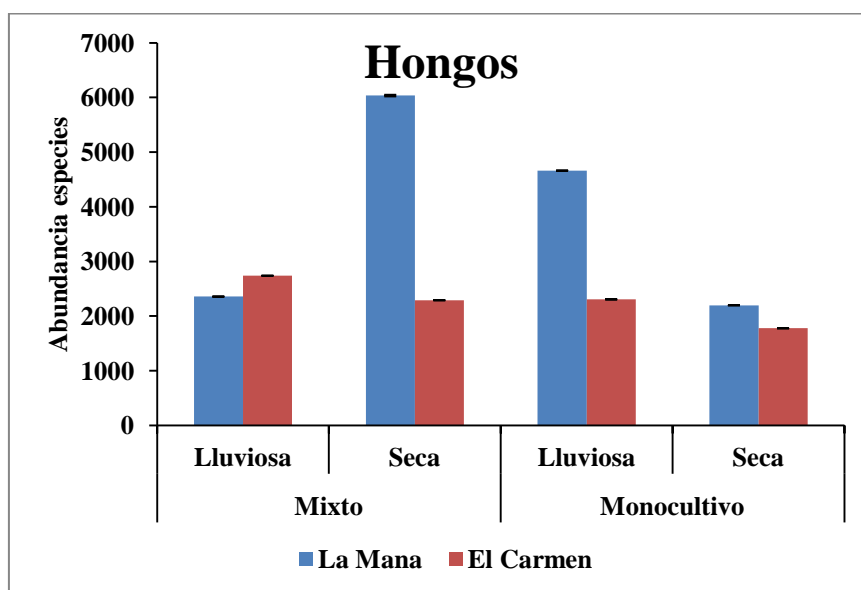


Figura 16. Abundancia de especies fúngicas \pm SE, en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de La Maná y El Carmen.

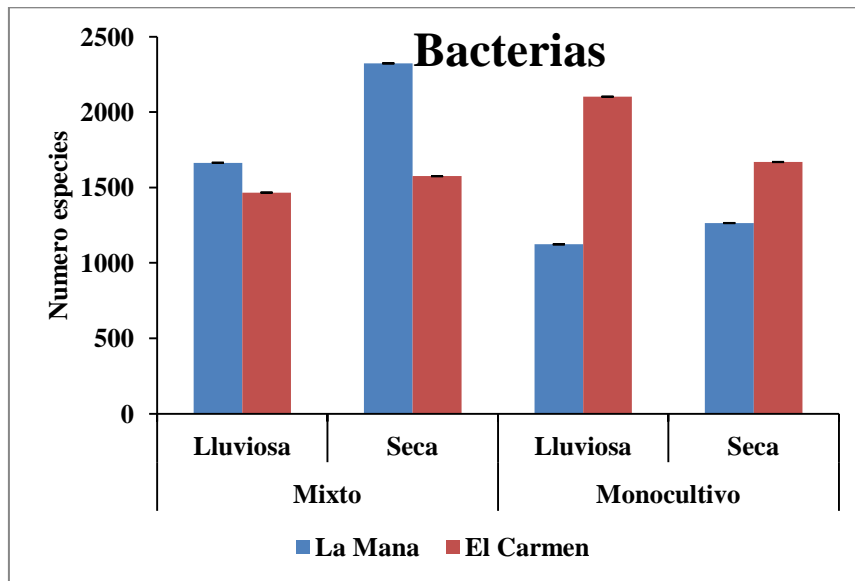


Figura 17. Abundancia de especies bacterianas \pm SE, en dos épocas del año en los sistemas agrícolas de La Maná y El Carmen.

4.1.5.4 Índices de diversidad biológica de las comunidades de hongos y bacterias

La diversidad de la comunidad fúngica y bacteriana determinada mediante los índices de dominancia de Simpson, diversidad de Shannon-Weiner y riqueza específica de Margalef para cada una de las localidades y sistema agrícola, se muestran en las Tablas 20 y 21 respectivamente.

Los índices de diversidad de fúngica mostraron diferencias significativas asociadas a las localidades, y al sistema de manejo agrícola. Los sistemas agrícolas más dominantes son los monocultivos. La diversidad de Shannon presento valores medio (1 - 5) estuvo más beneficiada para el sistema monocultivo en las dos localidades. En cuanto a la riqueza específica de Margalef no influyo en ninguno de los sistemas agrícolas ni en las localidades, el cual registro índices relativamente altos.

Los índices de diversidad bacteriana no registraron significancia alguna en cuanto a la dominancia de Simpson y diversidad de Shannon. La riqueza específica el sistema agrícola mixto de La Maná presento mejores valores en comparación sistema monocultivo de la misma localidad. En El Carmen los índices estuvieron influenciados por la época lluviosa, dando valores superiores. Algunos autores han discutido la falta de coherencia y fiabilidad de los índices de diversidad calculados a partir de técnicas de

huella genética y han señalado que es el análisis de la estructura de la comunidad, más que la diversidad representada en índices, la que ofrece mayor y mejor información sobre las comunidades microbianas, en los estudios que emplean estas técnicas (Hartmann and Widmer, 2006).

Tabla 20. Dominancia, diversidad y riqueza específica de hongos para cada localidad, sistema agrícola y épocas.

Localidades	Sistemas Agrícolas	Épocas	Simpson 1-D	Shannon H	Margalef
La Maná	Mixto	Lluviosa	0,89	3,04	14,42
		Seca	0,48	1,51	13,55
	Monocultivo	Lluviosa	0,87	2,94	14,92
		Seca	0,94	3,67	16,37
El Carmen	Mixto	Lluviosa	0,86	2,77	12,51
		Seca	0,74	2,41	12,28
	Monocultivo	Lluviosa	0,94	3,60	13,95
		Seca	0,87	3,10	12,16

Tabla 21. Dominancia, diversidad y riqueza específica de Bacterias para cada localidad, sistema agrícola y épocas.

Localidades	Sistemas Agrícolas	Épocas	Simpson 1-D	Shannon H	Margalef
La Maná	Mixto	Lluviosa	0,97	4,20	22,11
		Seca	0,97	4,17	22,97
	Monocultivo	Lluviosa	0,96	4,02	18,79
		Seca	0,95	3,78	16,24
El Carmen	Mixto	Lluviosa	0,97	4,19	21,40
		Seca	0,97	4,07	19,42
	Monocultivo	Lluviosa	0,97	4,34	24,44
		Seca	0,97	4,19	19,68

4.1.5.5 Curva de rarefacción de especies de hongos y bacterias.

También se utilizó para calcular distintos parámetros de diversidad, como la rarefacción, que aportan información acerca de la conformación de las poblaciones de hongos y bacterias, teniendo en cuenta los valores de abundancia y riqueza de especies. Debido a que para los organismos procariotas y eucariotas el concepto de especie es difícil de aplicar, generalmente es conveniente utilizar valores de similitud o disimilitud entre secuencias para agruparlas en unidades operables (OTUs). Está generalmente aceptado que valores de disimilitud del 3% corresponden a diferencias a nivel de especie, mientras que por ejemplo, 5% y 20% corresponden a diferencias entre géneros y filos respectivamente (Schloss 2005).

Utilizando los valores de disimilitud entre secuencias, se construyeron curvas de rarefacción que sirven como indicadores de diversidad y del grado de cobertura obtenido en las diferentes muestras. En todos los casos puede verse que a pesar de tener una gran cantidad de secuencias no se alcanzó un valor constante en el número de OTUs, sugiriendo que para lograr la cobertura de la mayoría de las especies en la comunidad el número de secuencias muestreadas debería ser aún mayor (Figura 18 y 19).

Considerando que en algunos de los casos se obtuvieron de 2500 (hongos) y 1600 (bacterias) OTUs (3% disimilaridad), se obtiene una idea de la cantidad de posibles diferentes especies de hongos y bacterias que componen estas poblaciones en los suelos.

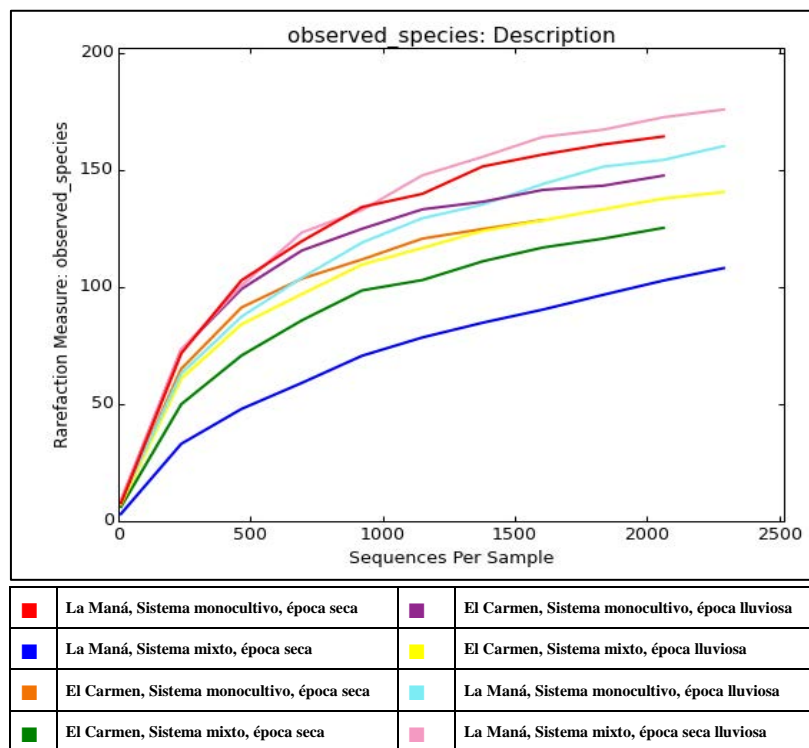


Figura. 18. Curvas de rarefacción de todas las secuencias de hongos con el 97% de similaridad.

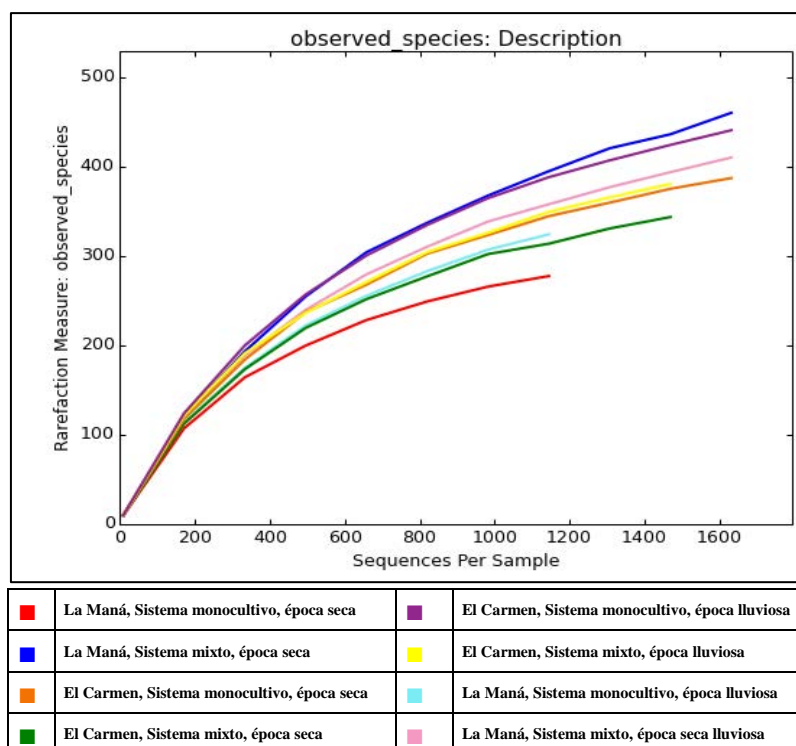


Figura. 19: Curvas de rarefacción de todas las secuencias de bacterias con el 97% de similitud

4.1.5.6 Especies de hongos dominantes en los sistemas agrícolas

El inventario de taxones de hongos encontrados por técnicas de cultivo (Domsch y Gams 1970) se correlaciona bien con los datos moleculares obtenidos de nuestro estudio independiente del cultivo, como por ejemplo. La dominancia de Ascomycota y la aparición frecuente de hongos a nivel de la especie encontrados ya se han descrito previamente en estudio de suelos agrícolas, como es el caso, para el género *Verticillium* y el potencial fitopatógeno géneros *Fusarium*, *Nectria*, *Cosmopora cymosa*, *Ceratocytis* y *Sphaerosporella sp.*, que están presentes en todos los sistemas agrícolas algunos en mayor población en los monocultivos como en el caso de *Fusarium oxisporum* que es un hongo dañino para el cultivo de las musáceas. También podemos destacar la presencia de hongos solubilizadores de fosforo como *Mortierella sp.* y *Sphaerosporella sp.*, que generalmente son más abundantes en ecosistemas mixtos y ambientes lluviosos. La mayor población de estas especies de hongos dominantes se encontró en los sistemas mixtos (Tabla 22).

Algunos monocultivos favorecen hongos fitopatógenos de cultivos micobiotas características o el incremento de hongos y bacterias antagónicas de los hongos fitopatógenos en el suelo. También ciertos residuos de cosecha, cultivos o suelos pueden

favorecer especies de *Trichoderma* antagónicas hacia algunas especies de *Fusarium* y *Macrophomina*. Pero aún no se sabe, en la mayoría de los casos, cómo manipular la secuencia de cultivos y/o el manejo del suelo para favorecer microbiotas antagónicas de hongos fitopatógenos (Baird et al., 2003).

Una mayor diversidad de especies le confiere una estabilidad y madurez a los ecosistemas y permite alcanzar un control biológico natural de la microbiota del suelo en contra de los hongos fitopatógenos. Sin embargo, en los ecosistemas agrícolas tropicales la diversidad de plantas se ve prácticamente restringida a la especie cultivada, y algunas más, como malezas, que son limitadas en su crecimiento por el uso de herbicidas y otras prácticas agrícolas. En contraste, el suministro de fertilizantes, agua y restos de parte de los cultivos significa entrada considerable de nutrientes y condiciones de humedad que favorecen la actividad metabólica de los microorganismos del suelo (Alexander, 1977).

La estructura de las comunidades de hongos en el suelo no sólo es afectada por la precipitación como parte del clima, sino también por el microhábitat, que, a su vez, depende de la vegetación dominante y/o el pH del suelo (Grishkan y Evo, 2004). Así que en áreas tropicales, en los sitios cubiertos por vegetación, la densidad de hongos fue mayor y se observó más *Penicillium* spp. que en sitios sin vegetación donde dominaron los hongos con micelio oscuro y esporas de varias células.

Tabla 22. Especies de hongos dominantes en los sistemas agrícolas de musáceas

Especies	La Maná		El Carmen	
	Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
<i>Trichosporon mycotoxinivorans</i>	4329	76	49	0
<i>Ceratocystis</i> sp.	358	498	1823	1000
<i>Mortierella</i> sp.	586	1445	782	92
<i>Nectria mauritiicola</i>	543	1294	45	35
<i>Fusarium oxysporum</i>	122	371	254	318
<i>Archaeorhizomyces finlayi</i>	671	102	83	1
<i>Fusarium</i> sp.	43	58	499	239
<i>Verticillium</i> sp.	223	84	242	221
<i>Cosmospora cymosa</i>	21	150	61	174
<i>Ganoderma resinaceum</i>	56	257	0	6
<i>Sphaerosporella</i> sp.	203	71	0	0
<i>Plectosphaerella cucumerina</i>	49	71	53	31
Total	7204	4477	3891	2117

4.1.5.7 Especies de bacterias dominantes en los sistemas agrícolas

La mayor parte de las investigaciones realizadas se refieren a la abundancia y actividad de los grupos funcionales y fisiológicos, donde la importancia y tipo de crecimiento bacteriano en los suelos depende de variables ambientales tales como una temperatura y humedad adecuadas, el contenido de nutrientes, el ambiente gaseoso, los niveles de acidez, las fuentes de energía y de carbono. Así, bacterias de características taxonómicas muy diversas pueden participar en un mismo tipo de transformaciones biológicas y por tanto, presentar la capacidad o aptitud para asociarse y desarrollarse en un medio dado, e intervenir en los diferentes ciclos biológicos como carbono, nitrógeno, azufre, fósforo, donde se distinguen grupos especializados de gran importancia, en Tabla 23 se aprecia las especies de bacterias dominantes asociadas a los ecosistema de Musas.

Dentro de los principales géneros y especies identificada en cada OTUs, tanto en los sistemas agrícolas y los dos ambientes, el género con mayor abundancia fue *Acidobacterium sp.*, y *Rhodoplanes sp.*, son bacterias fototróficos que crecen y prosperan en suelos con ambientes subsuperficiales y sedimentarios.

Asimismo, se encontraron géneros que están relacionados por ser promotores de crecimiento vegetal y por su capacidad de solubilizar azufre, fijar y reducir nitrógeno así como también bacterias degradadoras de materia orgánica y bacterias reductoras de metales pesados como hierro y manganeso.

El género de bacteria que Reducen nitrato y nitrito a N gaseoso (N₂) u óxido nitroso tenemos: *Nitropirae sp.*, *Nitrovidrio sp.*, *Conexibacter spp.*, *Steroidobacter sp.*, este grupo de bacterias se encuentran bien distribuida especialmente con mayor presencia en los sistemas mixtos.

El grupo de bacterias que son Capaces de fijar N₂ atmosférico en forma libre o en simbiosis con leguminosas hasta NH₃ tenemos *Bradyrhizobium sp.*, *Rhizobium sp.*, *Dexia sp.*, ya algunas especies de *Microvirga sp.* El género *Pseudomona sp.*, que tiene presencia en todos los suelos agrícolas el cual la función de este tipo de bacteria es la degradación de materia orgánica y también la reducción de nitrógeno de nitrato a nitrito.

También encontramos otro grupo de bacterias de reducir hierro férrico a hierro soluble y también cumple otra función como la degradación de la materia orgánica en este grupo tenemos: *Anaeromyxobacter sp.*, *Geothermobacter spp.* y *Pedomicrobium sp.*, que esta

última reduce el manganeso. La bacteria *Desulfuromonas sp.* tiene la capacidad de reducir azufre y esta se encuentra con mayor presencia en suelos con mayor contenido de materia orgánica.

Debido a que una alta proporción de insumos de productos de protección de cultivos termina en el suelo usualmente en sistemas de monocultivos, los microorganismos del suelo desempeñan un papel clave en la degradación de estos compuestos si no se modifican físicamente o químicamente. Los microorganismos son también cruciales para los procesos de descomposición y descomposición de la materia orgánica (Vargas y Flores 1996).

Biederbeck et al. (1997) observaron que la respiración microbiana era una función de los residuos de los cultivos y no del uso a largo plazo de herbicidas glifosato y paraquat en una rotación de barbecho-trigo. Vargas y Flores (1995) extendieron este concepto a fungicidas, nematicidas e insecticidas utilizados en bananos.

Los suelos de plantaciones de banano pueden considerarse ricos en materia orgánica del suelo con una concentración residual relativamente alta de productos para la protección de cultivos. Mirgain (1993) observó una tasa de incremento a la cual los productos de protección de los cultivos se degradan en el suelo, posiblemente debido a la adaptación microbiana a la exposición repetida a los productos. Pattison et al. (2000) observaron los mismos fenómenos en los suelos de plantación de banano de superficie expuestos a nematicidas. Roeth (1986), Mueller et al. (1989) obtuvieron resultados similares cuando los suelos fueron sometidos a aplicaciones herbicidas.

Vargas y Flores (1995) estudiaron la mineralización de los nutrientes presentes en residuos en fincas bananeras de diferentes edades (de 1 a 20 años de monocultivo), todos sujetos a aplicaciones comerciales de los productos fitosanitarios anteriormente mencionados. Los patrones de degradación de la materia orgánica del suelo no difirieron significativamente entre las fincas estudiadas, lo que indica la presencia de una estructura microbiana del suelo "sana" capaz de degradar la materia orgánica e indirectamente de los productos residuales de los cultivos presentes en los residuos orgánicos analizados (pseudotallo, Cormos y raquis de racimos) en tiempos relativamente cortos. La descomposición máxima se observó 24-28 semanas (es decir, 168-196 días) después de que los residuos de las plantas de banano se devolvieran al suelo como pilas entre filas al cosechar. Por lo tanto, parece que en los suelos derivados de cenizas volcánicas, donde la materia orgánica del suelo está fuertemente unida a

arcillas, óxidos y metales amorfos (Nanzyo et al., 1993), los insumos continuos de materiales orgánicos frescos mantienen una actividad microbiana adecuada para sostener el ciclo de nutrientes, propiedades físicas y degradación del producto de protección de cultivos.

Tabla 23. Especies de bacterias dominantes en los sistemas agrícolas de musáceas

Especies	La Maná		El Carmen	
	Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
<i>Acidobacterium spp.</i>	356	266	319	435
<i>Rhodoplanes spp.</i>	437	312	288	220
<i>Nitrospira spp.</i>	188	108	148	209
<i>Nitrosovibrio spp.</i>	134	166	72	55
<i>Bradyrhizobium spp.</i>	155	69	87	87
<i>Conexibacter spp.</i>	53	19	141	106
<i>Desulfovirga spp.</i>	153	54	49	52
<i>Pseudomonas spp.</i>	104	53	45	83
<i>Anaeromyxobacter spp.</i>	109	28	47	63
<i>Rhizobium spp.</i>	59	72	69	37
<i>Smithella spp.</i>	49	31	60	75
<i>Gemmatimonas spp.</i>	44	19	49	92
<i>Pedomicrobium spp.</i>	45	28	61	57
<i>Rhodobium spp.</i>	14	20	64	84
<i>Ktedonobacter spp.</i>	76	60	24	19
<i>Steroidobacter spp.</i>	46	37	40	47
<i>Dexia spp.</i>	60	20	27	57
<i>Holophaga spp.</i>	32	31	37	56
<i>Solirubrobacter spp.</i>	24	7	51	69
<i>Geothermobacter spp.</i>	55	21	29	44
<i>Gaiella spp.</i>	19	12	50	58
<i>Pirellula spp.</i>	22	15	54	44
<i>Gemmata spp.</i>	63	37	1	23
<i>Schlegelella spp.</i>	33	24	4	62
<i>Desulfuromonas spp.</i>	33	10	20	54
<i>Microvirga spp.</i>	32	19	22	33
<i>Skermanella spp.</i>	43	10	28	22
<i>Blastochloris spp.</i>	31	27	20	22
Total	2469	1575	1906	2265

4.1.6 Abundancia de lombrices

De los ecosistemas agrícolas monitoreados, en los mixtos de La Maná y de El Carmen se encontraron mayores cantidades de lombrices en comparación con los sistemas de monocultivo (Figura 20). La cantidad de lombrices depende directamente del manejo y

laboreo que se realice en el sistema agrícola y la perturbación que estos generen en ellos. Berry & Karlen, (1993) indican que el laboreo destruye la red de canales de las lombrices y alteran la cantidad y distribución de la MO de la que se alimentan por lo que, a medida que aumenta la intensidad de las labores, suele disminuir el número de lombrices. En cuanto a los herbicidas la mayoría tienen poco efecto en ellas excepto las triazinas, como la atrazina, que es moderadamente tóxica. También, el anhídrido de amoníaco mata las lombrices en la zona de inyección porque seca el suelo y aumenta el pH temporalmente en éste. Una alta dosis de fertilizantes a base de amonio también es dañina para ellas. También, muchos insecticidas y fungicidas tienen un efecto tóxico sobre las lombrices (Kladivko y Timmenga, 1990; Mele y Carter, 1999). En cualquier caso, la presencia de lombrices en suelo no sólo depende del sistema de manejo, sino que también está influenciada por el pH, la compactación, humedad, temperatura, etc. (Buckerfield, 1992; Berry y Karlen, 1993; Jordan y cols., 1997).

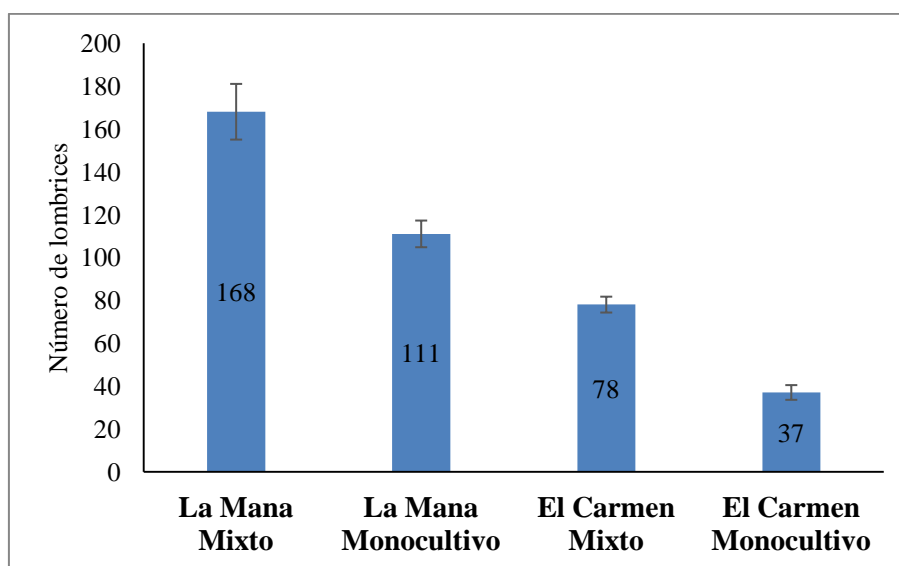


Figura 20. Abundancia de lombrices \pm SE, en función de los sistemas agrícolas y las localidades.

4.1.7 Determinación de la diversidad de malezas existentes

En el banco de semillas de los suelos de los distintos sistemas agrícolas y localidades se identificaron 22 familias de plantas distintas (Tabla 24) siendo las más abundantes las Acanthaceae, Gramineae Rubiaceae, Verbenaceae y Pteridaceae. La mayoría de ellas se encontraron en el sistema mixto de La Maná, mientras que en los dos ecosistemas de El Carmen predominó la familia Rubiaceae. Durante las evaluaciones, se encontraron la misma cantidad de especies y familias de malezas durante la temporada de lluvias y

seca. La densidad total de las malezas se la evidenció en los sistemas mixtos de El Carmen y la Maná con 1249 y 486 individuos, respectivamente atribuyéndole mayor diversidad florística y ecosistemas más estables y equilibrados, concordando con Pelissari *et al.*, (2011) quien manifiesta que las fluctuaciones en la germinación de las semillas de malezas se deben a cambios del medio ambiente, manejo del sistema agrícola y en las propias semillas. Cuando las semillas están libres de factores de latencia, variaciones de temperatura, humedad del suelo y uso de herbicidas constante a lo largo del año son los principales responsables factores de los flujos de emergencia de estas plantas. Además, la ausencia de herbicidas conlleva un incremento de la abundancia de las especies arvenses, pero también un cambio en la composición florística, que favorece las especies de hoja ancha, polinizadas por insectos y las leguminosas. Cabe señalar que la importancia de estudiar estas interacciones con el objetivo de establecer su efecto sobre niveles superiores de la diversidad e identificar potenciales especies perjudiciales o beneficiosas desde un punto de vista agronómico (Sans, 2007).

Dentro de los sistemas agrícolas monitoreados se encontró un número significativo de especies de malezas (29), que superó el encontrado por Vera (2008), quien en un estudio similar en un área cercana a la localización del presente estudio encontró 23 especies de malezas en sistemas de monocultivo de plátano, cacao y sus asociados.

El índice de Simpson indica que hay una baja diversidad y que la dominancia es alta (Tabla 25). Existiendo una alta probabilidad de que dos individuos extraídos al azar pertenezcan a una misma especie en todos los sistemas agrícolas y sitios con valores superiores a 0,70, valor que se diferencian del promedio provincial presentado en trabajo realizado por Espinoza (2008) en prácticas de manejo de varios sistemas agrícolas con un índice 0,15 que muestra una alta diversidad siendo la diversidad herbácea 0,19 considerada alta según se demuestra en este índice.

El índice de Shannon H. demuestra una diversidad específica En La Maná existe una diversidad específica moderada en ambos sistemas agrícolas estudiado con índices superiores a 3,0; todo lo contrario se evidenció en El Carmen presentaron índices inferiores a 2,0 lo cual demuestra una diversidad específica relativamente baja, indicando estos valores la probabilidad de encontrar un determinado individuo en el área del ecosistema muestreado teniendo en cuenta la uniformidad de la distribución de las especies en el espacio muestreado, diferenciándose levemente del índice provincial

presentado por Espinoza (2008), correspondiente a 2,34 y diversidad herbácea de 2,08 en la provincia.

Al medir sencillamente riqueza específica de la diversidad, el sistema mixto en La Maná presentó una diversidad bastante alta con un índice de 11,8 mientras que en la misma localidad en el sistema monocultivo se observó un índice de 7,6 el cual también se lo considera alto. Los mismos resultados se observaron en El Carmen, pero con índices relativamente más bajos; 5,7 para el sistema mixto y 2,7 para el sistema monocultivo considerando este último como un índice muy débil donde predomina una sola especie donde el uso de herbicida es más frecuente y ciertas especies se vuelven endémicas. Estos valores se basan en la distribución numérica y número de individuos en el área muestreada, Desde un punto de vista ecológico, muchas de las labores agrícolas que representan disturbios del ecosistema y cambian la disponibilidad de recursos, substrato o ambiente (Menalled, 2010), también deben ser mejorados en términos de eficiencia y efectividad para reducir sus impactos económicos y ambientales.

Tabla 24. Abundancia de malezas distribuidos por grupos taxonómicos (familias) presentes en función de los sistemas agrícolas y las localidades.

Familia	La Maná Mixto	La Maná Monocultivo	El Carmen Mixto	El Carmen Monocultivo
<i>Acantaceae</i>	3	101	8	0
<i>Amarantaceae</i>	11	0	10	0
<i>Araceae</i>	1	0	0	2
<i>Caryophyllaceae</i>	11	47	0	0
<i>Commelinaceae</i>	7	0	0	0
<i>Compositae</i>	7	13	0	0
<i>Convolvulaceae</i>	30	2	1	0
<i>Cucurbitaceae</i>	0	0	10	1
<i>Cyperaceae</i>	7	0	5	0
<i>Euphorbiaceae</i>	6	12	2	2
<i>Gramineae</i>	297	124	1	6
<i>Labiatae</i>	10	0	0	0
<i>Lythraceae</i>	0	0	1	0
<i>Melastomataceae</i>	18	0	0	0
<i>Nyctaginaceae</i>	3	0	0	0
<i>Papilionaceae</i>	6	0	0	0
<i>Pipereceae</i>	6	0	6	0
<i>Pteridaceae</i>	182	8	4	0
<i>Rubiaceae</i>	344	96	362	475
<i>Solanaceae</i>	3	0	0	0
<i>Urticaceae</i>	0	8	0	0
<i>Verbenaceae</i>	297	8	0	0
Total	1249	419	410	486

Tabla 25. Número de familias y especies, diversidad (índice de Simpson, Shannon y Margalef) y distribución de la vegetación arvense en sistemas mixto y monocultivo.

Índices	La Maná Mixto	La Maná Monocultivo	El Carmen Mixto	El Carmen Monocultivo
Familia	19	10	12	6
Especies	29	18	11	5
Simpson_1-D	0,9	0,9	0,8	0,7
Shannon_H	3,2	3,1	1,9	1,5
Margalef	11,8	7,6	5,7	2,3

4.1.8 Productividad

El sistema agrícola mixto, La Maná obtuvo un rendimiento mucho más alto con un promedio de (19776,66 kg y 719,36 cajas, ha⁻¹ año⁻¹); mientras que el sistema monocultivo, La Maná; alcanzo un promedio relativamente menor (13474,24 kg y 489,97 cajas, ha⁻¹ año⁻¹); ya que el cultivar tiene un peso de racimo que promedia de 6 a 8 kg, mientras que en el sistema mixto hay cultivares que pueden alcanzar un peso de racimo de 20 kg. En El Carmen, el sistema monocultivo alcanzo un total de rendimiento de 19666,67 kg, y 715 cajas ha⁻¹ año⁻¹; similar resultado se obtuvieron en el sistema mixto sus promedios de rendimiento total estuvieron alrededor de los 19439,28 kg y 706,88 cajas ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 21). Un claro ejemplo tenemos en Amapá, Brasil donde los agricultores ahora siembran banano y fomentan la regeneración natural y el crecimiento de *sororoca* y *pariri*, dos especies silvestres nativas de la familia de las Musáceas. Los aldeanos reportan que estas dos especies no compiten (*brigar*, en términos locales) con el banano. Al contrario, protegen las parcelas de banano de la dispersión de la enfermedad y mejoran la resiliencia y estabilidad del sistema agrícola. Además de estas dos especies, las parcelas de *banana emcapoeirada* incluyen un gran número de otras plantas y tienen la apariencia de un bosque. Desde que el sistema fue adoptado, la producción de banano por hectárea se ha incrementado en un 500% (Jarvis, *et al.*, 2011).

El uso de monocultivos como estrategia agrícola era cuestionado desde varios puntos de vista; el ecológico, el social y el agronómico mismo. Varias investigaciones fueron orientadas a explicar el porqué; a pesar de que, no obstante, los rendimientos de los monocultivos a veces fueron superiores, los cultivos asociados o mixtos podían producir más en términos económicos, ecológico y agronómicos (Trenbath, 1974).

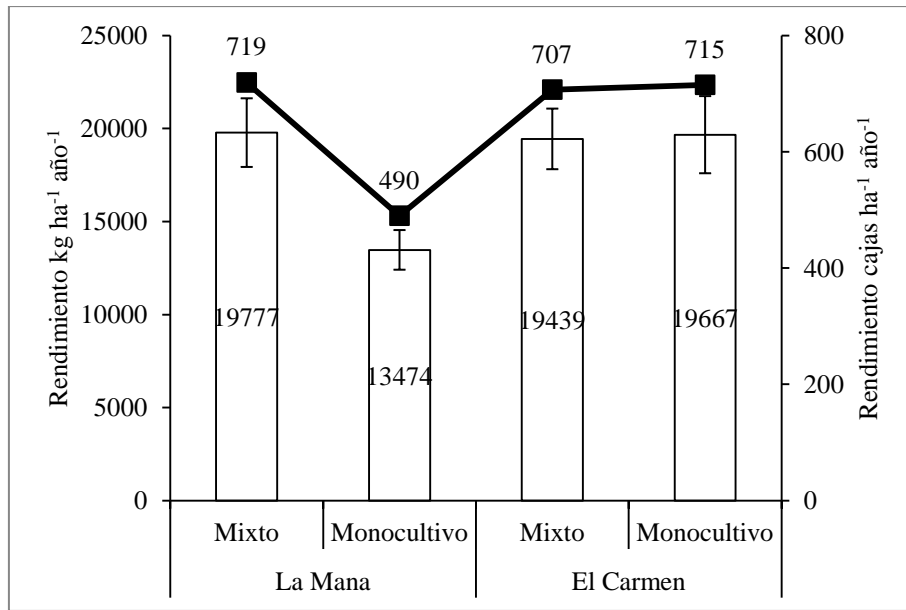


Figura 21. Rendimiento de fruta (kg ha⁻¹ año⁻¹) y número de cajas (cajas ha⁻¹ año⁻¹) ± SE en los sistemas de producción de La Maná y El Carmen.

4.2 Establecer la recuperación de productividad en sistemas agrícolas que presentan resiliencia después de introducir biodiversidad.

La recuperación de productividad en los distintos tipos de sistemas agrícolas después de haber introducido biodiversidad se evaluó en las tres localidades de estudio (La Maná, El Carmen y Quevedo) donde se establecieron parcelas de nueva siembra con mezclas mayoritariamente binarias de variedades de *Musa* y se compararon con monocultivos (Tabla 9 i Anexo II).

4.2.1 Rendimiento y productividad

En el análisis de varianza combinado para rendimiento en las tres localidades de evaluación y dos años (Tabla 26), se encontraron diferencias significativas para todos los factores e interacciones, lo que indica que los diferentes niveles de mezclas y monocultivos responden de manera distinta a cada una de las localidades evaluadas. El valor del coeficiente de variación (CV) de 10,64 % sugiere, de acuerdo con Reyes (1990), que la conducción de los experimentos y los resultados obtenidos son confiables.

Tabla 26. Resultados del análisis de varianza combinado factorial al comparar el tipo de cultivo (5 monocultivos y 11 mezclas); la localidad (La Maná, Quevedo y El Carmen) y los años (2015 y 2016).

Factor	gl	Suma de cuadrados	F	p-valor
Tratamientos	15	259,46	106,74	0,001
Localidades	2	108,43	44,61	0,001
Años	1	608,96	250,52	0,001
Tratamiento*Localidades	30	37,81	15,56	0,001
Tratamientos*años	15	27,27	11,22	0,001
Localidades*Años	2	25,23	10,38	0,001
Tratamiento*Localidades*Años	30	27,04	11,12	0,001

CV (%) = 10,64

4.2.1.1 Peso de racimo

Al comparar el efecto simple de las parcelas de monocultivo y su comportamiento agronómico en las tres localidades durante los dos años (Tabla 27), se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) para el peso de racimo. Esto demostraría un comportamiento estable en monocultivos. Los cultivares Gros Michel y Maqueño obtuvieron los pesos de racimo más elevados con promedios superiores a 21

kg que se atribuye a las características genéticas propias de estos dos cultivares (Tabla 27). En términos generales se registró un incremento de la productividad en el año 2016 con respecto al 2015. Con respecto a las localidades se registraron diferencias estadísticamente significativas para el año 2015, mientras que para el 2016 las localidades se comportaron de forma similar. La localidad con mejor comportamiento fue Quevedo durante los dos años seguida por El Carmen.

De acuerdo a los dos años de estudios en las tres localidades se evidenció un incremento en la productividad de un año a otro.

Tabla 27. Efectos simples de promedios de rendimiento (kg planta⁻¹), en parcelas de monocultivos y por localidad durante los dos años de estudio.

Monocultivos	2015	2016
Barraganete (B)	11,7 b	15,5 c
Orito (O)	6,7 c	9,9 d
Limeño (L)	11,3 b	17,7 b
Gros Michel (GM)	21,0 a	18,5 b
Maqueño (M)	21,7 a	22,6 a
La Maná	12,1 b	16,3 a
Quevedo	16,1 a	17,2 a
El Carmen	15,2 a	17,0 a
CV (%)	9,4	10,2

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los efectos simples de peso de racimo de acuerdo a los diferentes niveles de mezclas, las tres localidades y los dos años de evaluación se presentan en la Tabla 28. Las mezclas binarias constituidas por los cultivares Gros Michel, Limeño, Barraganete y Maqueño (GM+L; GM+B; B+M y M+L) produjeron racimos con mayor peso en el periodo 2015, con promedios superiores a 14 kg, que en el segundo año 2016. Estas mismas mezclas volvieron a tener superioridad en el peso de los racimos cuando se les añadió otras variedades (Orito además de las anteriores) formando mezclas de 4 componentes (O+B+GM+L y GM+B+O+M+L) con un incremento del 10% de un año a otro. Sabiendo que el peso del racimo es proporcional al tamaño de la planta y la adaptación que esta presenta a cada zona, para alcanzar los grados requeridos para el grosor del fruto. El tratamiento compuesto por la mezcla de cultivares Barraganete (AAB) y Gros Michel (AAA) alcanzó el mayor peso de racimo a diferencia de la mezcla de los cultivares Orito y Limeño que dieron los menores.

El efecto simple de las localidades (La Maná, Quevedo y El Carmen) de acuerdo a los niveles de mezcla utilizado presentó significancia estadística para los dos periodos. La localidad La Maná registro el menor peso con 11,71 kg para el primer periodo (2015), para el segundo periodo obtuvo un incremento significativo superior al 20% (14,91 kg). Las localidades de Quevedo y El Carmen obtuvieron un comportamiento similar sobre el peso de racimo en el primer y segundo periodo, registrando un incremento de cercano al 20% de un periodo a otro. Estos incrementos de la productividad de un periodo a otro y su variación entre localidades (La Maná, Quevedo y El Carmen), están relacionados directamente con factores asociados al clima como la radiación solar y la intensidad lumínica. En comunidades de plantas como las Musáceas donde se combinan estaturas altas, medianas y bajas, la fotosíntesis se lleva a cabo en estratos de hojas que se sobreponen sombreándose unas a otras.

Tabla 28. Efectos simples de promedios de rendimiento (kg planta⁻¹), en parcelas con varios niveles de mezclas y por localidad durante los dos años de estudio.

Mezclas	2015		2016	
B+L	11,05	de	13,41	c
O+L	8,98	e	14,09	c
GM+L	15,90	a	17,08	a
O+B	9,17	e	13,41	c
GM+B	15,02	ab	16,27	ab
GM+O	13,25	bcd	13,22	c
M+L	15,22	ab	17,42	a
O+M	12,44	cd	14,65	bc
B+M	14,35	abc	16,93	a
O+B+GM+L	13,29	bcd	17,20	a
GM+B+O+M+L	13,13	bcd	16,75	a
La Maná	11,71	b	14,91	b
Quevedo	13,52	a	15,63	a
El Carmen	13,43	a	15,94	a
CV (%)	12,89		13,25	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La sostenibilidad de la productividad agrícola depende, en gran medida, de la conservación y el correcto aprovechamiento de la variabilidad genética de las especies, del manejo de los suelos y del empleo de sistemas agrícolas que maximicen la adaptación ecológica de las especies cultivadas (Araméndiz, Espitia y Cardona, 2009). En este sentido, el crecimiento y desarrollo del cultivo de plátano y banano está influenciado por las condiciones ambientales.

Estudios realizados por Belalcázar, Cayón y Lozada (1991) mostraron que el cultivar Dominico-Hartón presenta su máxima productividad entre los 800 y 2000 m.s.n.m., mientras que el clon Hartón tiene su máximo potencial a altitudes inferiores, entre 0 y 800 m.s.n.m, incrementando notablemente el ciclo vegetativo cuando son sembrados a alturas superiores. Esto conlleva repercusiones a nivel metabólico y productivo ya que las velocidades de las relaciones metabólicas (Q10) disminuyen cuando la temperatura baja. Solamente se logran incrementos en el peso, pero no en el número de dedos por racimos y manos por racimos, respuestas completamente diferentes a las obtenidas en plátano (Espinosa, 1998). Este autor manifiesta que el tamaño y la forma del racimo son factores condicionados genéticamente, mientras que el número de manos y frutos típicamente están influenciados, negativamente, por las condiciones ambientales adversas y, por daños sufridos por la planta en épocas críticas, como severas defoliaciones, deficiencias nutricionales o estrés hídrico, entre otros.

En nuestro estudio hay una clara diferencia en altitud entre las localidades siendo Quevedo la más baja, seguida de El Carmen y La Maná. Esta última localidad es la que presenta racimos con menor peso.

La productividad según el número de componentes utilizados (mezcla y monocultivo) se muestra en la Tabla 29, en la cual se pueden apreciar los promedios de peso de racimo (Kg) de los cinco cultivares de musáceas utilizados tanto en mezclas como monocultivos. Según el análisis de variancia realizado en la evaluación de los cultivares los tratamientos mostraron significancia estadística en los dos periodos (2015 y 2016); siendo los coeficientes de variación 6,1 y 7,9%, respectivamente.

Tabla 29. Promedios de rendimiento (kg planta⁻¹), por números de componentes usados en varias localidades durante dos años

Número de componentes	2015	2016
1	14,5 a	16,8 a
2	12,8 b	15,2 b
3	13,3 b	17,2 a
4	13,1 b	16,8 a
La Maná	12,4 c	16,3 a
Quevedo	14,4 a	16,3 a
El Carmen	13,5 b	16,5 a
CV (%)	6,1	7,9
EE	0,22	0,23

1= monocultivos; 2= 2 cultivares en mezcla; 3= 4 cultivares en mezcla; 4= 5 cultivares en mezcla.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La diferencia entre los componentes se consideró de una forma ajustada entre el componente 1 (monocultivo) y el resto de componente donde se utilizaron más de dos cultivares en mezclas, para el periodo 2015, el componente 1(monocultivo) registro el mayor peso de racimo 14,49, seguido de los componentes 3 y 4 que registraron promedios de peso de racimo superiores a 13 kg. Todo lo contrario sucedió en el periodo 2016 el componente el compuesto por la mezcla de cuatro cultivares alcanzo el mayor peso de racimo con 17,2 superando de una manera al resto de componentes. El incremento de productividad que se registró del periodo 2015 al 2016 fue del 19%. De las tres localidades estudiadas La Maná registro el menor peso en ambos períodos, mientras que la localidad de Quevedo fue superior en el periodo 2015. Para el periodo 2016 hubo una tendencia uniforme en las tres localidades con promedios que oscilaron sobre los 16 kg.

De acuerdo al grafico de interacciones entre el número de componentes y las localidades de estudio en los periodos de cosecha 2015 y 2016 (Figura 22 y 23). Para el periodo 2015 se observa una tendencia negativa de acuerdo al número de componente en las localidades de El Carmen Quevedo, mientras en la localidad de La Maná hay una tendencia a subir de acuerdo a número de componentes utilizado, esto quiere decir si entre más componente utilizo en una mezcla de cultivares el rendimiento me aumenta. El periodo de cosecha 2016 la tendencia estuvo balanceada en las localidades de El Carmen y Quevedo, mientras que para La Maná se comportó igual que el periodo 2015.

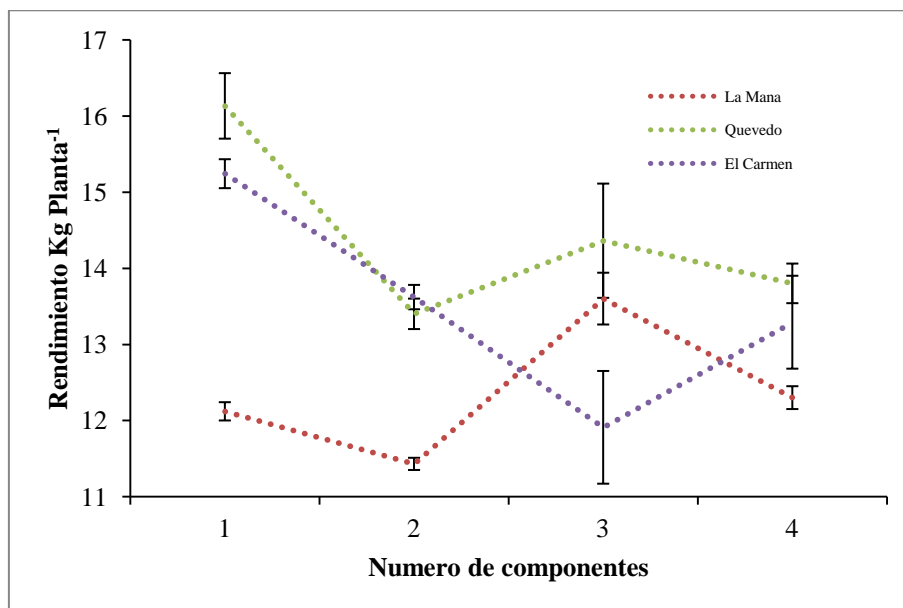


Figura 22. Interacción entre número de componentes y las localidades en la variable rendimiento (kg racimo planta⁻¹ ±SE), durante el año 2015.

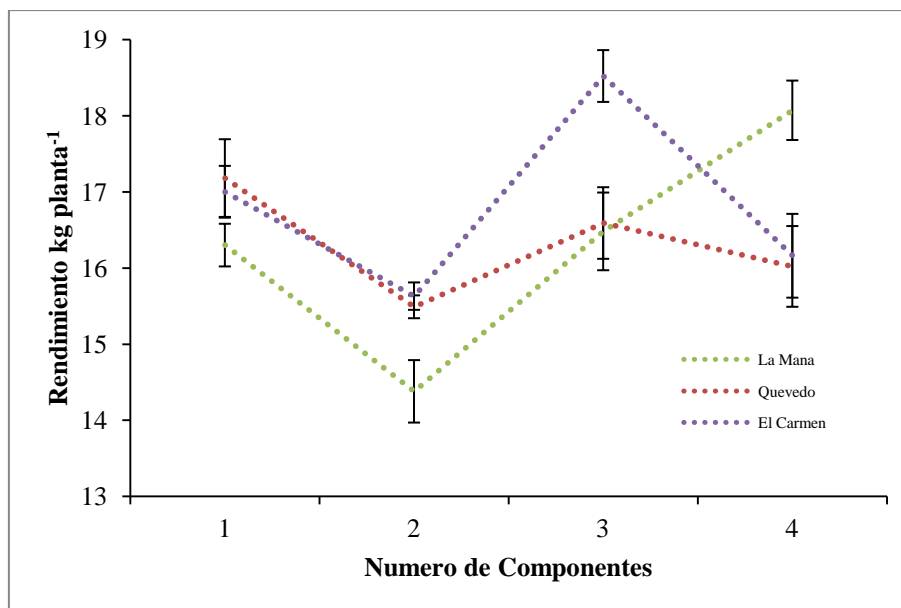


Figura 23. Interacción entre número de componentes y las localidades en la variable rendimiento (kg racimo planta⁻¹±SE), durante el año 2016.

Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial adoptan sistemas de cultivos en mezclas, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra. Este aumento en el aprovechamiento de la tierra es especialmente importante en aquellos lugares del mundo donde los precios son bajos debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que se pueda limpiar, preparar y desmalezar (generalmente en forma manual) en un tiempo limitado.

4.2.2 Relación Equivalente de Tierra (RET)

Los cultivos en mezclas asociados representan una forma de incrementar la variedad de productos cosechados por unidad de superficie y son ampliamente utilizadas en zonas tropicales y subtropicales ya que proporcionan un ingreso adicional al agricultor en la misma unidad de terreno. Entre los beneficios que sustentan el empleo de asociación de cultivos, se encuentra una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos y climáticos, así como ventajas relativas a la distribución temporal del trabajo de mantenimiento, en función de los requerimientos particulares de las especies asociadas (Willey, 1979).

En la Tabla 29 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la Relación Equivalente de Tierra en musáceas. No hubo diferencias significativas para las localidades y los años lo cual indica que este no fue afectado por la competencia entre las mezclas de cultivares. Sin embargo, los análisis de variancia reflejaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para los Tratamientos (niveles de mezclas) estudiados y las cuatros interacciones.

Tabla 29. Resultados del análisis de varianza combinado factorial al comparar los factores Tratamientos (con 16 niveles, 5 monocultivos y 11 mezclas); Localidad (con 3 niveles, La Maná, Quevedo y El Carmen) y Años (con 2 niveles, 2015 y 2016).

Factor	gl	Suma de cuadrados	F	p
Tratamientos	15	5,97	128,30	0,0001
Localidades	2	0,06	1,38	0,2537
Años	1	0,02	0,36	0,5500
Tratamiento*Localidades	30	0,18	3,93	0,0001
Tratamientos*años	15	0,30	6,54	0,0001
Localidades*Años	2	0,14	3,10	0,0466
Tratamiento*Localidades*Años	30	0,18	3,81	0,0001

CV (%) = 12,84

Al analizar la RET (Tabla 30), se determinó que el sistema de cultivo de mezcla interespecifico fue más eficiente en uso de la tierra en comparación con los monocultivos, resultados similares a los reportados por Quiroz y Marin (2003), en una asociación maíz - quinchoncho.

La RET presentó valores a favor de las mezclas en todos los casos, lo que significa que aun cuando el productor no tuviera fallas en su monocultivo, el mantener varios cultivares está presentando ventaja, tanto en el aspecto de manejo de plagas y enfermedades como se indica en el siguiente capítulo, como en los aspectos económicos.

Tabla 30. Efectos simples del Índice de Relación Equivalente de Tierra (RET), en parcelas con varios niveles de mezclas y varias localidades durante dos años.

Mezclas	2015	2016
Monocultivos	1,00 c	1,00 f
B+L	1,92 b	1,89 bcd
O+L	2,01 b	1,83 cd
GM+L	2,04 b	1,81 cd
O+B	2,02 b	2,17 abc
GM+B	1,85 b	2,12 abcd
GM+O	1,92 b	1,45 e
M+L	2,00 b	1,97 bcd
O+M	1,80 b	1,79 de
B+M	1,80 b	2,37 a
O+B+GM+L	2,43 a	2,41 a
GM+B+O+M+L	2,00 b	2,19 ab
La Maná	2,05 a	1,96 a
Quevedo	1,99 ab	2,04 a
El Carmen	1,90 b	2,00 a
CV (%)	12,89	13,25

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Por ejemplo, el índice RET de la mezcla O+B+GM+L alcanzo 2,4 unidades de superficie para los periodos de cosecha 2015 y 2016, indicando que se requeriría el 1,4 % más de terreno sembrado en monocultivo para igualar productividad de esta asociación.

Las otras mezclas presentaron rangos entre 45 a 119% siendo menos favorecida aparentemente GM+O con un valor mínimo de índice RET de 1,92 y 1,45% para cada año evaluado.

Con respecto de la RET en las localidades evaluadas, La Maná presento el mejor índice para el periodo de cosecha 2015 con promedio de 2,05 y la misma tendencia fue observada para el segundo periodo.

De los valores obtenidos se podría deducir, además, que todas las mezclas en las que participan los cultivares que más se siembran en monocultivo, esto es Barraganete en las localidades de Quevedo y El Carmen y Orito en La Maná, obtienen valores RET superiores a la unidad, es decir, que se obtendría una mejor respuesta en mezclas que en monocultivo. Valores similares a los obtenidos, han sido publicados por Venezuela,

Quiroz y Marín (2003) en una combinación maíz-quinchoncho que reportaron una mejor eficiencia del uso de los recursos en las parcelas asociadas, evidenciando ventajas respecto a los monocultivos de referencia.

Los resultados de mayor eficiencia en el uso de la tierra ocurrieron con el componente 3 (mezclas de 4 cultivares), en los dos periodos de cosecha. Esto probablemente ocurrió debido a los diferentes ritmos de crecimiento, incremento en el aprovechamiento de la radiación solar y complementación nutrimental, como lo señala Galdámez *et al* (2010). La RET fue mayor en La Maná para los dos periodos de cosecha y en el con valores de 2,00 y 2,04, respectivamente (Tabla 31). La diferencia condiciones ambientales de las localidades en estudio y el ciclo bilógico de los cultivos en mezclas fue favorable como en el caso de La Maná, la humedad fue favorable en todo el año en los dos periodos de cosecha. Las localidades de Quevedo y El Carmen tuvieron un comportamiento aceptable con índices de RET superiores a 1,70. Valores mayores que la unidad, como ocurrió en este estudio, indican que el sistema se recupera de las perturbaciones existentes, y se mejoran las funciones de la tierra, como lo mencionan Tolera *et al.* (2005) y Vahdettin *et al.* (2006).

Tabla 31. Efectos simples del Índice de Relación Equivalente de Tierra (RET) por números de componentes usados en varias localidades durante dos años

Número de componentes	2015	2016
1	1,00 c	1,00 c
2	1,93 b	2,00 b
3	2,43 a	2,41 a
4	2,00 b	2,19 ab
La Maná	2,00 a	2,04 a
Quevedo	1,81 b	1,82 b
El Carmen	1,71 b	1,83 b
CV (%)	8,81	7,90

1= monocultivos; 2= dos cultivares en mezclas; 3= cuatro cultivares en mezclas; 4= cinco cultivares en mezclas., Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo a las interacciones entre en número de componentes utilizados en las mezclas, las localidades y los dos periodos de cosecha (Figuras 24 y 25). Hay una tendencia de incremento cuando se usa más de un componente, como en el caso de La Maná donde se evidenciaron los índices más altos, cuando se utilizaron 3 componentes en los dos periodos de cosecha (2015 y 2016), esto nos da la pauta para indicar que cuando utilizamos mezclas ricas en diversidad aseguramos un ecosistemas agrícola más

estable y resiliente asegurando de una forma más eficiente el uso de la tierra y mejorar los ingresos asegurando la productividad a largo plazo y dándoles alternativas al agricultor de diversificar sus productor en el mercado, resultados que concuerdan con Powers y McSorley (2001), señalan que los sistemas mixtos de cultivo propician una diversidad necesaria para su estabilidad. Proporcionando la productividad del sistema y mejorando la estabilidad ambiental del sistema, permitiendo asegurar la cosecha. Disminuye la competencia entre plantas por el mismo hecho fisiológico que la competencia intraespecífica (plantas de la misma especie) e interespecífica (plantas de diferentes especies) es menor que la competencia de monocultivos. Los mismos autores mencionan, que el mayor problema de explotar un monocultivo es la susceptibilidad a enfermedades, que pueden desatar un gran desastre cuando una plaga vence la resistencia del cultivo.

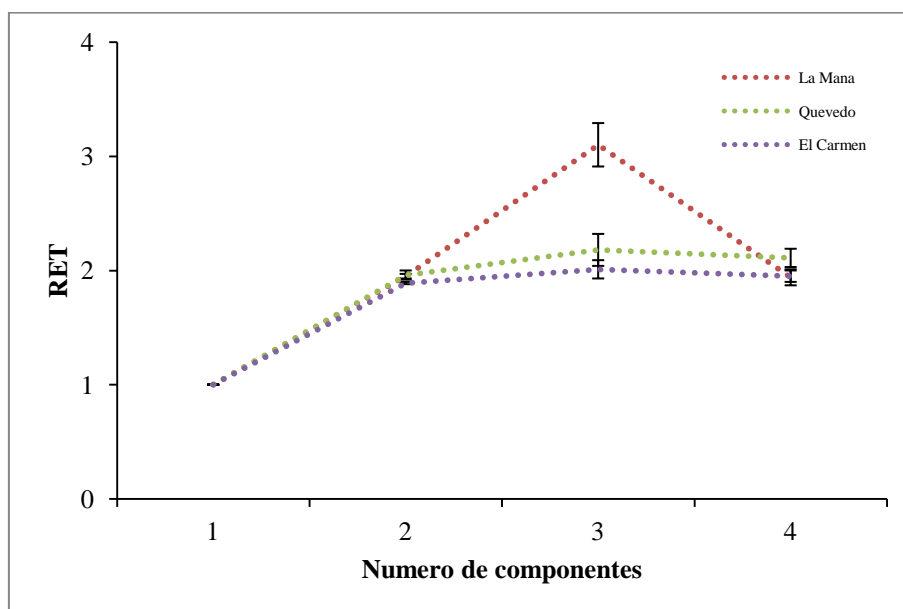


Figura 24. Interacción entre número de componentes y las localidades en la variable $RET \pm SE$, durante el año 2015.

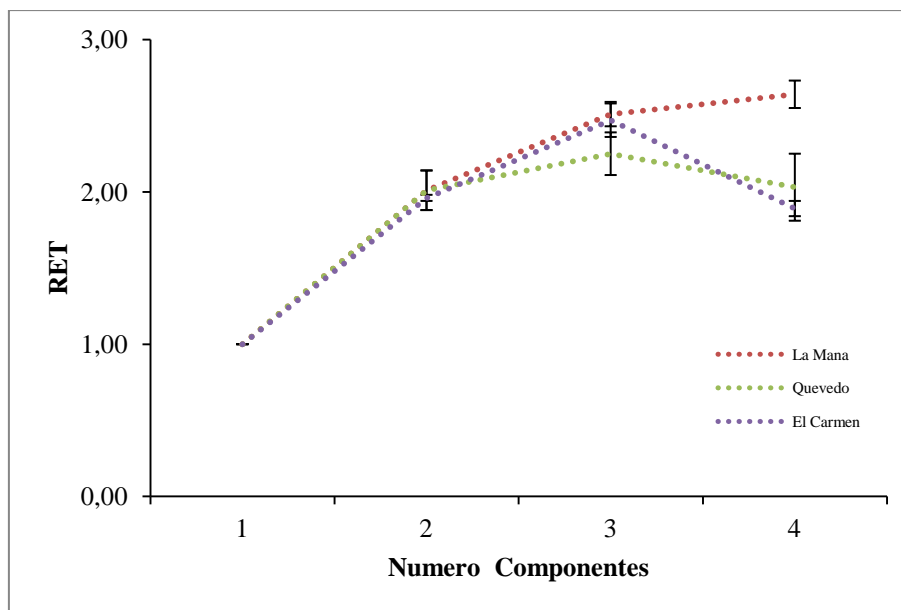


Figura 25. Interacción entre número de componentes y las localidades en la variable $RET \pm SE$, durante el año 2016.

Mediante el análisis de componentes principales (CP) para la variable rendimiento y la RET (Figura 26 y 27), de los diferentes niveles de mezclas y monocultivos evaluados en las tres ambientes se determinó para el rendimiento, el primer eje del análisis de componentes de la interacción CP1 explicó el 72,3% de la interacción, y el segundo eje el 19.1%. Mientras que para la variable RET el CP1 explicó el 89,6% y el CP2 el 7,8%. Estos resultados demuestran que el efecto de interacción cultivares x ambiente fue explicado en su totalidad por los dos CP. Estos resultados demuestran que tanto las mezclas y los monocultivos tienen un comportamiento diferencial en las localidades estudiadas. Concordando con Yan et al. (2000) quienes sugieren que el primer componente (CP1) se encuentra estrechamente correlacionado con las mezclas y los monocultivos, y representa la proporción del rendimiento y la RET que se debe sólo a las características de los cultivares, mientras que el segundo componente (CP2) constituye la parte del rendimiento y RET debido a la interacción cultivar x ambiente, en la figura se observa que los cuadrantes superior derecho agruparon a las localidades con rendimiento y RET cercano al promedio general, mientras que los cuadrantes inferiores derecho agruparon los las mezclas y monocultivos calificados con mayor rendimiento.

El Biplot permite identificar grupos extremos de genotipos y de localidades; por ejemplo, para el caso de La Maná los monocultivos y mezclas alcanzaron promedio inferiores que en Quevedo y La Maná para los dos variables,

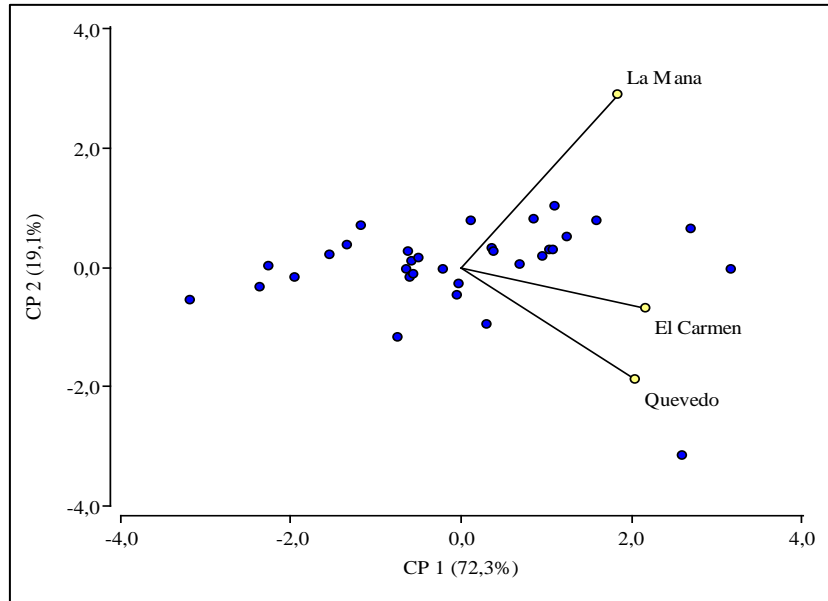


Figura 26. Resultado del análisis de componentes principales (Biplot), de la variable rendimiento (kg planta^{-1}) entre las localidades, periodos de producción; niveles de mezclas y monocultivo.

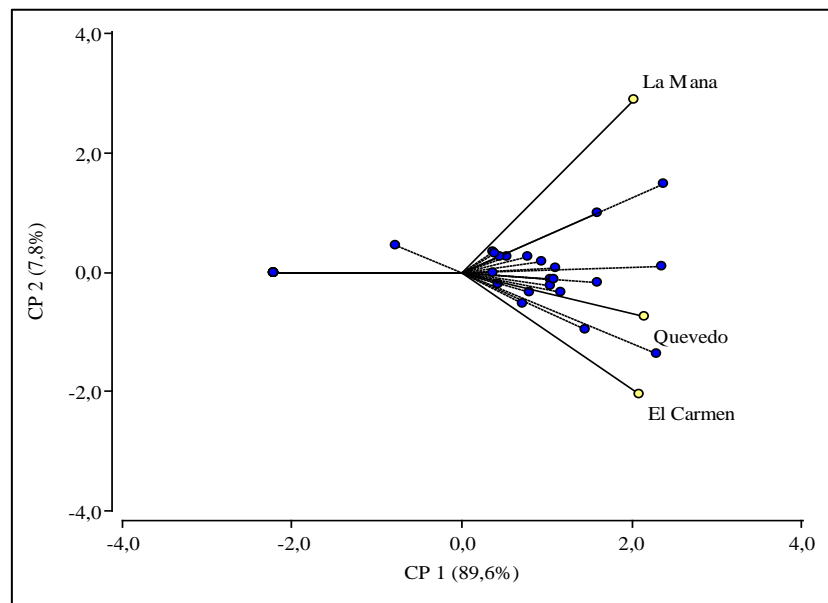


Figura 27. Resultado del análisis de componentes principales (Biplot), de la variable índice RET entre las localidades, periodos de producción; niveles de mezclas y monocultivo.

4.3 Estado de sanidad de los cultivos

4.3.1 Condiciones climáticas de las localidades

Para poder evaluar el estado sanitario de las distintas parcelas de estudio en relación a la incidencia de plagas y enfermedades características de las musáceas es necesario conocer bien las condiciones climáticas de las localidades donde estas se encuentran.

En las Tablas 2, 3 y 4 de la sección material y métodos se ilustran los valores de las variables meteorológicas (precipitación, temperatura, humedad relativa y heliofanía) representada por periodos (lluvioso y seco), durante dos años (2015 y 2016), período donde se levantó la información de datos sanitarios.

Las tres localidades se caracterizan por tener altas precipitaciones, altas temperaturas y una humedad relativa por encima de 80%, condiciones muy favorables para el desarrollo del patógeno, La Maná por su condición de tener una temperatura más bajas, alta en precipitaciones y baja en luminosidad se convierte en un ambiente menos favorable para el desarrollo de la Sigatoka negra, lo que concuerda con lo establecido por Belalcazar, 1991; Merchán, 2000; Patiño y Mejía, 1999, quienes aseguran que bajo condiciones de temperaturas de 26 a 28°C y salpicadura de agua foliar son las condiciones adecuadas para la germinación y penetración del inóculo.

4.3.2 Incidencia de Sigatoka negra

Como se observa en la tabla 32 la influencia de niveles mezclas de cultivares sobre el índice de infección de la Sigatoka negra estuvo relacionado con la época del año, o localidad de la evaluación y finalmente los años, todos los factores estudiado y sus interacciones, tanto de los monocultivos y las mezclas, presentando en cada caso diferencias altamente significativas. De igual forma se observa que solo no se presentaron diferencias significativas entre los tipos de manejo monocultivo fue para la interacción entre los factores años y épocas. La mezclas no registro diferencias estadística al índice de la enfermedad en las interacciones de los factores (Componentes*Localidades*Años) y (Componentes*Ambientes*Años*Épocas). Los coeficientes de variación que se obtuvieron fue de 8,64 y 11,53 para los monocultivos y las mezclas, respectivamente. Siendo estos coeficientes absolutamente bajo para el tipo de variable evaluada, lo que indica que los resultados son confiables.

Tabla 32. . Influencia de los monocultivos y niveles de mezclas de cultivares *Musas sp* sobre incidencia de *M. fijiensis*. Resultados del análisis de varianza factorial combinado al comparar los factores Componentes, Localidad, Año y Época del año, con sus respectivas interacciones.

Factores	Monocultivo			Mezclas		
	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor
Componentes	1382	771	0,00	77	36	0,00
Localidad	129	72	0,00	257	119	0,00
Año	239	133	0,00	60	28	0,00
Época	2646	1475	0,00	3469	1606	0,00
Componentes*Localidad	42	23	0,00	20	9	0,00
Componentes*Año	38	21	0,00	4	2	0,03
Componentes* Época	139	77	0,00	8	4	0,00
Año* Época	0,1	0,1	0,82	22	10	0,00
Localidad* Época	42	23	0,00	61	28	0,00
Localidad *Año	12	7	0,00	122	56	0,00
Componentes*Localidad*Año	9	5	0,00	3	1	0,27
Componentes* Época *Año	20	11	0,00	3	1	0,20
Componentes*Época*Localidad	24	13	0,00	7	3	0,00
Localidad*Años*Época	6	3,3	0,04	222	103	0,00
Componentes*Localidad*Año*Época	7	3,7	0,00	3	1	0,23
CV (%)	8,64			11,53		

4.3.2.1 Efectos simples sobre el factor años y el Índice de infección de la enfermedad en monocultivos y mezclas de *Musa spp*.

Se puede apreciar la incidencia de la enfermedad en los monocultivos y las mezclas intraespecíficas en relación con los grados de la escala de Stover, mediante el índice de la enfermedad (% I.E).

Durante los dos años de evaluación se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,001$) en ambas épocas del año (Tabla 32). Los resultados bajo condiciones de campo evidencian que los cultivares Orito (AA) y Limeño (AAB) presentan mayor tolerancia a la enfermedad, al mostrar un índice de infección menor (Figura 28). En contraste, los cultivares de banano Gros Michel (AAA) y plátano Maqueño (AAB) mostraron un comportamiento intermedio mientras que el Barraganete (AAB), presento un mayor nivel de susceptibilidad a la enfermedad, al presentar mayor índice de infección de la Sigatoka negra. El año 2015 mostró valores de índices de infección más elevados en todos los cultivares en monocultivo ya que fue un año con mayor precipitación, altas temperatura, mayor luminosidad y humedad relativa. Estos resultados concuerdan con los de Cedeño et al. (2017), quien evaluó la resistencia de distintos genotipos de musas durante dos años monitoreando los síntomas de infección de Sigatoka negra a nivel de

invernadero. Los cultivares de banano Orito (AA) y plátano Limeño (AAB) alcanzaron todos los estados evolutivos de la enfermedad en un plazo de tiempo mayor, que comprendió entre los 71 y 76 días, lo cual refleja mayor tolerancia al patógeno. En contraste, los cultivares de banano Gros Michel, Guineo de jardín, Filipino y Williams de genoma AAA, alcanzaron el máximo estado evolutivo de la enfermedad alrededor del día 45, lo que demuestra la alta susceptibilidad de estos clones a Sigatoka negra. Los cultivares de banano Mulato y Morado del genoma AAA presentaron estados evolutivos similares a los demás cultivares de plátano AAB, pero mostraron una reacción intermedia a la enfermedad al alcanzar el máximo estado de desarrollo de esta entre los 54 – 60 días después de la inoculación.

El comportamiento de las mezclas sobre la infección de Sigatoka negra mostró una tendencia casi homogénea en relación a los años (Figura 29). Las mezclas formadas por cultivares resistentes registraron los menores índices de enfermedad, como es el caso de las mezclas de los cultivares Limeño y Orito (ambos resistentes), las mezclas de cultivares susceptibles el índice fue mayor como es el caso de Gros Michel y Barraganete (GM + B). Las combinaciones de cultivares resistentes y susceptibles mostraron índices medios y aceptables, esto nos da la pauta de comprobar el beneficio que nos otorga el uso de la biodiversidad intraespecífica para contrarrestar los daños por enfermedades.

Se observó una tendencia general hacia la reducción de infección de *M. fijiensis* con mayor complejidad en las mezclas. La misma tendencia se observó en investigaciones realizadas por Newton et al. (1997) en parcelas tratadas con fungicidas, aunque esto no fue significativo en 1995/6. El beneficio del rendimiento puede ser atribuido a una mejor explotación de los recursos en las mezclas. Una cubierta morfológicamente heterogénea estructura es probable lograr una mayor interceptación de luz, y los diferentes hábitos de crecimiento competirán y compensar para lograr una mayor explotación de nichos. En otras palabras, el más heterogéneo probablemente presenta mayor plasticidad fenotípica que un solo genotipo en respuesta a la ambiente.

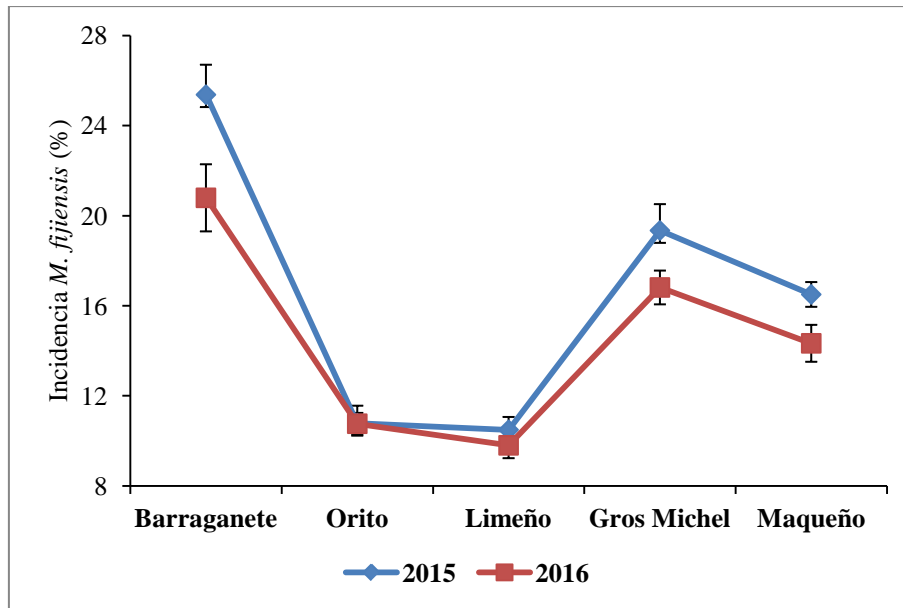


Figura 28. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de infección de Sigatoka \pm SE, durante los años 2015 y 2016.

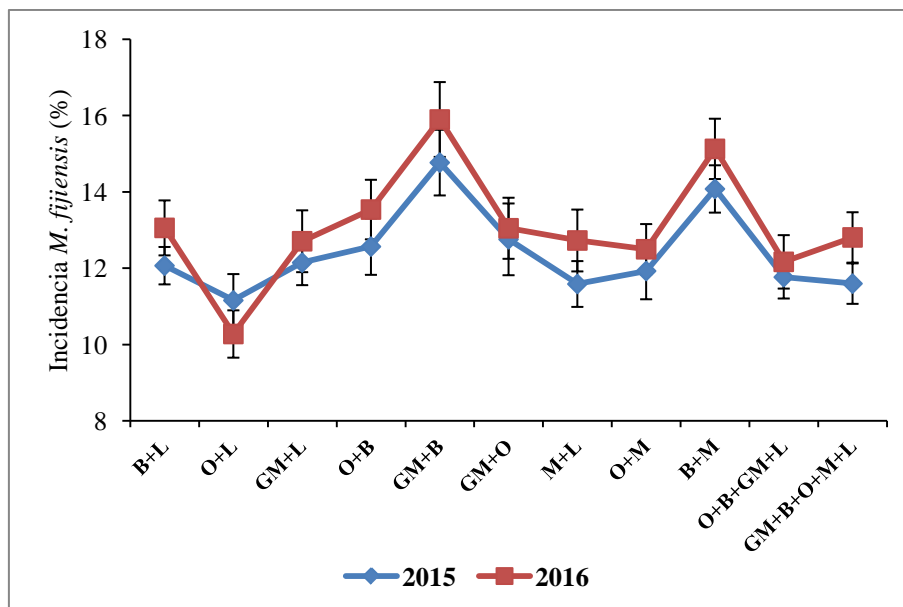


Figura 29. Comportamiento de las mezclas de Musas sp frente al índice de infección de Sigatoka \pm SE, durante los años 2015 y 2016.

4.3.2.2 Efectos simples sobre localidad y el índice de infección de Sigatoka en monocultivos y mezclas de *Musa* spp.

Quevedo y El Carmen son unas zonas especialmente propicias al ataque de Sigatoka, y el cultivar Barraganete en que se basa la explotación en la zona es muy susceptible. Esto se observó en las parcelas de monocultivo, donde el nivel de daño alcanzó un 25%.

Mientras que los otros cultivares en monocultivos tuvieron un comportamiento intermedio en el caso de Gros Michel y Maqueño.

Contrastando con los índices presentes en las parcelas de mezcla. Como se planteó en la hipótesis, todas las mezclas mostraron ser más tolerantes al ataque de Sigatoka negra incluso las mezclas de cuatro y cinco cultivares (equivalentes a 50 y 40% respectivamente de cultivares resistentes en la mezcla), presentaron una reducción de alrededor del 50% de infección con relación al monocultivo de barraganete (Figura 30). Los máximos niveles de tolerancia se observaron cuando se combinaron los dos resistente (Orito + Limeño) que presentaron un mismo índice de infección ligeramente inferior al de los monocultivos correspondientes (Figura. 17).

Otro aspecto a destacar en las mezclas es que tratándose de una enfermedad que se transmite por el aire, la mezcla de un cultivar resistente (Orito), de menor altura que el susceptible (Barraganete) disminuye la eficiencia de la mezcla, hecho que habrá que considerar para planes de manejo, sin embargo, como se aprecia en la Figura 31, aun en estas condiciones el promedio de infección en la parcela bajo casi a un tercio con respecto al monocultivo de barraganete. En el caso del Limeño, la reducción correspondiente fue un poco menor con la mitad aproximadamente.

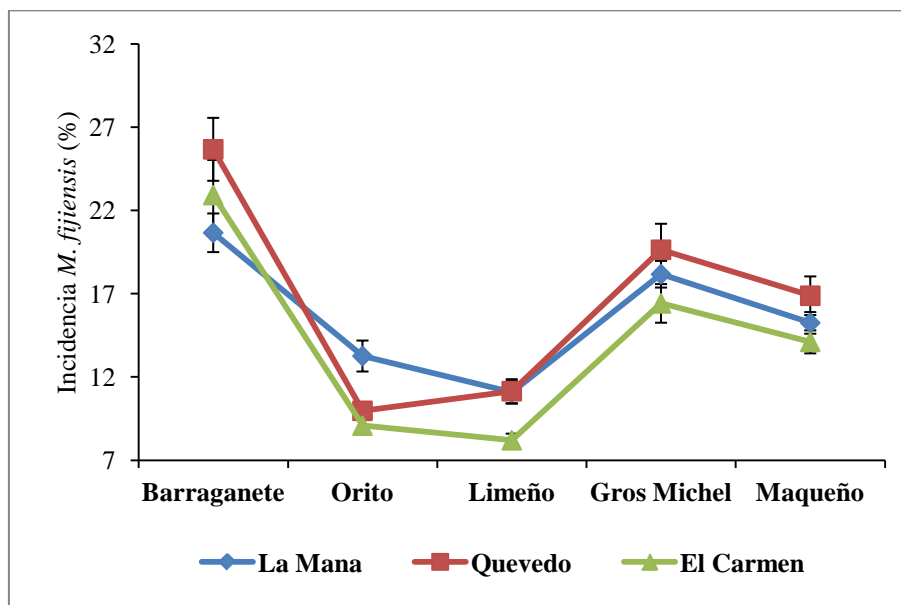


Figura 30. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de infección de Sigatoka, \pm SE en las tres localidades.

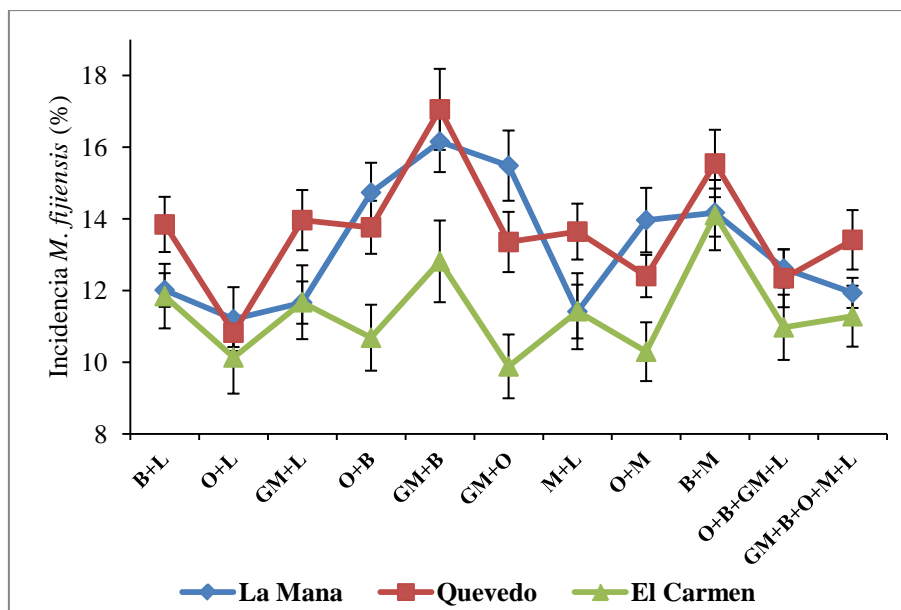


Figura 31. Comportamiento de las mezclas de Musas sp frente al índice de infección de Sigatoka \pm SE, en las tres localidades.

4.3.2.3 Efectos simples sobre los periodos estacionales (Lluvioso y seco) y el índice de infección de la enfermedad en monocultivos y mezclas de *Musa spp*

Las zonas platanera cuentan con una marcada línea de precipitación durante el año que corresponde la época o periodo lluvioso de Enero a Junio y la época seca durante los meses de Julio a Diciembre. El desarrollo de las principales etapas fenológicas (floración, maduración y cosecha) se desarrolló entre los meses de octubre a septiembre del siguiente año, así tenemos: la floración etapa que dura 90 días, se desarrolla entre los meses de octubre a diciembre; la maduración etapa que dura 90 días, se desarrolla entre los meses de enero a marzo; la cosecha es una actividad que se realiza todo el año al ser el plátano un cultivo permanente, así los meses de marzo a junio fueron los de mayor producción (época de lluvias).

Las principales enfermedades que afecta al cultivo durante el año, en las provincias productoras es la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Es por esta situación que el hongo de la Sigatoka negra el ataque es más severo en la época lluviosa a encontrar condiciones propicias para su óptimo desarrollo. Se puede reflejar en la Figura 32, el incremento de los índices de infección del hongo en la época lluviosa de casi un 50% en el caso del barraganete que es el cultivar más sembrado en monocultivo. Igual comportamiento tuvieron las mezclas (Figura 33) pero con menores índice de la enfermedad. Se evidencia claramente cuando utilizamos cultivares en mezclas susceptibles no se reduce significativamente el índice de la enfermedad con respecto a

los monocultivos, como es el caso de las mezclas (GM + B) y (M + B). Sin embargo, en base a los resultados obtenidos en el presente estudio, no se puede asegurar las características anatómicas y bioquímicas presentes en los cultivares Orito (AA) y Limeño (AAB), por lo tanto, solo es posible hipotetizar que ocurre algo cercano a lo descrito en los trabajos mencionados. Es necesario realizar investigaciones encaminadas a estudiar la interacción de los cultivares Orito y Limeño con *Sigatoka* negra, desde el punto de vista estructural y bioquímico.

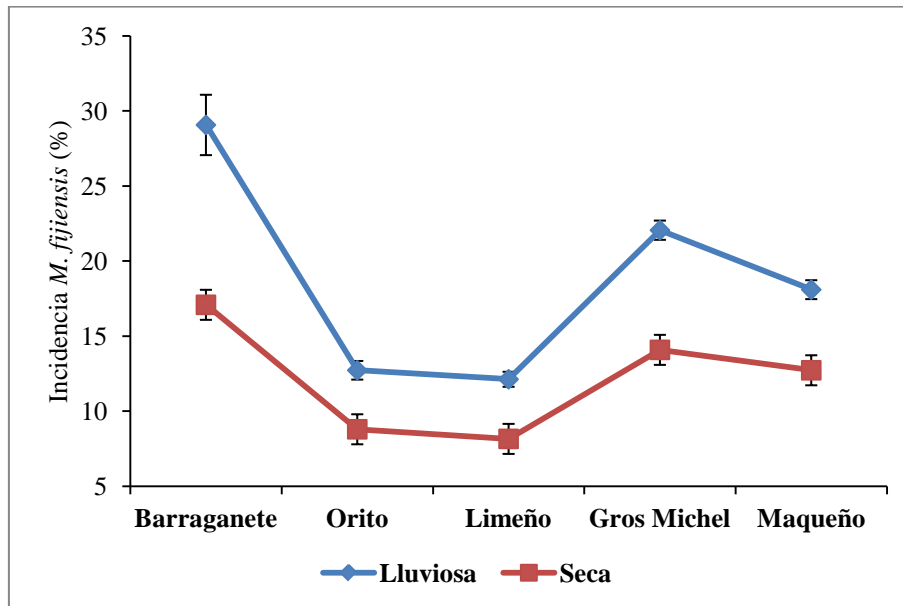


Figura 32. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de infección de *Sigatoka* \pm SE, en dos periodos estacionales.

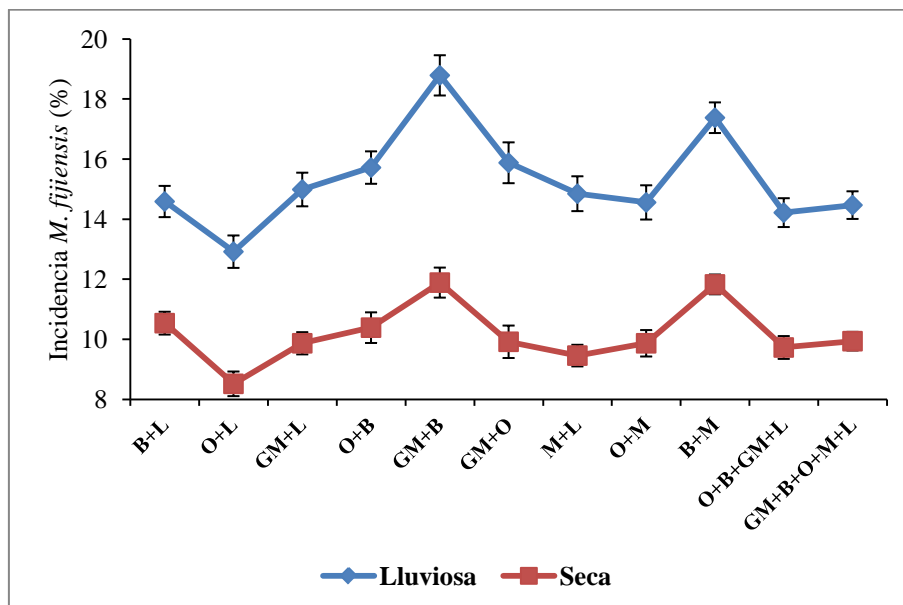


Figura 33. Comportamiento de las mezclas de Musas sp frente al índice de infección de *Sigatoka* \pm SE, en dos periodos estacionales.

4.3.2.4 Análisis de la interacción entre los factores: localidad, año y período estacional con el índice de infección de Sigatoka en monocultivos y mezclas de *Musa spp*

Se compara y describe la incidencia de daño de Sigatoka negra en el cultivo del plátano, en tres ambientes distintos, dos años y dos épocas en parcelas de monocultivos y mezclas. (Figura 34 y 35). De manera general se observa que la incidencia de este agente causal reflejó un comportamiento diferenciado en la interacción de los factores de estudio, sin embargo, los mayores porcentajes de incidencia se presentaron en los meses de enero a junio (época lluviosa) con porcentajes de 20 % respectivamente para las parcelas de monocultivos.

En términos generales la localidad de Quevedo se registró mayor presencia del hongo en comparación con las dos localidades, esto es lógico porque se encuentra en una zona de alta presión del hongo por sus condiciones climáticas óptimas para su reproducción y diseminación y por tener una superficie muy extensa de monocultivo.

En las mezclas (Figura 35), el índice de infección de Sigatoka negra se redujo un 25%, en los dos años. Alcanzando la localidad de La Maná los mayores índices de la enfermedad en el año 2015 y en ambas épocas (lluviosa y seca), en el año 2015 el escenario fue distinto la localidad que mayor índice de infección registró fue Quevedo con promedios que oscilaban sobre el 17 y 12% para la época lluviosa y seca, respectivamente.

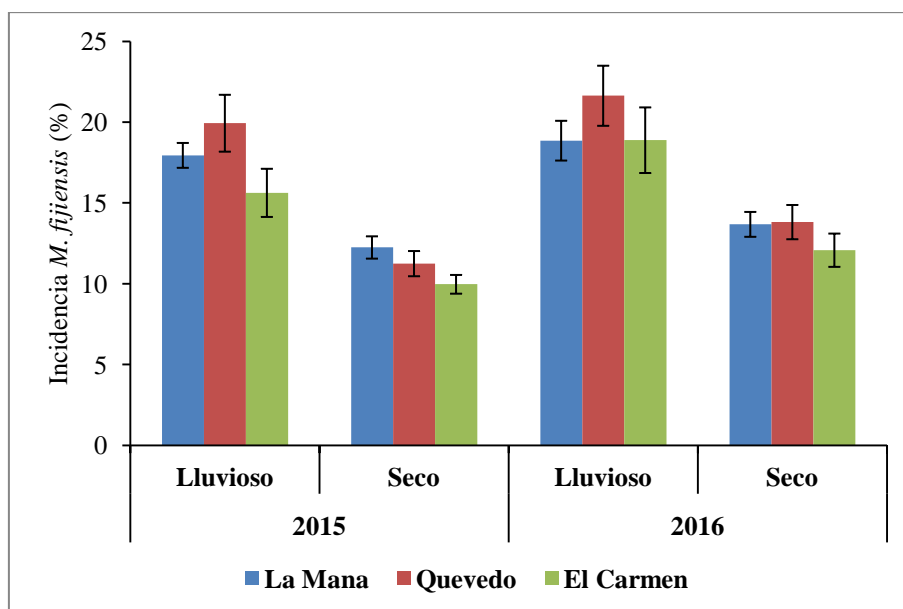


Figura 34. Interacción entre las localidades, años y épocas en la variable índice de infección de Sigatoka \pm SE en parcelas de monocultivos.

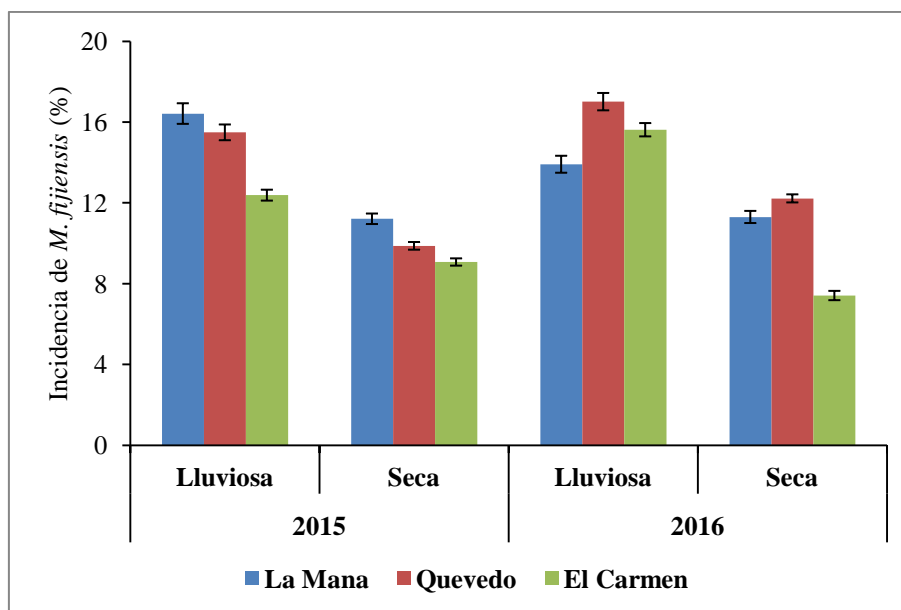


Figura 35. Interacción entre las localidades, años y épocas en la variable índice de infección de *Sigatoka* \pm SE en parcelas de mezclas.

4.3.2.5 Análisis por componentes del índice de enfermedad (%)

La incidencia de la enfermedad según el número de componentes de mezclas y cultivares resistentes y susceptible se presenta en la Figura 36 y 37. El análisis de incidencia confirmó que hay una gran diferencia en cuanto al ataque de la enfermedad para el cultivar susceptible, especialmente en las localidades de Quevedo y El Carmen el índice de infección supera el 30% en las épocas lluviosa. El cultivar resistente el índice de la enfermedad fue bajo en todas las localidades con promedios del 8 al 15% de infección. Los componentes 2, 3 y 4, tuvieron un comportamiento intermedio con promedios del 8 al 16%. Similar comportamiento se registró índice de enfermedad de acuerdo a los años (Figura 36), El año 2016 tubo los mayores índices de infección.

Investigaciones realizadas por (Huhn, 1985, 1986a, 1986b), demuestran que en cereales las mezclas de tres componentes son generalmente mejor que las mezclas de dos componentes. Mundt et al. (1994) demostró que las mezclas de dos, tres y cuatro componentes dio en promedio un 12% de reducción de la gravedad de *R. secalis* sobre cebada. Mayor beneficio del individuo en mezclas, hasta un 32% de reducción de la enfermedad, asociada a la presencia de las líneas más resistentes en la mezcla en lugar de aumentar número de componente, que coincide con Hallazgos de Kølster et al. (1989) para el soporte de mezclas de cebada contra el moho. Nitzsche & Hesselbach (1983) demostraron que en la cebada el número de componentes hasta seis dio una clara

tendencia hacia un mayor rendimiento, y en trigo Mundt (1994) mostraron la misma tendencia tanto en fungicida como en condiciones protegidas. Mundt también demostró mayor control de *Puccinia striiformis* aumentando el número de cultivares en la mezcla.

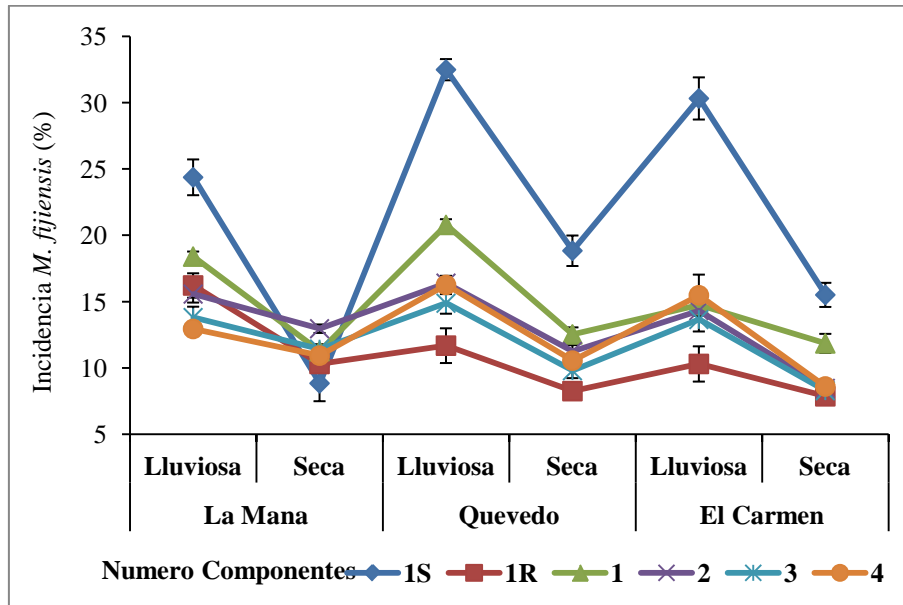


Figura 36. Efectos simples del índice de la enfermedad (%) \pm SE el número de componentes usados en las 3 localidades durante dos años. 1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

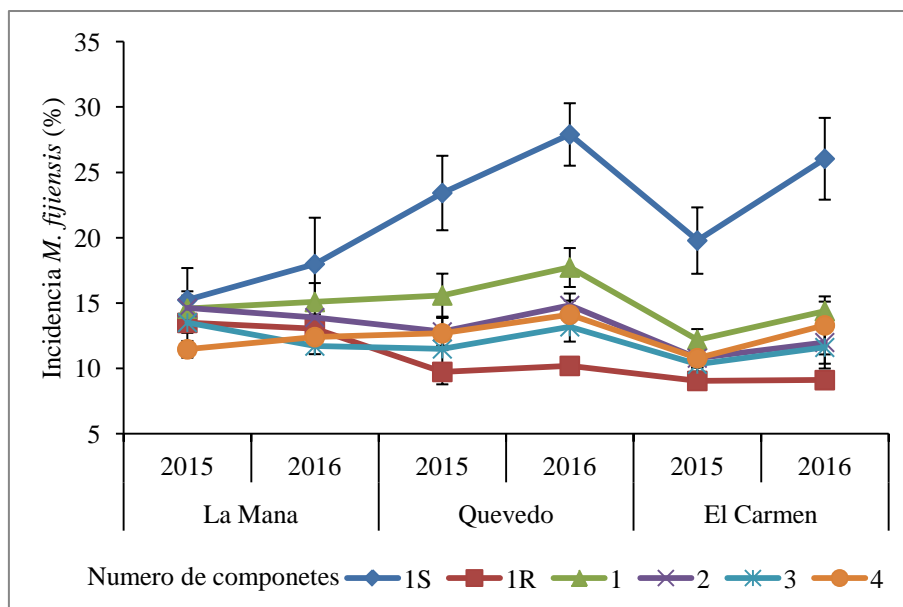


Figura 37. Interacción entre número de componentes y los años con sus respectivas épocas en la variable índice de enfermedad \pm SE. 1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

4.3.2.6 Análisis de correlaciones entre el índice de infección de Sigatoka y las variables climáticas, por el número de componente y los factores de estudios.

El componente 1S, (monocultivo susceptible), mostró correlación positiva significativa entre el índice de infección de *M. fijiensis* y dos factores climáticos (precipitación y temperatura máxima). Con valores de coeficientes de correlación superiores cercanos al 80%, este nos indica que los altos índice de infección de Sigatoka negra están influenciado por los altos valores de precipitación y temperaturas extremas altas. (Tabla 24),

El componente 1R (monocultivo resistente) como lo es el Orito (AA) y Limeño (AAB) manifestaron una correlación positiva y significativa ($p < 0,001$) con la precipitación, mientras los otros factores climáticos no tuvieron efectos sobre el índice de infección de *M. fijiensis*. Finalmente, estos resultados sugieren que los cultivares Orito (AA) y Limeño (AAB) muestran buen potencial para ser recomendados en el establecimiento de sistemas de producción basados en mezclas intraespecíficas de variedades resistentes y susceptibles, con la finalidad de reducir fuente de inóculo y altos niveles de severidad de Sigatoka negra. En este sentido, Zhu et al. (2000), Castilla et al. (2003), Altieri y Nicholls (2004), Didelot et al. (2007), Mulumba et al. (2012) y Jarvis et al. (2011) sugieren que el establecimiento de monocultivos heterogéneos (mezcla varietal) incrementa el uso de la diversidad genética local y disminuye el impacto de plagas y enfermedades sobre los cultivos, así como de agroquímicos sobre los diversos agroecosistemas. El componente 1 (promedio de los monocultivos), estuvo influenciado por la precipitación y la temperatura máxima, obteniendo coeficientes positivos y significativos. El resto de componentes solo se vieron influenciado por la precipitación con coeficientes positivos y significativos (Tabla 34).

Tabla 34. Correlaciones lineales entre los índice de infección de Sigatoka, las variables climáticas y el nivel de reacción de los cultivares a la enfermedad

N° componentes	Variables climáticas	r - Pearson	p-valor
1S	Precipitación	0,72	0,008
	Temperatura máxima	0,79	0,002
	Temperatura mínima	0,56	0,059
	Humedad relativa	-0,02	0,942
	Heliofania	0,50	0,097
1R	Precipitación	0,69	0,013
	Temperatura máxima	0,08	0,794
	Temperatura mínima	0,07	0,821
	Humedad relativa	0,35	0,261
	Heliofania	0,05	0,883
1	Precipitación	0,73	0,007
	Temperatura máxima	0,67	0,018
	Temperatura mínima	0,56	0,058
	Humedad relativa	0,01	0,974
	Heliofania	0,54	0,069
2	Precipitación	0,67	0,018
	Temperatura máxima	0,51	0,093
	Temperatura mínima	0,41	0,183
	Humedad relativa	0,11	0,739
	Heliofania	0,31	0,325
3	Precipitación	0,75	0,005
	Temperatura máxima	0,53	0,074
	Temperatura mínima	0,39	0,213
	Humedad relativa	0,16	0,611
	Heliofania	0,34	0,273
4	Precipitación	0,66	0,019
	Temperatura máxima	0,65	0,018
	Temperatura mínima	0,47	0,128
	Humedad relativa	0,12	0,718
	Heliofania	0,44	0,148

1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

4. 3. 3 Análisis de la incidencia de las poblaciones de nematodos

Las parcelas experimentales de monocultivos influyo sobre la poblaciones de nematodos fitoparásitos y los daños causado en el sistema radicular ($p < 0,01$), en el factor Años influyo significativamente en todas las variables estudios, el factor Localidad se encontró diferencias significativas para las poblaciones de nematodos *R. similis*, *Helicotylenchus sp*, *Pratylenchus sp* y la variable Necrosis radical. Otro factor

que influyó de manera significativa fue los componentes de monocultivos para las variables nematodos *R. similis*, *Helicotylenchus sp*, Sanidad radical y Necrosis radical.

Se encontraron diferencias significativas en las poblaciones de nematodos de fitoparásitos de las parcelas de mezcla, *R. similis* registro diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los factores Ambientes, Años y la interacción ambientes x años. Asimismo se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las poblaciones de fitonematodos *Helicotylenchus sp*, *Pratylenchus sp* y *Meloidogyne sp* entre los factores componentes de mezclas, ambientes, años y la interacción ambientes*años. Las variables Sanidad radical y necrosis (%) diferencias significativa solo para los factores componentes de mezclas y años.

No se encontraron diferencias significativas en algunos factores tanto para las parcelas monocultivos y las mezclas (Tabla 35), por lo que el nivel de daño que causan los nematodos depende de una amplia gama de factores tales como su densidad poblacional, la virulencia de las especies, y la resistencia (habilidad de la planta de reducir la población del nematodo) o tolerancia (habilidad de la planta de rendir una cosecha a pesar del ataque del nematodo) de la planta huésped. Otros factores que también contribuyen, aunque en menor medida, son el clima, disponibilidad de agua, condiciones edáficas, fertilidad del suelo (especialmente el porcentaje de materia orgánica), y la presencia de otras enfermedades y plagas. Sin embargo, aunque tengamos conocimiento de la relación nematodo-cultivo y los factores que la influyen, todavía queda mucho por aprender. Por ejemplo, en la mayoría de los casos se desconoce los umbrales del nematodo que causan daño en diversos cultivos en varias partes del mundo y la amenaza que estos representan para los mismos.

Una vez comprobado que los nematodos son los principales responsables del daño observado en un cultivo, se puede decidir cuáles serán las opciones de control. Estas dependerán de los nematodos implicados, del cultivo, del sistema productivo y de las condiciones locales. Si se ha identificado la especie del nematodo, entonces se puede considerar la realización de intervenciones específicas, como por ejemplo la utilización de cultivos o variedades resistentes (mezclas de cultivos). Si no se ha realizado la identificación, lo más apropiado entonces es utilizar otras opciones más generales o combinación de acciones, como la rotación de cultivos, tratamientos químicos, control biológico y prácticas sanitarias.

Tabla 35. Influencia de las poblaciones de nematodos fitoparásitos y sanidad radical en parcelas de mezclas y monocultivos en varios factores de estudio. Análisis de varianza combinado factorial al comparar los factores Componentes; Ambientes y Años. A los valores se les ha aplicado la transformación $\log(x+1)$ antes del análisis.

Variables	Factores	Monocultivo			Mezclas		
		CM	F	p-valor	CM	F	p-valor
<i>R. similis</i>	Componentes	0,21	6,40	0,00	0,05	1,56	0,13
	Ambientes	0,22	6,62	0,00	1,58	52,65	0,00
	Años	1,89	56,57	0,00	1,24	41,19	0,00
	Componentes*Ambientes	0,06	1,90	0,09	0,05	1,54	0,09
	Componentes*Años	0,06	1,75	0,16	0,04	1,37	0,21
	Ambientes*Años	0,72	21,54	0,00	0,51	16,84	0,00
<i>Helicotylenchus sp.</i>	Componentes	0,17	5,30	0,00	0,07	2,72	0,00
	Ambientes	0,10	3,30	0,05	0,27	10,67	0,00
	Años	1,44	45,57	0,00	0,82	31,73	0,00
	Componentes*Ambientes	0,12	3,72	0,00	0,03	1,32	0,19
	Componentes*Años	0,03	0,98	0,43	0,02	0,64	0,77
	Ambientes*Años	0,35	11,26	0,00	2,49	96,48	0,00
<i>Pratylenchus sp.</i>	Componentes	0,004	0,27	0,89	0,04	2,05	0,04
	Ambientes	0,13	10,09	0,00	0,22	12,73	0,00
	Años	0,89	70,21	0,00	2,18	125,76	0,00
	Componentes*Ambientes	0,03	0,27	0,96	0,03	1,67	0,06
	Componentes*Años	0,02	1,65	0,18	0,04	2,22	0,27
	Ambientes*Años	0,01	0,55	0,58	0,06	3,65	0,03
<i>Meloidogyne sp.</i>	Componentes	0,01	1,08	0,38	0,05	2,79	0,00
	Ambientes	0,09	7,40	0,38	0,18	10,39	0,00
	Años	1,65	134,46	0,00	2,48	145,93	0,00
	Componentes*Ambientes	0,01	0,77	0,63	0,03	1,78	0,04
	Componentes*Años	0,03	2,45	0,06	0,10	5,96	0,00
	Ambientes*Años	0,01	0,57	0,57	0,02	1,15	0,32
Sanidad radical	Componentes	2,06	20,58	0,00	0,91	6,35	0,00
	Ambientes	0,22	2,17	0,13	0,10	0,68	0,50
	Años	0,60	6,00	0,02	0,61	4,26	0,04
	Componentes*Ambientes	0,13	1,33	0,26	0,06	0,39	0,98
	Componentes*Años	0,14	1,42	0,25	0,08	0,56	0,84
	Ambientes*Años	0,15	1,50	0,23	0,16	1,11	0,33
Necrosis radical	Componentes	386,65	35,87	0,00	125,89	9,76	0,00
	Ambientes	49,02	4,55	0,01	0,34	0,03	0,97
	Años	59,72	5,54	0,02	264,52	20,51	0,00
	Componentes*Ambientes	46,34	4,30	0,00	17,16	1,33	0,19
	Componentes*Años	58,84	5,46	0,00	31,19	2,42	0,01
	Ambientes*Años	23,14	2,15	0,13	7,60	0,59	0,55

4.3.3.1 Poblaciones de nematodos fitoparásitos

Radopholus similis

Radopholus similis es un nematodo fitoparásito que se alimenta de raíces y cormos de banano y plátano en todo el mundo, afectando el crecimiento y desarrollo de este cultivo, con pérdidas en producción entre el 20 y 100%. En parcelas de monocultivos el cultivar que más presencia de población de *R. similis* fue el Maqueño (17783), seguido por el Barraganete y Limeño con poblaciones de 13416 y 13083, respectivamente considerando a estos tres cultivares como susceptible. El comportamiento de los cultivares Orito y Gross Michel estuvieron una población por debajo del umbral de alerta que son de 10000 nematodos por 100 gramos de raíces en plantas florecidas. Las localidades o ambientes que albergó mayor poblaciones de nematodos fue Quevedo con 152000 seguida por El Carmen que albergó a un promedio de 11400 y siendo la localidad con menos población La Maná que obtuvo una población por debajo de umbral crítico. El año con más población de *R. similis* fue el 2015, superando significativamente al año 2016 (Tabla 36).

En las parcelas experimentales de mezclas de cultivares de musáceas, el nematodos *R. similis* no presento significancia estadística. Llegando a registra niveles de población por debajo del umbral crítico, pero si se observó una diferencia numérica de poblaciones especialmente en las mezclas donde participaban los cultivares de Maqueño y Barraganete obteniéndose poblaciones por encima de los 9000 nematodos por 100 gramos de raíces. El comportamiento de las mezclas en las Localidades se marcó diferencias, la localidad de El Carmen registró el mayor promedio en cuanto a población seguido por Quevedo y por último La Maná que registró una población medianamente baja (Tabla 37). En el factor años tuvo un similar comportamiento que los monocultivos pero con poblaciones relativamente más baja. El *R. similis*, pues tanto en monocultivo las poblaciones fueron excepcionalmente altas en comparación con las mezclas manteniéndose o sobrepasando los umbrales reportados (Pico y Guadamud, 2004), lo que podría haber impedido observar la relativa resistencia de los cultivares Orito y Gross Michel reportada por López *et al*, (López, Suarez, y Zambrano, 2012); por otra parte, las condiciones climáticas del sitio de estudio fueron favorables a la multiplicación de nematodos al mantener el suelo húmedo durante casi todo el año, permitiendo el mantenimiento y multiplicación de nematodos.

Helicotylenchus sp y Pratylenchus spp

La población de estos dos endoparásitos fue superior en los cultivares Barraganetes y Limeño, el resto de cultivares en monocultivo resulto significativamente menor para la dos clases de nematodos. La localidad de El Carmen registro la mayor población *Helicotylenchus* y *Pratylenchus* con promedios superior a los 10000 y 3600 nematodos, respectivamente. Se observa una diferencia marcada entre los años de muestre del 2015 y 2016, lo que se le atribuye a las condiciones de humedad del suelo debido a las precipitación regulares durante todo el año que se registró en el 2015.

El comportamiento de las mezclas no fue significativos para los factores componentes de mezclas y localidades, pero si se observó unos niveles bajo de la poblaciones de *Helicotylenchus* y *Pratylenchus* en las mezclas constituidas por cuatro y cinco cultivares (O+B+GM+L y GM+B+O+M+L). Los mayores niveles de esto dos nematodos lo registro la Localidad de El Carmen y el año con mayor población fue para el 2015. Su umbral se sitúa en los 20000 nematodos sobre 100 g de raíces

Generalmente los nematodos *R. similis* y *Helicotylenchus* usualmente afectan simultáneamente el sistema radical de las musáceas en condiciones de campo (Gowen et al., 2005). De acuerdo con las frecuencias y densidades poblacionales, durante el año y en las zonas productoras de musáceas en cada país, *R. similis* es la especie fitoparásita más abundante, constituyendo entre el 82 y 97% de la población de nematodos en raíces y cormos; sin embargo, ésta puede cambiar según el cultivar/variedad y las condiciones agroecológicas (Araya & Moens, 2003). Por ejemplo, Castillo *et al*, (2010), en tres fincas del área bananera de la zona de Urabá, Colombia: Estadero (zona sur, Chigorodó a 34 msnm), Toscana (zona centro, Carepa a 28 msnm) y La Llave (zona norte, Apartadó a 25 msnm), encontraron que los nematodos predominantes fueron: *R. similis* con 67-74% y *Helicotylenchus* con 22-28%.

Meloidogyne spp

El comportamiento del *Meloidogyne sp*, no estuvo influenciado por los cultivares en monocultivos, pero si se observó diferencias numérica en población en los diferentes cultivares como por ejemplo, el Barraganete y el limeño alcanzaron poblaciones altas en comparación al resto de cultivares. En cuanto a las localidades y año de evaluación El Carmen y el 2015 sigue teniendo la supremacía en lo que se refiere a población.

Los diferentes niveles de mezclas de cultivares presentaron diferencia significativas, las mezclas con mayor población de *Meloidogyne* sp fue para O+L y GM+B; mientras la mejor mezcla o menor población fue para O+B+GM+L y GM+B+O+M+L; donde se sigue observando que a mayor diversidad menores son los índices de poblaciones de nematodos.

El umbral de este nematodo se sitúa en 30000 nematodos sobre 100 g de raíces, está ampliamente diseminado en el mundo. Los síntomas externos son similares a los causados por otros nematodos y problemas patológicos que afectan al sistema radical e interfieren en la absorción de agua y nutrientes. Los síntomas característicos del ataque de este nematodo se observan en las raíces, las cuales presentan tumefacciones, agallas o nudosidades que varían, en forma y tamaño y no pueden ser desprendidos sin romper el tejido, puesto que son parte integral de la raíz (Belalcazar, *et al*, 1991, Suarez, *et al*, 2002).

Tabla 36. Influencia de varios factores sobre de la poblaciones de nematodos fitoparásitos en parcelas de monocultivos en cultivares de Musáceas.

Monocultivos	<i>R. similis</i>		<i>Helicotylenchus</i>		<i>Pratylenchus</i>		<i>Meloidogyne sp.</i>	
Barraganete	13416	a	17733	ab	3050	a	2366	a
Orito	7133	a	11433	bc	3033	a	1850	a
Limeño	13083	a	18816	a	3150	a	2200	a
Gros Michel	6483	a	10983	bc	2883	a	2075	a
Maqueño	17783	a	9716	c	2883	a	1966	a
La Maná	8100	a	13260	a	2660	b	1960	b
Quevedo	15200	a	13000	a	2740	b	1915	b
El Carmen	11440	a	14950	a	3600	a	2400	a
2015	16453	a	17373	a	3773	a	2810	a
2016	6706	b	10100	b	2226	b	1373	b

Tabla 37. Influencia de varios factores sobre de la poblaciones de nematodos fitoparásitos en parcelas de mezclas en cultivares de Musáceas.

Mezclas	<i>R. Similis</i>	<i>Helicotylenchus sp</i>	<i>Pratylenchus sp</i>	<i>Meloidogyne sp</i>
B+L	7850 a	8650 a	2583 a	1366 ab
O+L	8616 a	10366 a	2733 a	1800 a
GM+L	6983 a	7566 a	2583 a	1650 ab
O+B	7866 a	9050 a	2283 a	1483 ab
GM+B	8166 a	10650 a	2583 a	1750 a
GM+O	8683 a	9783 a	2483 a	1616 ab
M+L	8550 a	9950 a	2200 a	1416 ab
O+M	9050 a	10516 a	5116 a	1683 ab
B+M	9366 a	13916 a	2433 a	1700 ab
O+B+GM+L	7266 a	7933 a	2133 a	1233 b
GM+B+O+M+L	6050 a	7133 a	2116 a	1383 ab
La Maná	5413 c	7972 a	2972 a	1463 b
Quevedo	7177 b	10413 a	2190 a	1431 b
El Carmen	11531 a	10390 a	2813 a	1763 a
2015	9330 a	10675 a	3500 a	1993 a
2016	6751 b	8509 b	1818 b	1112 b

Sanidad y necrosis radical

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los cultivares de monocultivos en la variable sanidad radical. Los cultivares Barraganete (AAB) y Limeño (AAB) se encontró entre 25 % y 50 % de daños; 3 en la escala de sanidad radical (Tabla 38). En los otros cultivares el daño fue >25 %. Asimismo, el índice de necrosis y exhibieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los cultivares presentó el mayor valor de necrosis (Tabla 38) fueron el Barraganete y el Limeño. No se registró diferencias significativas para las localidades y los años, el cual presentaron índices de sanidad del cultivo inferior a 3 entre 0 y 25%.

También se registró diferencias significativas en las mezclas, como se evidencio en el monocultivo los cultivares de Barraganete y Limeño siendo lo más susceptible a las lesiones de nematodos. La mezcla constituida por estos dos cultivares represento el mayor índice de sanidad radical y por ende el mayor porcentaje de necrosis radica, lo que se concluye que no es recomendable utilizar esta mezcla (B+L) para bajar los índices de lesiones de nematodos (Tabla 39).

La salud radical es un indicativo para conocer las poblaciones de nematodos en estos sistemas. En esta investigación se indicó que la producción agrícola de los monocultivos provoca un decrecimiento en la calidad de suelo resultando en poblaciones de

fitonematodos mayores. Gauggel et al. (2005) indica que la degradación biológica por varias causas resulta en la alteración de las poblaciones de los microorganismos del suelo con un posible deterioro del sistema radical y decrecimiento en la producción.

Tabla 38. Influencia de varios factores sobre de sanidad y necrosis radical y parcelas de monocultivos en cultivares de Musáceas.

Mezclas	Sanidad radical		Necrosis radical	
Barraganete	3,00	a	32,32	a
Orito	2,42	b	22,02	b
Limeño	3,00	a	32,01	a
Gros Michel	2,08	b	21,17	b
Maqueño	2,33	b	22,30	b
La Maná	2,45	a	24,23	a
Quevedo	2,60	a	26,39	a
El Carmen	2,65	a	27,27	a
2015	2,67	a	26,96	a
2016	2,47	b	24,97	a

Tabla 39. Influencia de varios factores sobre de sanidad y necrosis radical y parcelas de mezclas en cultivares de Musáceas.

Mezclas	Sanidad radical		Necrosis radical (%)	
B+L	2,83	a	27,03	a
O+L	2,58	ab	24,92	ab
GM+L	2,17	bc	21,33	bc
O+B	2,42	abc	20,10	bcd
GM+B	2,17	bc	20,18	bcd
GM+O	2,08	bc	18,18	cd
M+L	2,08	bc	19,73	cd
O+M	2,50	abc	21,78	cd
B+M	2,08	bc	18,16	cd
O+B+GM+L	2,00	c	15,36	d
GM+B+O+M+L	2,00	c	19,01	cd
La Maná	2,23	a	20,50	a
Quevedo	2,25	a	20,45	a
El Carmen	2,32	a	20,62	a
2015	2,33	a	21,94	a
2016	2,20	b	19,11	b

Los principios que se aplican al manejo integrado de plagas son conocidos desde principios del siglo pasado, su aplicación sigue tratando de implementarse como la suma de componentes a manera de un mosaico. Poco se conoce sobre las interacciones entre dichos componentes y el efecto sinérgico que ofrecen para manejar agrosistemas. De la misma manera, mucho se ha hablado sobre la conveniencia de conservar la

agrobiodiversidad y sus efectos en los agrosistemas (Sanchèz, 2014). Sin embargo el productor, se enfoca en lo económico y tiende a especializar sus fincas para ofertar al consumidor el producto que se presenta con preferencias de mercado, cayendo fácilmente en el monocultivo con todas sus consecuencias.

El presente estudio aplicó los principios planteados al caso de plátano y banano en la zona de La Maná, Quevedo y El Carmen y aquí se muestra evidencias de ello, demostrando que bajo condiciones de manejo similares, se puede cultivar ventajosamente una mezcla intraespecífica de *Musa* spp, beneficiándose el productor, no solamente con una reducción del ataque de plagas, sino asegurando un mayor beneficio económico para su conveniencia. El análisis empleado en el aspecto fitosanitario, nos dio valores que son directamente proporcionales a las variables de rendimiento, es decir que reduciendo las incidencias de plagas y enfermedades por medio de la asociación de cultivares complementarios, se incrementa la productividad de su finca.

El problema fitosanitario es uno de los grandes problemas en la zona platanera de El Ecuador ya que el pequeño productor solo realiza monocultivos, en este caso usando casi exclusivamente el plátano “Barraganete”. La Sigatoka negra, y poblaciones de nemátodos debilitan progresivamente las plantaciones, reduciendo su densidad, el peso y calidad del racimo, alargan el período de retorno en la unidad productiva además de otros problemas menores (Virus, cochinilla, bacterias) que mantienen al productor siempre dentro de economía precaria y limitada en su desarrollo. La alternativa que se le propone al pequeño productor es utilizar una mezcla del barraganete muy susceptible a problemas sanitarios (Velez, 2011), (Lopez, 2011), (Cedeño, 2010) con cultivares resistentes o tolerantes que le permiten reducir hasta en un 50 % los problemas fitosanitarios y no representa gastos adicionales en su manejo ya que el mismo que le realiza al monocultivo se lo utiliza en las mezclas.

En la presente investigación se utilizaron los cultivares Limeño y Orito que, como indican Páez, (2012 y Cedeño, (2010) son resistentes a *M. fijiensis*, consiguiendo que en las parcelas de mezclas con estos dos cultivares presenten el menor índice de infección con 9,12 %, concordando con un estudio previo de Echeverría, (2015). Resultado similar se obtuvo con la mezclas de 4 y 5 cultivares. En el caso de una enfermedad que se disemina por vía aérea, el uso de Limeño por ejemplo presenta la ventaja de tener

altura similar a la variedad local por lo que podemos asumir que su rol principal es actuar como barrera frente al otro cultivar.

4.3.4 Determinar la incidencia de daño en las plantaciones de Picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar)

4.3.4.1 Análisis de varianza combinada en monocultivos y mezclas de cultivares

La respuesta de las 5 variedades de plátano y banano puros y en mezclas al ataque del picudo negro del plátano se resume en la Tabla 40. Nuestros datos muestran que hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la respuesta de los cultivares de plátano puro y en mezclas al ataque del Picudo del plátano. En general, en las parcela de monocultivos hubo significancia estadística para todos los factores de estudios incluyendo las interacciones, excepto para las interacciones (Ambientes*Año); (Componentes*Ambientes*Años) y (Ambientes*Años*Épocas) no se reportó significancia estadística. De acuerdo al análisis de varianza combinado, el comportamiento de las mezclas estuvo influenciado por los factores de estudios exceptuando algunos factores Épocas e interacciones como (Ambientes*Épocas); (Ambientes*Años); y (Componentes*Ambientes*Épocas)

Tabla 40. . Influencia de los niveles de mezclas de cultivares y monocultivos de *Musas sp* sobre incidencia de *C. sordidus*. Resultados del análisis de varianza factorial combinado al comparar los factores Componentes, Ambientes; Anos y Épocas del año, y sus respectivas interacciones.

Factores	Monocultivo			Mezclas		
	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor
Componentes	2441	120	<0,00	271	36	<0,00
Ambientes	344	17	<0,00	166	22	<0,00
Años	570	28	<0,00	188	25	<0,00
Épocas	183	9	0,00	0,1	0	0,93
Componentes*Ambientes	175	8	<0,00	30	4	<0,00
Componentes*Años	74	4	0,00	19	2	0,00
Componentes*Época	69	3	0,01	19	3	0,00
Años*Épocas	166	8	0,00	252	34	<0,00
Ambientes*Épocas	152	7	0,00	8	1	0,33
Ambientes*Años	22	1	0,33	3	0,4	0,69
Componentes*Ambientes*Años	21	1	0,40	14	2	0,01
Componentes*Años*Épocas	75	4	0,00	19	3	0,00
Componentes*Ambientes*Épocas	74	4	0,00	9	1	0,23
Ambientes*Años*Épocas	9	0,5	0,62	1	0	0,82
Componentes*Ambientes*Años*Épocas	118	56	<0,01	20	3	0,00
CV (%)	46,19			38,53		

4.3.4.1 Cuantificación del coeficiente de infestación de *C. sordidus* mediante la escala de Vilardebo.

Efectos de las localidades en parcelas de monocultivos y mezclas.

De acuerdo a la valoración de la escala de Vilardebo y el análisis de las localidades, en las parcelas de monocultivo el plátano Barraganete (AAB) mostro el nivel más alto de daño al insecto, los daños causado por la larva de insecto variaron de acuerdo a la localidad, siendo más agresivo el daño en Quevedo, seguido por el Carmen y con un menor daño la localidad de La Maná, lo que se considera a este cultivar como susceptible (Figura 38). Los cultivares Maqueño y Limeño (AAB), tuvo un comportamiento similar en las localidades de La Maná y Quevedo con un nivel de infestación moderada (10%), en El Carmen esa infestación se incrementó para ambos cultivares llegando a tener un nivel de daño del 19%. Los cultivares de Orito (AA) y Gros Michell (AAA) presentaron un nivel de infestación de daño relativamente bajo en las tres localidades no superando el 3%, considerando a estos cultivares como resistente a *C. sordidus*.

En las parcelas de mezclas tuvo un comportamiento similar cada una de las mezclas con un nivel de infestación que no supero el 10%. Excepción fué la mezcla integrada por los cultivares resistente que reporto índices de infestación menores del 2%. También se reportó un incremento del índice de infestación del 15% para la mezcla M+L, en la localidad de El Carmen (Figura 39).

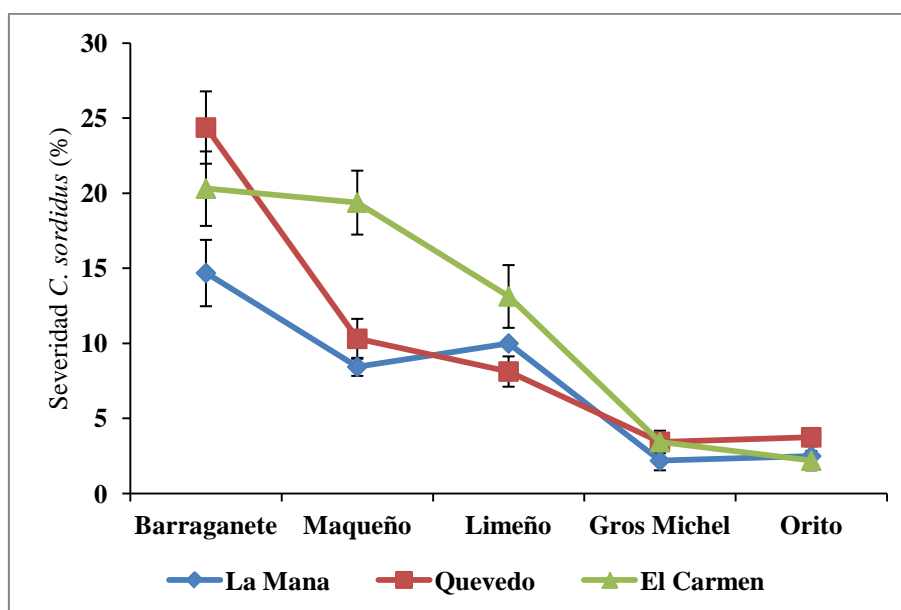


Figura 38. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, en las 3 localidades.

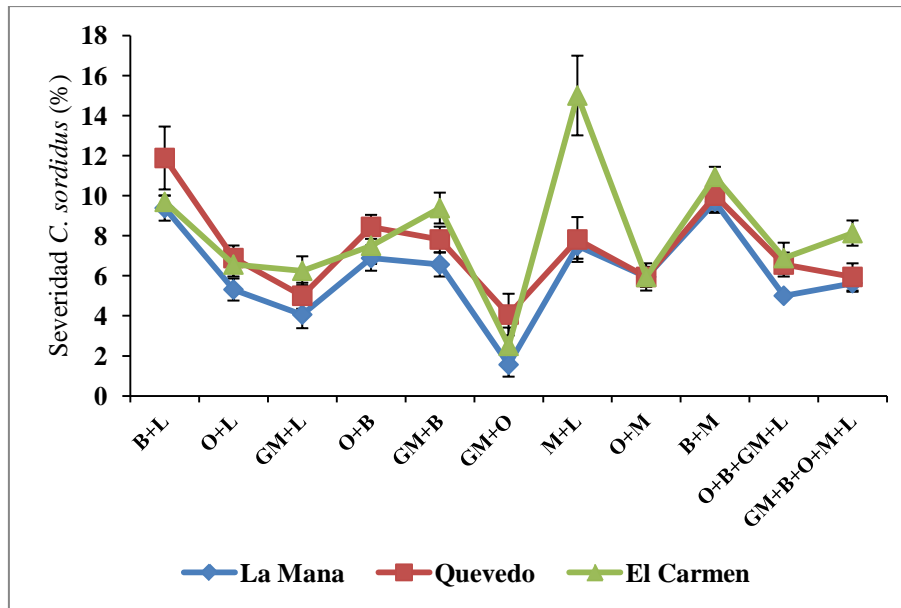


Figura 39. Comportamiento de las mezclas de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, en las 3 localidades.

Efectos de los años en parcelas de monocultivos y mezclas.

El porcentaje de daño del cultivar Barraganete (AAB) vario de un año a otro. En el 2015 tuvo un porcentaje de infestación de 23%, mientras que para el 2016 ese porcentaje disminuyo al 16%. Similar comportamiento se encontró en el cultivar Maqueño (AAB) cuyo porcentaje de infestación vario de 15 al 10%, para los años 2015 y 2016, respectivamente. En los cultivares Limeño (AAB), Orito (AA) y Gros Michel (AAA) no se encontraron variaciones de infestación de acuerdo a los años pero si entre cultivares (Figura 40). Se consideró como resistentes, a aquellos cultivares que presenten de 0 a 5% de daño, medianamente resistentes a los cultivares con 5 a 20% y susceptibles a los cultivares con 21 a 100%. Con esta categorización se evidenció que los cultivares del genoma AAB, tienden a ser los más susceptibles al ataque del Picudo negro, encontrándose en este grupo a los cultivares Barraganete, seguidos por los cultivares categorizados como medianamente resistentes del mismo genotipo AAB Maqueño, Limeño. Los cultivares, Gros Michel pertenecientes al grupo del genoma AAA y a Orito AA, fueron categorizados como cultivares resistentes al ataque de Picudo negro.

El comportamiento de las mezclas no tuvo una misma tendencia, la mezcla GM+O registro los menores índices de infestación, no superando el 3% en los dos años, el resto de las mezcla tuvo un comportamiento variado sobre el nivel de infestación de la larva,

como por ejemplo las mezclas B+L. En M+L y BM se encontraron niveles de infestación cercanos al 12% durante el año 2012 (Figura 41).

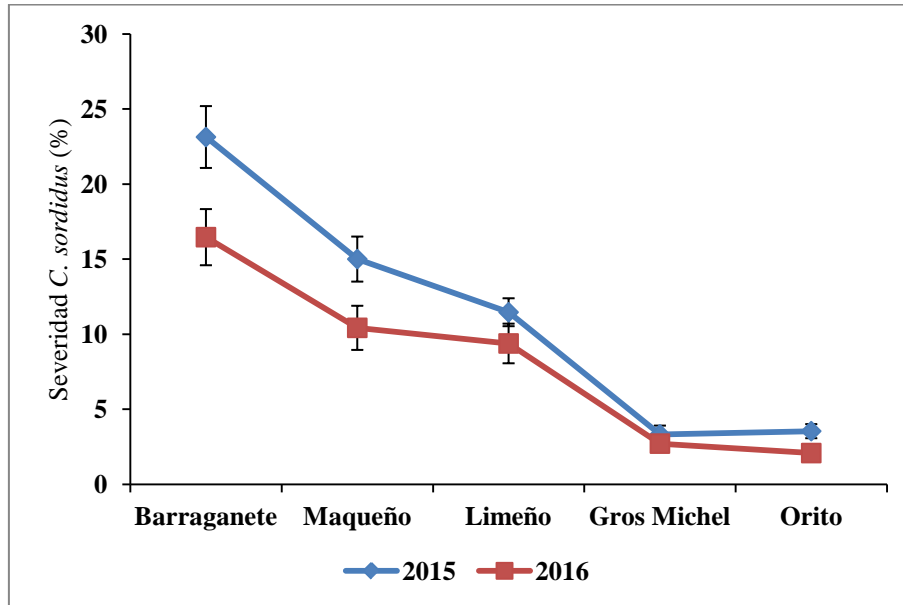


Figura 40. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, durante los años 2015 y 2016.

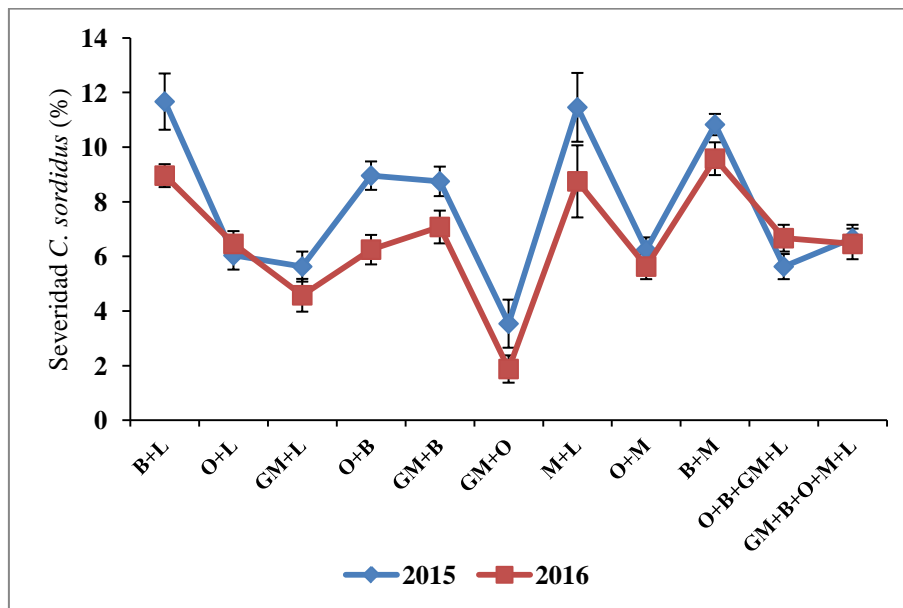


Figura 41. Comportamiento de las mezclas de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, durante los años 2015 y 2016.

Efectos de las épocas en parcelas de monocultivos y mezclas.

En la Figura 42, se muestra la preferencia del insecto hacia los cultivares en los monocultivos evaluados. Haciendo uso de la escala de Vilardebo se determinó la severidad del daño producido por *C. sordidus*, a Barraganete el cultivar que presenta el mayor porcentaje de severidad de daño en las dos épocas, el cual tuvo un índice de 22 y 17% para las época lluviosa y seca, respectivamente. Mucho mejor se comportaron el Orito y Gros Michel al tener un índice de tan sólo 2% de severidad de daño.

Entre las mezclas se sigue destacando la combinación de los cultivares GM+O, presentando porcentajes de infestación del 2% en las dos épocas del año. Podemos destacar que las mezclas donde participa el cultivar susceptibles, como es el caso de las combinaciones B+L; M+L y BM, presentaron los mayores porcentaje de infestación con valores superiores al 10% (Figura 43).

Independientemente del manejo, este trabajo evidencia de que la resistencia a *C. sordidus* entre cada una de las variedades está directamente relacionada con el genoma que las conforma y su criterio para mezclar cultivares y reducir el nivel de daño, coincidiendo con Castrillón *et al*, (2002), quienes afirman que el grupo más susceptible al ataque de Picudo negro, son los del subgrupo Plantain (Plátano) de genoma AAB, confirmando además que las fuentes primarias de resistencia parecen encontrarse en los materiales diploides *Acuminata* AA como *Musa textiles* (Abacá) y el banano Orito.

La influencia de la precipitación, como factor determinante en el hábitat del picudo, parece tener relación con estos resultados, Según Montesdeoca (1998) y Mestre (1997), *C. sordidus*, tiene hábitos nocturnos y vive en medios muy húmedos, aunque no tolera los terrenos inundados. En climas muy secos, se refugia durante el día en el interior del material vegetal donde permanece oculto en los cormos y los desechos de cosecha, que también les sirve de alimento, y en las plantas arvenses propias de una plantación de banano o plátano. Además, tiene afinidad por las humedades relativas altas dentro de la plantación y allí permanece mientras dura la temporada seca. Según estos autores, en atmósferas secas, mueren a 40% H.R. en 12 horas y en 24 horas a 60% H. R.; esto es debido a su higrotropismo y a su higrofilia. La perturbación del hábitat, especialmente el abrigo que las malezas y los residuos le brindan al insecto durante el día, así como el hecho de ser una plantación nueva, recién sembrada, incidió directamente en el comportamiento y el número de individuos adultos capturados por trampa.

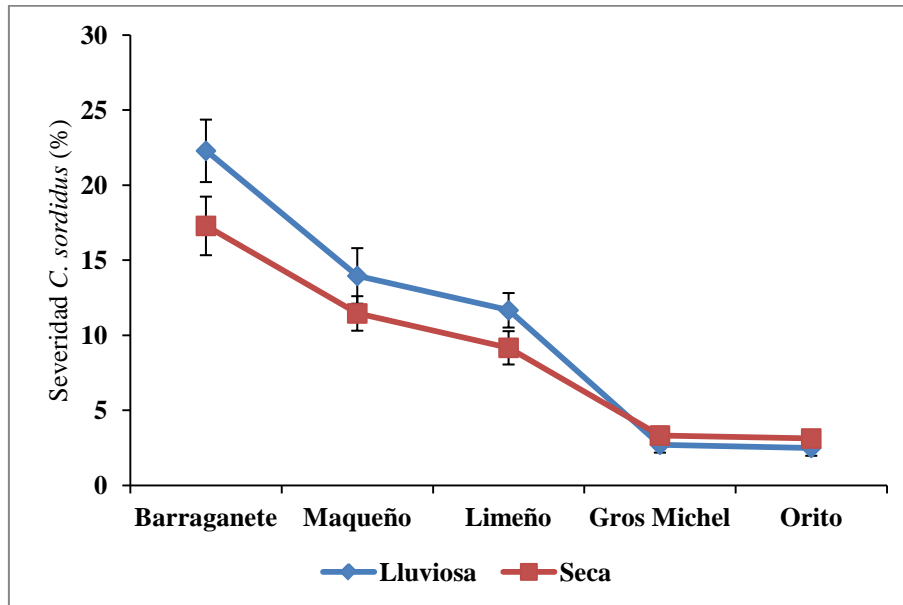


Figura 42. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, durante dos épocas del año (lluviosa y seca).

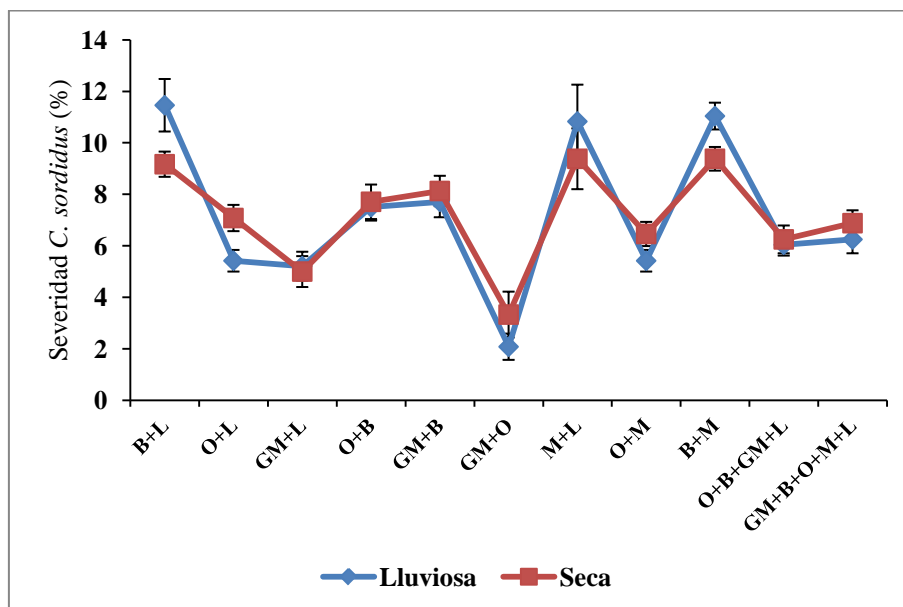


Figura 43. Comportamiento de los monocultivos de Musas sp frente al índice de severidad de daño de *C. sordidus* \pm SE, durante dos épocas del año (lluviosa y seca).

Porcentaje de infestación de *C. sordidus*, en diferentes cultivares de monocultivos (susceptibles y resistentes) y número de componentes de las mezclas.

Localidad, La Maná

Como podemos apreciar en la Figura 44, el componente susceptible Barraganete (1S) obtuvo una mayor porcentaje de daño con respecto a los demás componentes de estudio, seguido por el componente 1 (promedio de los monocultivos), que en algunos casos incremento el nivel de infestación al 10% en la época seca (2015) y lluviosa (2016). Los componentes 2 y 3 tuvieron un comportamiento de tendencia similar con índices del 5%. El componente resistente Orito (1R) tuvo un comportamiento destacado sobre el nivel de infestación en cada año y época que se evaluó logrando obtener un índice de infestación mínimo.

El nivel de infestación y población de *C. sordidus* destaca entre todos los componentes en comparación con otras localidades. Esto se atribuye al hecho de que estos tipos de sistemas agrícolas son más estables y equilibrados. La diversidad de cultivos y los sistemas mixtos intra e interespecificos usados en esta localidad son habituales por parte de los productores, además de encontrarse ubicado en las estribaciones de las cordilleras que poseen un clima subtropical y humedad del suelo durante todo el año. Estas características convierten el lugar en poco apropiado para la adaptación ecología de *C. sordidus* lo cual confirma lo reportado por Nicolls & Altieri, (2000), quienes manifiestan que son pocas las situaciones en la naturaleza en las cuales son evidentes las consecuencias de la reducción de la biodiversidad en el área del control de plagas y enfermedades agrícolas. La inestabilidad de los agroecosistemas en cuanto a problemas de patógenos e insectos plaga, están estrechamente ligados a la expansión de monocultivos a expensas de la vegetación natural, disminuyendo la diversidad del hábitat local. Los ecosistemas que se simplifican y modifican para satisfacer las necesidades alimenticias o industriales de los conglomerados humanos, quedan inevitablemente sujetos a daños por plagas y generalmente mientras más intensamente se modifican tales ecosistemas, más abundantes y serios son los problemas con aquellas. Por otro lado, la diversificación de agroecosistemas da lugar al incremento de oportunidades ambientales para los enemigos naturales y consecuentemente, al mejoramiento del control biológico de plagas, por tal motivo se acepta la hipótesis planteada que la mezcla de distintas variedades de Musáceas en un mismo lote ayuda a contrarrestar el ataque de plagas y enfermedades presentes en este cultivo.

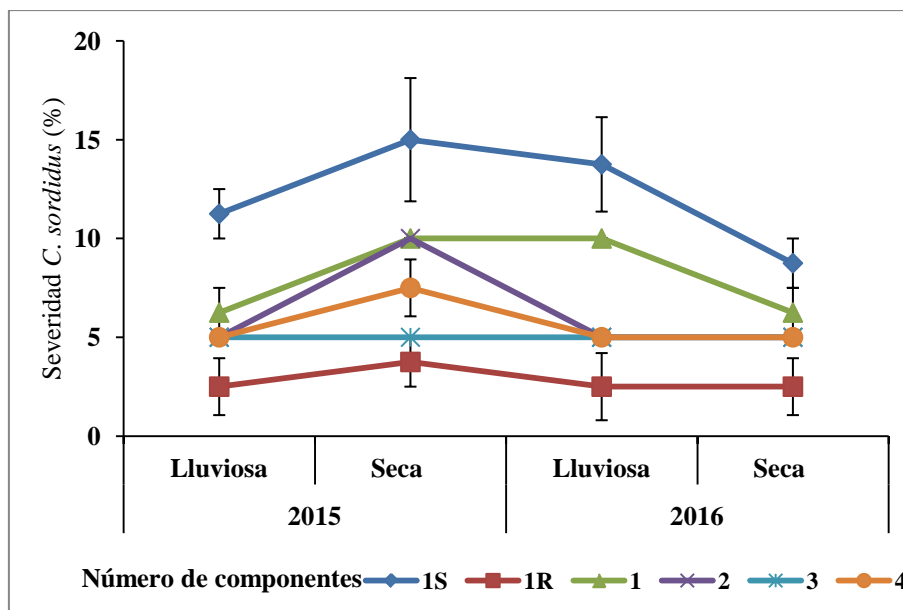


Figura 44. Interacción entre número de componentes y los años con sus respectivas épocas en la variable Índice de infestación de *C. sordidus* \pm SE. 1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

Localidad, Quevedo

La respuesta de los 6 componentes de *Musas* sp al ataque del picudo negro se resume en la Figura 45. Nuestros datos muestran que hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la respuesta de los componentes de plátano al ataque del Picudo negro. En general, el componente susceptible Barraganete (1S) mostró el nivel más alto de daño a la larva del picudo negro, con índice de infestación sobre el 20% e incluso llegando a obtener un índice de severidad de 35% en la época lluviosa del año 2016. Por otra parte, el resto tuvieron un comportamiento estable con índices que oscilaron entre el 5 y 10%, e incluso el componente resistente (1R) llegó a tener un índice inferior al 5%.

La variación de los niveles de daño por *C. sordidus* observados dentro de los genotipos de *Musas* se ha atribuido a la dureza del cormo ya las características químicas de antibiosis (Abera et al., 1999; Kiggundu et al. 2007). Aunque en este estudio se ha visto que el mezclar cultivares susceptibles y resistentes a la plagas se disminuye significativamente el nivel de infestación de la larva. Otros resultados manifiestan que podría deberse en parte a las variaciones en las condiciones ecológicas en las que se realizaron los diferentes estudios. Estas condiciones pueden presentar diferentes factores bióticos y abióticos que influyen en las interacciones planta-plaga (Kiggundu et al.,

1999). Además, la variación en los biotipos del picudo del plátano podría estar causando diferencias de virulencia entre diferentes poblaciones del insecto (Kiggundu et al., 1999; Ochieng, 2001; de Graaf, 2006). De hecho, se han reportado variaciones en los biotipos del picudo negro, recogidos en diferentes lugares del mundo, por varios estudios (por ejemplo, Ochieng, 2001; de Graaf, 2006). Sin embargo, es necesario llevar a cabo más investigaciones para determinar esta posibilidad antes de sacar una conclusión.

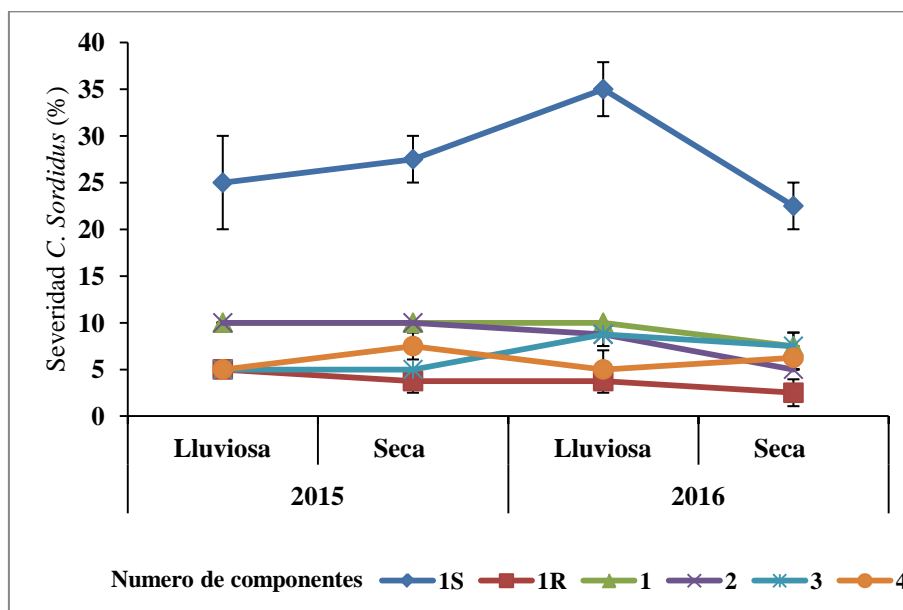


Figura 45. Interacción entre número de componentes y los años con sus respectivas épocas en la variable Índice de infestación de *C. sordidus* \pm SE. 1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

Localidad, El Carmen

Se ha establecido que el picudo negro es uno de los principales problemas fitosanitarios en la zona platanera de El Carmen, la presente investigación ratifica resultados previos obtenidos por Vélez, (2011) tanto en la preferencia del insecto y cuanto a la severidad del daño; el cultivar Barraganete presentó mayor número de galerías en monocultivo y se observó que *C. sordidus* presenta una cierta preferencia a los cultivares Maqueño y Limeño tanto en monocultivo como en mezcla.

Una situación más interesante y que ratifica la tesis propuesta sobre el efecto de las mezclas, lo observamos con el ataque del picudo negro en las parcelas de monocultivo susceptibles Barraganete (1S), donde presentó índices de infestación de 32,5; 17,5; 28,7

y 12,5 en el año 2015 (época lluviosa y seca) y el año 2016 (época lluviosa y seca), respectivamente, (Figura 46) condiciones en las que el Orito mantiene su alta resistencia (1R) no presentando perforaciones de las larvas de *C. sordidus*, en los componentes de mezclas (2, 3 y 4), se obtuvo una reducción de daño significativo en relación al monocultivo susceptible de Barraganete (Figura 46). Aparentemente, el orito estaría ejerciendo algún tipo de acción repelente o por lo menos desestimula el tránsito y la reproducción de picudo en las parcelas, pues la población es tan baja que los daños en términos de número de galerías es de apenas 4 y menos galerías; aun en las mezclas de componentes 3 y 4 cultivares encontramos alrededor de 3 galerías contra 35 galerías del barraganete en monocultivo. Otro cultivar interesante en los componentes mezclas es el Gros Michel que, en las mezclas se observó un promedio de menos de 5 galerías en cualquier tipo de mezcla; dada la gran atracción que ejerce el barraganete para el picudo negro, esto ratificaría la posible acción disuasiva del orito y el Gros Michel en las mezclas.

Actualmente existen estudios limitados sobre el uso de mezclas varietales en el manejo de plagas de Musas (Mulumba *et al.*, 2012). Vera *et al.*, (2012) informaron un menor daño del picudo del plátano en los plátanos cultivados en mezclas varietales en comparación con los estratos puros. Del mismo modo, Quénéhervé *et al.*, (2011) reportaron que las mezclas de variedades de banano disminuyeron significativamente la densidad poblacional de *Radopholus similis*, la especie de plaga de nematodos más dañina del banano en todo el mundo (Quénéhervé, 2009). En Uganda, al igual que ocurre en muchos sistemas agrícolas de la región de los Grandes Lagos de África, el cultivo de variedades de plátano en una mezcla o en proporciones es una práctica tradicional que los pequeños agricultores han llevado a cabo para apoyar el manejo y la conservación de la diversidad (Nkwiine *et al.*, 2003, Nantale *et al.*, 2008, Mulumba *et al.*, 2012). Los agricultores de Uganda tienen un promedio de 12-18 variedades de plátano y banano por explotación (Gold *et al.*, 2002, Nantale *et al.*, 2008). Por lo tanto, el uso de mezclas varietales para manejar plagas de insectos de plátanos ofrece una gran oportunidad para mejorar las estrategias actuales de manejo integrado de plagas (MIP), sin que los agricultores incurran necesariamente en costos adicionales en términos de mano de obra.

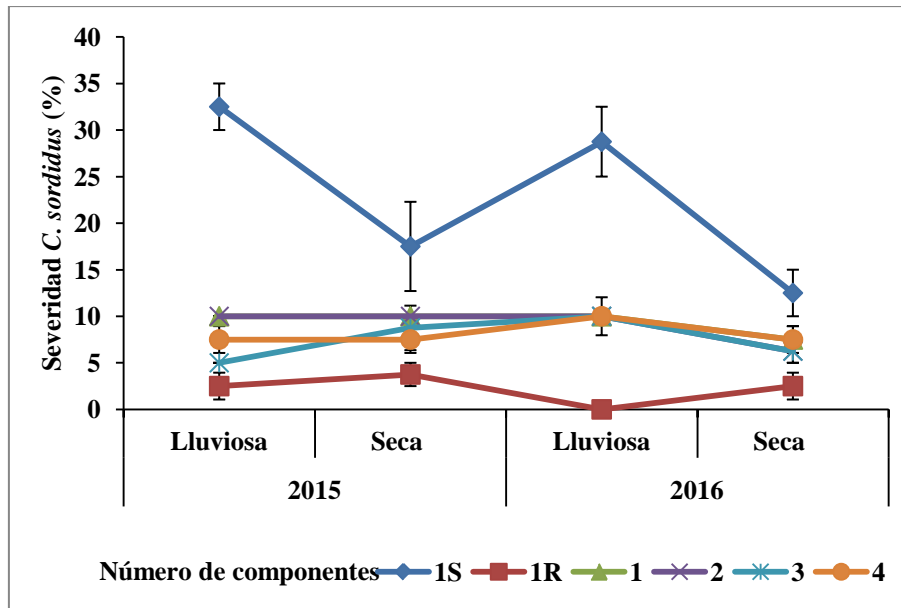


Figura 46. Interacción entre número de componentes y los años con sus respectivas épocas en la variable Índice de infestación de *C. sordidus* \pm SE. 1S= monocultivo susceptible; 1R= monocultivo resistente; 1= promedio general de monocultivos; 2= mezclas de dos cultivares; 3= mezclas de cuatro cultivares y 4= mezclas de cinco cultivares

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo permiten dar paso a las siguientes conclusiones:

1. El sistema mixto de producción de musáceas fue el que presentó mayor presencia de macro fauna edáfica, siendo el orden Collembola el más diverso, lo que nos da la directriz de decir que este orden está asociado con la calidad de los suelos.
2. El índice de madurez refleja de mejor forma los cambios en el ecosistema. El sistema mixto, tiene el mayor índice, mientras que los sistemas monocultivos tienen menores índices especialmente en El Carmen que se maneja de una forma más intensiva con muchas entradas de fertilizantes y pesticidas.
3. En los sistemas mixtos ya establecidos de La Maná y El Carmen se encontró mayor cantidad de lombrices en comparación con los sistemas de monocultivo. Este indicador depende del manejo y laboreo que se genere en el sistema agrícola y de las perturbaciones que estos conlleven.
4. Los valores de colonias y grupo funcionales de hongos, bacterias, hongos celulíticos, bacterias fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo y actinomicetos en los suelos resultaron ser mayores en los sistemas mixtos en las localidades de La Maná y El Carmen que en los sistemas monocultivos, posiblemente porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación necesaria para la biota del suelo.
5. En el ecosistema monocultivo de El Carmen se observó un estado sanitario más deteriorado debido a la presencia de *Sigatoka* negra, nematodos y Picudo negro. Este deterioro se atribuye a la menor tolerancia del cultivar Barraganete que es la variedad dominante en este tipo de sistema y localidad.
6. El uso de distintos cultivares de *Musas* juntos en una misma área aparentemente no presenta problemas de competencia entre ellos en lo concerniente a la producción y rentabilidad de una parcela.

7. La relación de equivalentes de la tierra (RET) para las parcelas de siembra con mezclas superó en 1,0 a los monocultivos en ambos años estudiados, lo que indica que la mezcla fue más productiva con respecto a los monocultivos.
8. Es posible visualizar el efecto de la biodiversidad mediante el uso de mezclas intraespecífica reduciendo el ataque de *Sigatoka* negra y nematodos, cuando se sembraron mezclas con variedades resistentes, como es el caso de los cultivares Limeño y Orito.
9. Existen diferencias significativas en los índices de infección de *Sigatoka* negra entre los cultivares susceptibles y resistentes. En las localidades de Quevedo y El Carmen el índice de infección en el cultivar sensible supera el 30% en las épocas lluviosas. mientras que el resistente fue bajo en todas las localidades con promedios del 8 al 15% de infección. Los componentes 2, 3 y 4, tuvieron un comportamiento intermedio con promedios del 8 al 16%.
10. Se observó una correlación positiva significativa entre el índice de infección de *Sigatoka* negra y los factores climáticos de precipitación y temperatura máxima.
11. Las poblaciones de fitonematodos fueron mayores en el sistema de producción de monocultivos con diferencias significativas en comparación de los sistemas de mezclas, destacando *R. similis*. Sin embargo, el nematodo ectoparásito *Helicotylenchus* fue predominante en los sistemas de mezclas en comparación con *R. similis*.
12. Los cultivares Orito y Gros Michel se comportaron como resistentes al ataque del picudo negro (*C. sordidus*), Maqueño y Limeño como medianamente resistentes, y el cultivar Barraganete como susceptible. Este último asociado a los cultivares resistentes (O + GM) presenta menores índices de infestación siendo inferiores al 10%. No sucede lo mismo en las mezclas formadas con solo variedades resistentes.

13. Nuestro estudio proporciona un inventario fúngico y bacteriano de la comunidad de suelos agrícolas con diferentes manejo y revela las especies más dominantes.
14. El sistema de manejo agrícola (mixto y monocultivo) es un factor determinante que influye en la estructura de la comunidad de hongos pero no tanto en la de bacterias.
15. El análisis de la estructura de la comunidad fúngica y bacteriana mediante técnicas moleculares (pirosecuenciación) mostró una dominancia del Phylum fúngico *Ascomicota* y del Phylum bacteriano *Proteobacteria*.
16. Hay una gran dominancia del hongo *Fusarium oxysporum* en los sistemas monocultivos, pero también encontramos una población alta de bacterias en los sistemas mixto que fijan nitrógeno atmosférico en forma libre tenemos *Bradyrhizobium sp.*, *Rhizobium sp.*
17. Este estudio aporta resultados útiles para el diseño de agroecosistemas de Musáceas en zonas tropicales que ayudaran a mejorar la regulación del manejo de plagas y contribuir así a una mejor calidad de los sistemas agrícolas de este sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abera, A., Gold, C., Kyamanywa, S. 1999. Timing and distribution of attack by the banana weevil (Coleoptera: Curculionidae) in East Africa highland banana (*Musa* spp.). *Fla. Entomol.* 82, 631-641.
- Acción Ecológica. 2002. El Impacto de las bananeras en el Ecuador. Disponible en: <http://www.accionecologica.org/salud-yambiente/plaguicidas/445-impacto-de-las-bananeras-en-ecuador>
- Acosta-Martínez, V., Bell, C., Morris, B., Zak, J., Allen, V. 2010. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semiarid region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137, 231-240.
- Action Bioscience. 2002. Entrevista a Norman Borlaug, padre de la revolución verde. [ed.] American Institute of Biological Sciences. PDF. Disponible en: http://www.croplifela.org/pages_html/pdfs/nb.pdf.
- Agrios, G. 1989. *Fitopatología*. 3era ed. México (MX) : Editorial Limusa. 530 p. ISBN 0-12-044560-3.
- Agrios, G. 1997. *Plant Pathology*. 4th ed. Academic Press. San Diego – California, US. 635p.
- Aislant, H. y Gámez, D. 2004. Influencia de los factores ecofisiológicos sobre el comportamiento de la Sigatoka negra en la zona bananera del Magdalena. Santa Marta. p. 45- 49. Trabajo de grado (Ingeniero agrónomo). Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería. Área fitopatología.
- Alexander, M. 1977. *Introduction to soil microbiology*, segunda edición. John Wiley, New York, N.Y. 467 p.
- Alexopoulos, C., Mims, C. 1979. *Introductory mycology*. 3rd edition, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Altieri M. and Nicholl C. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*, ISBN: 978-84-7426-764-8
- Altieri, M. 1990. *Sistemas agroecológicos alternativas para la producción campesina*. Primer encuentro Agroecológico de América Latina y el Caribe. Cochabamba, Bolivia. pp. 4-36.
- Altieri, M. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder.

- Altieri, M. 2004 Genetic engineering in agriculture: the myths, environmental risks and alternatives. Food First Books, Oakland.
- Altieri, M. 2009. Agrofuels: ecological, social and energy ramifications. Bulletin of Science, Technology and Society Vol 29 N 3 (Guest Editor Special Issue).
- Anderson, R. 2002. The Dryophthoridae of Costa Rica and Panamá: Checklist with keys, new synonym and descriptions of new species of *Coctophagus*, *Mesocordylus*, *Metamasius* and *Rhodobaenus* (Coleóptera, Curculionidae). (en línea). CR.. Disponible en <http://inbio.ac.cr/papers/Dryophthoridae/Cosmopolites.htm>
- Araj, S., Wratten, S., Lister, A. Buckley, H. 2008. Flora diversity, parasitoids and hyperparasitoids – A laboratory approach. Basic and Applied Ecology 9:588-597
- Araméndiz, H.; Espitia, M.; Cardona, C. 2009. Valoración de los recursos fitogenéticos de Caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) en el Caribe Colombiano. Bogotá. Editorial Produmedios 22p.
- Araúz, L. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 1era ed. San José (CR) : Editorial UCR. 467 p. ISBN 9977-67-539-2.
- Araya, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. En Rivas, G., y Rosales, F. (eds.), Manejo Convencional y alternativo de la Sigatoka negra, Nematodos y Otras Plagas Asociadas al Cultivo de Musáceas en los Trópicos (pp. 79-102). Francia: INIBAP.
- Arciniegas, A., Riveros, A., Loaiza, J. 2002. Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo in vitro de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musáceas. En: Memorias de la XV Reunión Internacional ACORBAT. Cartagena de Indias, Colombia. 242 p.
- Arias P., Dankers C., Pascal L., Pilkauskas P. 2002. La economía mundial del banano 1985-2002. [ed.] Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Servicio de materias primas, productos tropicales y hortícolas. Dirección de productos básicos y comercio. Roma, Italia. 91 p.
- Arias, M. 1999. Picudo negro, plaga del plátano, banano y abacá. Revista informativa del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 11: 23-25.
- Armijos, F. 2008. Principales Tecnologías Generadas para el Manejo del Cultivo de Banano, Plátano y otras Musáceas. Guayaquil, EC, INIAP, Estación Experimental

- Boliche, Programa Nacional de Banano, Plátano y otras Musáceas. 64 p. (Boletín Técnico no. 131).
- Arroyo, I and Iturrondobeitia, J. 2006. Differences in the diversity of oribatid mitecommunities in forests and agroecosystems lands. *European Journal of Soil Biology*. 42:259-269.
- Atlas, R. and Bartha, R. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 2ª ed. Trad. Español. Addison Wesley, Madrid. pp 250-261.
- Baldy, C and Stigter, C. 1993. *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. INRA editions. Paris.
- Bardgett, R., Leemans, D., Cook, R., Hobbs, P. 1997. Seasonality of the soil biota of grazed and ungrazed hill grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*. 29:1285-1294.
- Bauer, M. 1991. *Fitopatología*. 1era ed. México (MX) : Editorial Limusa. 517 p. ISBN 968-18-2352-4.
- Bauer, R., Begerow, D., Sampaio, J., Weiss, M., Oberwinkler, F. 2006 'The simpleseptate basidiomycetes: A synopsis', *Mycological Progress*, vol. 5, pp. 41–66
- Behan-Pelletier, V. (1999). Oribatid mitebiodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 411-423.
- Belalcázar, S., Toro, C., Jaramillo, R. 1991. *El cultivo del plátano en el trópico*. Armenia, CO; Editorial Talleres Gráficos de impresora Feriva N. 50:376 p.
- Belalcázar, S., Cayón, G., Lozada, J. 1991. *Ecofisiología del cultivo*. En: BELALCÁZAR, S. (Ed). *El Cultivo del plátano en el trópico*. ICA INIBAP – CIID, COMITECAFE. Quindío. Feriva, Cali. pp. 91 – 109.
- Belalcázar, S., Toro, J., Jaramillo, R. 1991. *El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en el trópico*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Subgerencia de Investigación; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano (INIBAP), Cali, Colombia. 376 p.
- Belalcázar, S. 1991. *Raya negra Mycosphaerella fijiensis Morelet*. *El cultivo de plátano en el trópico*. Armenia, Colombia: El autor, 1991. p. 235-277.
- Bellinger, P. Christiansen, K.A. & Janssens, F. 2003. *Checklist of the Collembola: Families*. Department of Biology. University of Antwerp (RUCA). Antwerp, Belgium. [Disponible en:] [http:// www.collembola.org/taxa/collembo.htm](http://www.collembola.org/taxa/collembo.htm).

- Berry, E., Karlen, D. 1993. Comparison of alternative farming systems. II. Earthworm population density and species diversity. *American Journal of Alternative Agriculture* 8, 21-26.
- Betancourt, G. 2009. La "Sigatoka negra" del banano y plátano. IN: m. Moreira, Betancourt y Sabero (eds). Cap. V: Prevención y control de enfermedades prioritarias en sanidad vegetal. IICA, Quito.
- Bioversity International. 2006. Conservación y uso de la biodiversidad genética cultivada para control de plagas en apoyo a la agricultura sostenible. CAP Ecuador. Un proyecto de investigación y desarrollo para el uso de la agrobiodiversidad a favor del bienestar rural. Agencia de ejecución nacional: INIAP. Agencia de implementación: BIOVERSITY. Quito, Ec. 2006
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecología* 83, 14-19.
- Bornacelly, H. y Bolaño J. 2003. Efecto de diferentes labores de manejo sobre el desarrollo de la sigatoka negra del banano en el distrito de Sevilla, zona bananera del Magdalena. Santa Marta. 311 p. Trabajo de grado (Ingeniero agrónomo). Universidad del Magdalena. Facultad de ingeniería. Área fitopatología.
- Borror and DeLong's. 2004 *Introduction to the Study of Insects* 7^o Edition. ISBN-10: 0030968356
- Brathwaite, W. y Sosa-Moss, C. 1995. Introducción al diagnóstico de las enfermedades de las plantas: diagnóstico Fitosanitario I. México (MX) : IICA. 78 p. ISBN 92-9039-2767. Área de Concentración III, Sanidad Agropecuaria.
- Büchs, W. 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators- general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 98, 35-78.
- Buckerfield, J., 1992. Earthworm populations in dryland cropping soils under conservation-tillage in South Australia. *Soil Biology and Biochemistry* 24, 1667-1672.
- Bustamante, M. 2000. Manejo Integrado de Plagas en el cultivo de banano y plátano. Recomendaciones para el técnico y productor. El Zamorano, Honduras.
- Cassagne, N. 2003. Relationships between Collémbola, soil chemistry and humus types in forest stands. *Biology and Fertility of soils*. France.

- Castilla, N., Vera-Cruz, C., Mew, T. 2003. Using rice cultivars mixtures: a sustainable approach for managing diseases and increasing yield. Mini Review. IRRN 28(2): 5 – 11.
- Castillo-Russ, J., Araya-Vargas, M., Patiño-Hoyos, L. 2010. Respuesta a la aplicación de nematicida en banano en la zona de Urabá, COLOMBIA. Agronomía Mesoamericana 21(2):307-317.
- Castrillón, C. 2004. Situación actual del picudo negro del banano (*Cosmopolites sordidus* Germar) (Coleóptera: Curculionidae) en el mundo. In: Rivas, G y Rosales, F. eds. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos. INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia. p. 125 – 134.
- Castrillón, C., Valencia, J., Urrea, C. 2002. Reacción de diferentes materiales del banco de germoplasma de musáceas al ataque del Picudo negro *Cosmopolites sordidus* Germar. Quindío, CO. Disponible en http://musalit.inibap.org/pdf/INO30010_es.pdf
- Cedeño, G. 2010. Evaluación del comportamiento de doce cultivares de *Musa* spp. Inoculados con *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Agente causal de la Sigatoka negra. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica Estatal de Manabí. Manabí, Ecuador.
- Cedeño, G., Capello, C., Coello, D., Fadda, C., Jarvis, D., de Santis, P. 2017. La detección temprana de la resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* en genotipos locales de *Musa* en Ecuador. Scientia Agropecuaria, 8 (1), 2942.
- CENICAFE. 1987. Descripción De Malezas En Plantaciones De Café. Caldas-Colombia: Carvajal S.A. p 490.
- Chamorro, C., 2001.- El suelo: maravilloso teatro de la vida. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 25 (97): 483-494
- Chen, A., Ueda, K., Sekiguchi, Y., Ohashi, A., Harada H. 2003. Molecular detection and direct enumeration of methanogenic Archaea and methanotrophic Bacteria in domestic solid waste landfill soils. Biotechnology letters 25:1563-9.
- Chen, C., Hansen K., Hansen L. 2008. *Rhizobium radiobacter* as an opportunistic pathogen in central venous catheter-associated bloodstream infection: case report and review. The Journal of Hospital Infection 68:203-7.

- Chocobar, A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejos en un experimento de larga duración. Tesis en opción al grado científico de Máster en Ciencias, Especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 63 p.
- Cochrane, M., Alencar, A., Schulze, M., Souza, C., Nepstad, D., Lefebvre, P., Davidson, E. 1999. Positive feedbacks in the dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1834-1836
- Consuegra, G. y Lorenzo I. 2004 Comportamiento de la Sigatoka negra en seis genotipos de musáceas en el distrito de Sevilla, zona bananera del Magdalena. Santa Marta. 400 pp. Trabajo de grado (Ingeniero agrónomo). Universidad del Magdalena. Facultad de ingeniería. Área fitopatología.
- Coto, G. 1991. Conceptos introductorios a la fitopatología. 1era ed. San José (CR) : Universidad Estatal a Distancia. 308 p. ISBN 9968-31-042-5.
- Crome, F., Thomas, M., Moore, L. 1996. A novel Bayesian approach to assessing impacts of rain forest logging. *Ecological Applications*, 6: 1104-1123.
- Culik, M. 2002. Biodiversity of Collémbola in tropical agricultural environments of Espirito Santo, Brazil. *Applied Soil Ecology*. 21, 49-58.
- Cutz-Pool, L. 2003. Colémbolos edáficos de dos agroecosistemas de San Salvador, Hidalgo. Tesis Maestro en Ciencias Biológicas (Sistemática) Facultad de Ciencias. México: UNAM, 89.
- Czarnetzki, A. and Tebbe, C. 2004. Diversity of bacteria associated with Collembola - a cultivation-independent survey based on PCR-amplified 16S rRNA genes. *FEMS Microbiology Ecology* 49:217-27.
- Dassou, A., Sylvain D., Canard, E., Vinatier, F., Carval, D., Tixier P. 2016. Contrasting effects of plant diversity across arthropodtrophic groups in plantain-based agroecosystems. *Basic and Applied Ecology* 17: 11–20
- de Graaf, J., 2006. Integrated pest management of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar), in South Africa. Ph.D. Thesis. University of Pretoria, South Africa.
- de Lara, R., Castro, T., Castro, G., Castro J., Malpica, A. 2003. La importancia de los nematodos de vida libre [en línea]. vol. 48 p. 43-46. Disponible en: <<http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n48ne/nematodo.pdf>>.
- De Santis, T., Hugenholtz, P., Larsen, N., Rojas, M., Brodie, E., Keller, K., Andersen, G. 2006. Greengenes a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench

- compatible with ARB. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(7), 5069-5072.
- Declerck, S., Devos, B., Delvaux, B., Plenchette, C. 1994. Growth response of micropropagated banana plants to VAM inoculations. *Fruits* 49(2):103 - 109.
- Declerck, S., Plenchette C., Strullu, D. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata* AAA group) cultivar. *Plant Soil* 176:183 - 187.
- Decraemer, W., and Geraert, E. 2006. Ectoparasitic nematodes. En: Perry, R., Y Moens, M. *Plant Nematology*. London: CAB International. (pp: 153-184). CAB, International, U.K.
- Di Rienzo, Ja., Casanoves, F, Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Tобledo, C. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, URL <http://www.infostat.com.ar>
- Didelot, F., Brun, L., Parisi, L. 2007. Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. *Plant Pathology* 56: 1014 – 1022.
- Doak, DF., Bigger, D., Harding, E., Marvier, M., O`Malley, R., Thomson, D. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *The American Naturalist*, 151: 264-276.
- Domínguez, J., Planelles, R., Rodríguez, J., Barreal, J., Saiz, A. 2004. Influencia de la micorrización con trufa negra (*Tubermelanosporum*) en el crecimiento, intercambio gaseoso y nutrición mineral de plántulas de *Pinus halepensis*. *Invest. Agrar: Sist Recur For.* 13(2):317 - 327.
- Domsch, K. and Gams, W. 1970. *Pilze aus Agrarböden*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Doran, J. W. y T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek y B. A. Stewart, eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 3–21. Madison, WI: ASA.
- Doran, J., Sarrantonio, M., Liebig, M. 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56: 1-54.
- Echeverría, M. 2015. Comportamiento agronómico y producción del orito solo o asociado con otras Musáceas. Tesis Ingeniero en Horticultura y Fruticultura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo., 71 p. Ecuador.
- Eichorst, S., Kuske, C., Schmidt, T. 2011. Influence of plant polymers on the distribution and cultivation of bacteria in the phylum Acidobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 77:586-96.

- Emeanson, K. and Ezueh, M. 1997. The influence of companion crops in the control of insect pests of cowpea in intercropping systems. *Trop. Agric.* 74(4): 285-288.
- Espinosa, L., Belalcázar, S., Chacón, A., Suarez, D. 1998. Fertilización del plátano en densidades altas. En: Seminario internacional sobre producción de plátano. pp. 79–80.
- Espinoza, G. 2008. Determinación de las principales malezas en potreros y su relación con las prácticas de manejo realizadas en las ganaderías bovinas de la Provincia de Los Ríos. Tesis. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Fancelli, M., Souza, D., Fritzon, N., Correa, R., De Oliveira, S. 2002. Resistencia de los genotipos diploides de banano a *C. sordidus* (en línea). Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=hDh5X77fsQcC&pg=PR12&lpg=PR12&dq=La+resistencia+de+las+plantas+a+los+insectos+se+considera+como+una+estrategia+segura+y+duradera+para+el+control+de+Cosmopolites+sordidus>.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Sistemas de producción agropecuaria y pobreza: www.fao.org. Obtenido de FAO web site: http://www.fao.org/farmingsystems/LAC_leg_es.htm
- Fernández, F. y Sharkey, M. 2006. Introducción a los Hymenóptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fierer, N., Strickland, M., Liptzin, D., Bradford, M., Cleveland, C. 2009. Global patterns in belowground communities. *Ecology Letters* 12, 1238-1249.
- Finlay, B. and Clarke, K. 1999. Ubiquitous dispersal of microbial species. *Nature*. 1999; 400(6747):828. 71.
- Finlay, B. 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*. 2002; 296 (5570):1061–3. <https://doi.org/10.1126/science.1070710> PMID: 12004115
- Fouré, E. 1982. Les cercosporioses du bananier et leurs iraitements. Etude de la sensibilité varietale des bananiers et plantains *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon (maladie des raies noires). Incubation et évolution de la maladie. *Fruits* 37: 749-771.
- Fox, B. and Box, M. 1986. Resilience of animal and plant communities to human disturbance En *Resilience of Mediterranean-type ecosystems*. (B. Dell et al, Eds). Junk Publishers, Dordrecht: 39-64

- Francis, R. and Decoteau, D. 1993. Developing and effective southern pea and sweet corn intercrop system. Hort. Technology 3(2): 178-184.
- Frey-Klett, P., Chavatte, M., Clause, M., Courier, S., Le Roux, C., Raaijmakers, J., Martinotti, M., Pierrat, J., Garbaye, J. 2005. Ectomycorrhizal symbiosis affects functional diversity of rhizosphere fluorescent pseudomonads. New Phytologist 165:317-328.
- Galdámez, J., Aguilar C., Gutiérrez A., Morales A., Mendoza S., Martínez F. 2010. Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 2010 1(10) 18-29.
- Gascon C., Williamson G., da Fonseca, A. 2000. Receding forest edges and vanishing reserves. Science, 288: 1356-1358.
- Gauggel, C., Sierra, F., Arévalo, G. 2005. La problemática del deterioro radical del banano y su impacto sobre la producción: experiencia de producción en América Latina. In Turner, DW. y Rosales FE. (eds.). Sistema radical del banano hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. San José (CR) : CORBANA. p. 13-14. ISBN 2-910810-61-5.
- Gauhl, F. 1994. Epidemiology and ecology of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana in Costa Rica, Central America. INIBAP, Montpellier, France. 120 p.
- Ghosh, P., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, T., Wanjari, R., Hati, K., Misra, A., Acharya, C., Subba, R. 2006. Inter-specific interaction and nutrient use in soybean-sorghum intercropping system. Agro. J., 98: 1097-1108.
- Ghosh, P. 2004. Growth yield competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Res., 88: 227-237.
- Gold, C. and Bagabe, M., 1997. Banana weevil, *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae), infestations of cooking- and beer-bananas in adjacent plantations in Uganda. Afric. Entomol. 5, 103-108..
- Gold, C., Kiggundu, A., Abera, A., Karamura, D. 2002. Diversity, distribution and farmer preference of *Musa* cultivars in Uganda. Expl Agric. 38, 39-50.
- Gold, C. and Messiaens, S. 2000. El Picudo Negro del Banano: *Cosmopolites sordidus*. Plagas de Musa. Hoja Divulgativa No.4. 4p. Disponible en

http://www.bioversity.international.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/696_ES.pdf

- González, V., Díaz, M., Prieto, D. 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Rev. Biología*. 17 (1):18.
- Gould, F. 1986. Simulation models for predicting durability of insect resistant germplasm: a deterministic diploid, two-locus model. *Environ. Entomol.* 15, 1-10.
- Govea, C. 1991. Influencia del número de hijos y frecuencia de deshije en el rendimiento del plátano Hartón (*Musa*AAB subgrupo plátano cv. Hartón). In: Añez, B., Nava, C., Sosa, L. y Jaramillo, R. (Eds.): *Memorias, IX Reunión, ACORBAT., Mérida, Venezuela, 24-29. Septiembre 1989. ACORBAT., Maracaibo, Venezuela, 473-481.*
- Gremion, F., Chatzinotas, A., Harms, H. 2003. Comparative 16S rDNA and 16S rRNA sequence analysis indicates that Actinobacteria might be a dominant part of the metabolically active bacteria in heavy metal-contaminated bulk and rhizosphere soil. *Environmental Microbiology* 5:896-907.
- Grishkan, I., and Nevo, E. 2004. Soil microfungi of Nahal Meitsar, Golan Heights, Israel. *Plant Biosystems* 138:21-26.
- Guzmán, M. 2004. Epidemiología de la Sigatoka negra y el sistema de preaviso biológico. In: Rivas, G y Rosales, F. eds. *Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos. INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia. p. 25 – 26.*
- Haddad, N., Tilman, D., Harstad, J., Ritchie M. and Knops, J. 2001. Constrasting effects of plant richness and composition on insects communities: a field experiment. *The American Naturalist*, 158: 17-35
- Hammer O., Harper, D., Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics. Software package for education and data analysis. Version 3.06. *Paleontological Electronica*. 4(1): 9 pp. folk.uio.no/ohammer/past
- Hartmann, M. and Widmer, F. 2006. Community Structure Analyses Are more Sensitive to Differences in Soil Bacterial Communities than Anonymous Diversity Indices. *Applied and Environmental Microbiology*. 72:7804-7812.

- Hodda, M., Bloemers, G., Lawton, J., Lamshead, P. 1997. The effects of clearing and subsequent land-use on abundance and biomass of soil nematodes in tropical forest. *Pedobiología* 41, 279-294.
- Huhn, M. 1985. Theoretical studies on the necessary number of components in mixtures. 1. Number of components and yield stability. *Theoretical and Applied Genetics* 70, 383–9.
- Huhn, M. 1986a. Theoretical studies on the necessary number of components in mixtures. 1. Number of components and yielding ability. *Theoretical and Applied Genetics* 71, 622–30.
- Huhn, M. 1986b. Theoretical studies on the necessary number of components in mixtures. 3. Number of components and risk considerations. *Theoretical and Applied Genetics* 72, 211–8.
- Hunt, D., Luc, M., Manzanilla-López, R. 2005. Chapter 2: Identification, morphology and biology of plant parasitic nematodes (pp 11-52). En Luc, M., Sikora, & J. Bridge (eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture* (pp. 11-52). CABI publishing.
- INAMHI. 2017. Anuarios Meteorológicos entregados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Quito, Ecuador.
- Jackson, S., Fredericksen, T., Malcom, J. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 166: 271-283
- Jaizme, M. and Azcón, R. 1995. Response of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5:213 - 217.
- Jaizme-Vega, M., Rodríguez-Romero, A., Piñero, M. 2003. Potential use of rhizobacteria from the *Bacillus* genus to stimulate the plant growth of micropropagate banana. *Fruits*. 59(2): 83-90.
- Jarvis, D., Padoch, C y Cooper, H. 2011. *El Manejo de la Biodiversidad en los Sistemas Agrícolas*. Publicado por Bioersivity Internacional. ISBN: 978-92-9043-823-6.
- Jarvis, D., Hodgkin, T., Sthapit, B., Fadda, C., López, I. 2011. An Heuristic Framework for Identifying Multiple Ways of Supporting the Conservation and Use of Traditional Crop Varieties within the Agricultural Production System. *Critical Reviews in Plant Science* 30: 125 – 176.

- Johnson, M., Lee, K., Scow, K. 2003. DNA fingerprinting reveals links among agricultural crops, soil properties, and the composition of soil microbial communities. *Geoderma*. 114:279-303.
- Jordan, D., Stecker, J., Cacnio- Hubbard, V., Li, F., Gantzer, C., Brown, J. 1997. Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage system in Missouri soils: a preliminary study. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 489-491.
- Kanokratana, P., Uengwetwanit, T., Rattanachomsri, U., Bunternngsook, B., Nimchua, T., Tangphatsornruang, S., Plengvidhya, V., Champreda, V., Eurwilaichitr, L. 2011. Insights into the phylogeny and metabolic potential of a primary tropical peat swamp forest microbial community by metagenomic analysis. *Microb Ecol* 61, 518-528.
- Keeney, D. and Nelson, N. 1982. Nitrogen: Inorganic forms. En C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White y F. E. Clark, eds., *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 682–687. Madison, WI: ASA.
- Kennedy, A. and Papendick, R. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and water conservation*. 50:243-248.
- Kiggundu, A., Gold, C., Labuschagne, M., Vuylsteke, D., Louw, S. 2007. Components of resistance to banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) in Musa germplasm in Uganda. *Entomol. Exp. Appl.* 122, 27–35.
- Kiggundu, A., Vuylsteke, D., Gold, C. 1999. Recent advances in host plant resistance to banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar), in: Frison, E.A., Gold, C.S., Karamura, E.B., Sikora, R.A. (Eds.), *Proceedings of a workshop on Banana IPM on Mobilizing IPM for Sustainable Banana Production in Africa*. Nelspruit, South Africa, 23–28 November 1998. INIBAP, Montpellier, France, pp. 87–96.
- Kiggundu, A., Vuylsteke, D., Gold, C. 1998. Recent advances in host plant resistance to banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar). (en línea). Disponible en: http://scholar.google.com/scholar?q=recent+advances+in+host+plant+resistance+to+banana+weevil&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart.
- Kirk, J., Beaudette, L., Hart, M., Moutoglis, P., Klironomos, J., Lee H., Trevors, J. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods*. 58:169-188.
- Kirk, P., P.F. Cannon, D., Minter, J. Stalpers, A. 2008. *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. 10th edition, CAB International, Wallingford.

- Kladivko, E. and Timmenga, H. 1990. Earthworms and Agricultural management. In: Box, J.E., Hammond, L.C. (Eds.), *Rhizosphere Dynamics*, Westview Press, Boulder, pp. 192-216.
- Kølster, P., Munk, L., Stølen, O. 1989. Disease severity and grain yield in barley multilines with resistance to powdery mildew. *Crop Science* 29, 1459–63.
- Labrada, R. 2004. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Addendum I. Roma: FAO. 120: p 316.
- Lavelle, P. 1992. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. (29), 157-185. R. Lal & P.A. Sánchez.
- Le Mer, J. and Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology* 37:25-50.
- Leaños, L. 2006. Maíz transgénico en México: una amenaza a la biodiversidad. Tesis de Licenciatura. Relaciones Internacionales. Departamento de Relaciones Internacionales y Ciencias Políticas, Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades, Universidad de las Américas Puebla. Puebla, Mx.
- Leguízamo, M. 2008. Nematodos del suelo en el sistema maíz-soya y en hábitats naturales adyacentes de la altillanura colombiana [en línea]. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 9, no. 1 p. 61-65. Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Revista/7.Nematodosdelsueloenel_sistemamaz-soya.pdf>.
- Letourneau, D., Armbrecht, I., Salguero-Rivera, B., Montoya-Lerma, J., Jiménez-Carmona, E., Daza, M., Escobar, S., Galindo, V., Gutiérrez, C., Duque-López, S., López-Mejía, J., Acosta-Rangel, A., Rivera, L., Saavedra, C., Torres, A., y Reyes-Trujillo, A. 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21:9-21.
- López, J. 2011. Comportamiento de diez cultivares de *Musa* spp, frente al ataque de *Radopholus similis*. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias.
- López, J., Suarez, C., Zambrano, J. 2012. Respuesta de diez cultivares de *Musa* spp, al ataque del nemátodos barrenador *Radopholus similis* y el nemátodo nodulador de la raíz *Meloidogyne* spp. Seminario Nacional de sanidad vegetal., 136-137 p.
- Ludwig, D., Walker, B., Holling, C. 1997. Sustainability, stability, and resilience. *Conservation Ecology*, 81:63-73

- Maddonni, GA., Vilariño, P., García de Salamone, I. 2004 Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. En: Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. (441-477). Eds. Satorre, E, Benech Arnold, R, Slafer, GA, de la Fuente, EB, Miralles, DJ; Otegui, ME; Savin, R. Editorial FAUBA, Universidad de Buenos Aires.
- Malcom, J. 2001. Unifying the study of fragmentation: external vs. internal forest fragmentation. In R Fimbel, A Grajal, J Robinson (Eds), The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forests, pp. 136-138. Columbia University Press, New York, USA.
- Marín, D., Romero, R., Guzmán, M., Sutton, T. 2003. Black Sigatoka and Increasing Treta to Banana Cultivation. *Plant Disease*. 87: 208-222
- Marín, O., Villadiego, M., Barrera, J. 2006. XVII Reunión internacional de ACORBAT Bananos: Un negocio sustentable. 53 p.
- Martínez-Romero, E. 2009. Coevolution in Rhizobium-legume symbiosis? *DNA and Cell Biology* 28:361-70.
- Mele, P. and Carter, M. 1999. Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in southeastern Australia. *Soil and Tillage Research* 50, 1-10.
- Menalled, F. 2010. Consideraciones ecológicas para el desarrollo de programas de manejo integrado de malezas. *Agroecología* 5, 73-78.
- Merchán, V. 2000. Prevención y manejo de la Sigatoka negra. *Boletín Diulgativo*. ICA Ed. No 2. Manizales, diciembre 2000. p. 4-11.
- Merchán, V. 2004. Manejo Integrado del picudo negro del plátano y el banano. In: Rivas, G y Rosales, F. eds. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos. INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia. p. 139 – 140.
- Mestre, J. 1997. Á propos du coefficient d'infestation pour l'évaluation des attaque du charançon noir des bananiers, *Cosmopolites sordidus*. *Fruits* 52 (3): 135-140.
- Montesdeoca, M. 1998. Empleo de la hormona de agregación Sordidin como método de captura y lucha contra *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae). Tesis de grado Universidad de la Laguna. Centro Vol. 20-1 2007 41 Superior de Ciencias Agrarias. Departamento de Protección Vegetal del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. España. 130pag.

- Mulumba J., Nankya, R., Adokorach, J., Kiwuka, C., Fadda, C., De Santis, P., Jarvis, D., 2012. A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystem of Uganda. *Agric. Ecosyst. Environ.* 157, 70–86.
- Mundt, C. 1994. Use of host genetic diversity to control cereal diseases: Implications for rice blast. In: Zeigler RS, Leong SA, Teng PS. *Rice Blast Diseases*. Wallingford, UK: CAB International.
- Nacke, H., Thurmer, A., Wollherr, A., Will, C., Hodac, L., Herold, N. 2011. Pyrosequencing-based assessment of bacterial community structure along different management types in German forest and grassland soils. *PloS One*. 2011; 6(2): e17000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017000> PMID: 21359220
- Nantale, G., Kakudidi, D., Karamura, E., Karamura, D., Soka, G., 2008. Scientific basis for banana cultivar proportions on-farm in East Africa. *Afr. Crop Sci. J.* 16, 41-49.
- Nason, J. and Hamrick, J. 1997. Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: two case studies of Neotropical canopy trees. *Journal of Heredity*, 88:
- Navarrete, J. y Newton, A. 1996. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento, México DF UNAM.
- Neher, D. and Campbell, C. 1994. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology* 1, 17-28.
- Neher, D. 1995. Biological diversity in soils of agricultural and natural ecosystems. En: Olson, R., Francis, C. & Kaffka, S. (Eds.). *Exploring the Role of Diversity in Sustainable Agriculture* (pp. 55-72). Alliance of crop, soil, and environmental science societies.
- Nepstad, D., Verissimo, A., Alencar, C., Nobre, E., Lima, P., Lefebvre, P., Schlesinger, C., Potter, P., Moutinho, E., Mendoza, E., Cochrane, M., Brooks, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forest by logging and fire. *Nature*, 398: 505-508
- Newton, A. 1997. Cultivar mixtures in intensive agriculture. In: Crute IR, Burdon J, Holub E. *Genefor- Gene Relationship in Plant Parasite Interactions*. Wallingford, UK: CAB International, 65–80.
- Nicolls, C. and Altieri, M. 2000. Bases agroecológicas para el manejo de la biodiversidad en el agroecosistema. Efectos sobre plagas y enfermedades. California - USA: Disponible en: http://www.agroeco.org/doc/Bases_agroecologicas.htm

- Nitzsche, W. and Hesselbach, J. 1983. Sortenmischungen statt Viellinien-Sorten. 1. Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.). Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 90, 68–74.
- Nkwiine, C., Tumuhairwe, J., Gumisiriza, C., Tumuhairwe, F. 2003. Agrodiversity of banana (*Musa* spp.) production in Bushwere, Mbarara district, Uganda, in: Kaihura, F., Stocking, M. (Eds.), Agriculture biodiversity in smallholder farms of East Africa. United Nations University Press, New York, USA, pp. 133-144.
- Obledo, E., Hernández, A., López, M. 2004. Extractos vegetales, una opción en el control de la Sigatoka negra. XVI Reunión Internacional. ACORBAT. Oaxaca, México. 184 p.
- Ochieng, V. 2001. Genetic biodiversity in banana weevil *Cosmopolites sordidus*, populations in banana growing regions of the world. Ph.D. Thesis. University of Nairobi, Nairobi, Kenya.
- Ordeñana, O. 1992. Malezas Rol-Ecofisiología-Fisiología Morfología y Taxonomía. Especies Importantes en el Ecuador. Guayaquil: Grafimpac S. A.
- Osorio, G. 2006. Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano. Tesis (Magíster Scientiae en Agricultura Ecológica). CATIE. Programa de educación para el desarrollo y la conservación. Escuela de posgrado. Turrialba, Costa Rica.
- Páez, P. 2012. Caracterización Morfo-Agronómica de doce cultivares de musáceas *Musa* spp y evaluación de la resistencia a la enfermedad Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). La Mana - Cotopaxi. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Palacios-Vargas, J. 2000. Protura y Diplura. En: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. (Eds. J. Llorente, E. González y N. Papayero). Vol. II, UNAM, México. p. 275.
- Pankhurst, C. 1997. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health. In Pankhurst, C.E.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (Eds.). Biological indicators of soil health. Wallingford, CAB International. p. 297-324.
- Patiño, L. y Mejía, M. 2000. La dinámica climatológica y su relación con el hongo *Mycosphaerella fijiensis*. AUGURA – CENIBANANO. En: Foro Sigatoka negra, situación actual y perspectivas para el año 2000, en la zona bananera del Magdalena. CALIMA. Santa Marta. Octubre. 1999. p. 7.

- Peacock, A., Macnaughton, S., Cantu, J., Dale, V., White, D. 2001. Soil microbial biomass and community composition along an anthropogenic disturbance gradients within a longleaf pine habitat. *Ecological Indicators* 1: p. 113-121.
- Pelissari A., Gonçalves C., Reisdorfer, C., Balbinot, J. 2011. Avanços no controle de plantas daninhas no sistema de integração lavoura-pecuária. *Rev Syn Scy UTFPR*. 6(2).
- Pico, J. y Guadamud, N. 2004. Manejo de los principales problemas fitosanitarios en el cultivo del Plátano. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica Estatal de Manabí. Manabí, Ecuador.
- Pimentel, D. and Lehman, H. 1993. *The pesticide question*. Chapman and Hall, N.Y.
- Ploetz, R. 1994.. *Compendium of tropical fruit diseases*. The American Phytopathological Society. A.P.S. Press. St. Paul, Minnesota. U.S.A. 1994. p. 2-22.
- Pocasangre, L. 2008. Mejoramiento biológico de vitro planta de banano mediante la utilización de hongos endofíticos para el control de nematodo barrenador *Radopholus similis*. In Riveros, AS.; Pocasangre, LE. y Rosales, FE. (eds), Taller Internacional sobre Inducción de Resistencia y uso de Tecnología Limpia para el Manejo de Plantas. Turrialba, Costa Rica, 27-30 agosto. Turrialba (CR): CATIE. p. 33-39.
- Poggio, S. 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 109: 48-58.
- Powers, L. y McSorley, R. 2001. *Principios Ecológicos en Agricultura: Sistemas de Cultivo*. Madrid, España. Ediciones Paraninfo. p 265
- Preem, K., Truu, J., Truu, M., Mander, Ü., Oopkaup, K., Lõhmus, K., Helmisaari, H., Uri, V., Zobel, M., 2012. Bacterial community structure and its relationship to soil physico-chemical characteristics in alder stands with different management histories. *Ecological Engineering* 49, 10-17.
- Quénéhervé, P. 2009. Integrated management of banana nematodes, in: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (Eds.), *Integrated management in fruit crops and forest nematodes*. Springer, Netherlands, pp. 3–61.
- Quénéhervé, P., Barriere, V., Salmon, F., Houdin, F., Achard, R., Gertrude, J., Marie-Luce, S., Chabrier, C., Duyck, P., Tixier P. 2011. Effect of banana crop mixtures on the plant-feeding nematode community. *Appl. Soil Ecol.* 49, 40-45.

- Quijije, R., Suárez, C., Williams, R., Reyes, X. 2002. Capacidad de vuelo y orientación de los picudos *Cosmopolites sordidus* y *Metamasius hemipterus* que infestan plantaciones de plátano. Revista informativa del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias no. 16: 13-15.
- Quintero, E., López, I., Kondo, T. 2012. Manejo integrado de plagas como estrategia para el control de la mosca del botón floral del maracuyá *Dasiops inedulis* Steyskal (Diptera: Lonchaeidae), Manejo sanitario y epidemiología. Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- Quiroz, A., Marín, D. 2003 Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación maíz (*zea mays*) y quinchoncho (*Cajanus cajan*) con o sin fertilización. Bioagro 15(2): 121-128. 2003. ISSN 1316-3361
- Reyes, C. 1990. Diseños de experimentos aplicados. Ed. Trillas 3ra.Ed. México. 348 p.
- Reyes, W. 1995. Comportamiento agronómico y grado de resistencia y/o susceptibilidad al ataque de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivares introducidos de banano y plátano. Tesis. Ing. Agr. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador. 25p.
- Rivera-Cruz, M., Trujillo, A., Córdova, G., Kohler, J., Caravaca, F., and Roldán, A. 2008. Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. Soil Biology & Biochemistry. 40: 3092-3095.
- Rizzardi, V. 1990. Effect of inoculation with vesiculararbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated *Musa acuminata* clone Grand Nain. Rev. Agric. Subtrop. e Trop. 84(3):473 - 484.
- Rosales, F. y Pocasangre, L. 2002. Mejoramiento convencional de banano y plátano: estrategias y logros. En: Memorias de la XV Reunión Internacional ACORBAT. Cartagena de Indias, Colombia. 31-43 p.
- Rossmann, A., Tulloss, R., O'Dell, T., Thorn, R. 1998 Protocols for an All Taxa Biodiversity Inventory of Fungi in a Costa Rican Conservation Area, Parkway Publishers, Boone, NC.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P., Lauber, C., Lozupone, C., Caporaso, J. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. The ISME journal 4:1340-51.
- Rzanny, M., Kuu, A., Voigt, W. 2013. Bottom-up and top-down forces structuring consumer communities in an experimental grassland. Oikos, 122, 967–976.

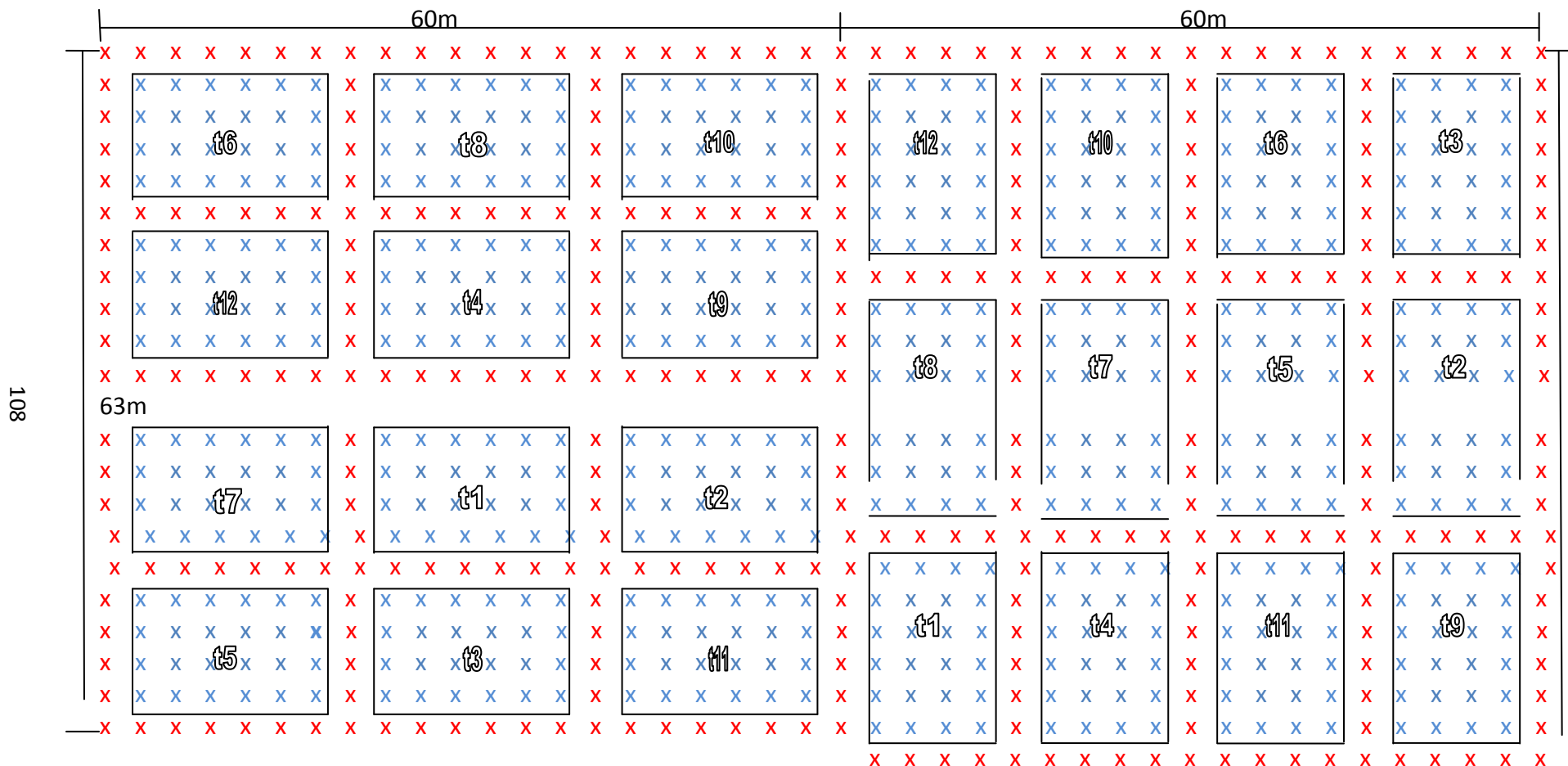
- Sánchez, I. 2014. Agrodiversidad y soberanía alimentaria. Quito, Ecuador.
- Sans, F. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Revista Ecosistemas*, 16 (1): 44-49. Enero 2007. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/137>.
- Santos, A., Varón, E., Salamanca, J. 2009. Prueba de extractos vegetales para el control de *Dasiops* spp, en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en el Huila, Colombia. *Corpoica*, 10(2): 141-151.
- Schlatter, D., Fubuh, A., Xiao, K., Hernandez, D., Hobbie, S., Kinkel, L. 2009. Resource amendments influence density and competitive phenotypes of *Streptomyces* in soil. *Microbial ecology* 57:413-20.
- Schmeisser, C., Steele, H., Streit, W. 2007. Metagenomics, biotechnology with non-culturable microbes. *Appl Microbiol Biotechnol* 75:955-962.
- Sieriebriennikov, B., Ferris, H., de Goede, R. 2014 "NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring". *European Journal of Soil Biology*, 61: 90-93. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2014.02.004
- Stover, R. 1971. A proposed international scale for evaluating intensity of banana leaf spot. *Trop Agric Trin* 48, 185-196
- Stover, R. 1980. Sigatoka leaf spots of bananas and plantains. Pages 1-18 in *Proceedings of the sigatoka workshop*, 18-19 Feb. 1980, La Lima, Honduras, edited by D.T. Krigsvold and T.L. Woods. United Fruit Company, La Lima, Honduras.
- Suarez, C., Vera, D., Williams, R., Ellis, M., Norton, G. 2002. Desarrollo de un programa de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), para sistema de producción basados en plátano. *INIAP (Quito, EC)* 16:59
- Taylor, A., Loegering, W., 1953. Nematodes associated with root lesions in Abacá. *Turrialba* 3(1-2):8-13
- Tazán, L. 2003. El cultivo de plátanos en el Ecuador: Características vegetativas y de producción de algunos cultivares e híbridos de plátano. Editorial raíces. Guayaquil, Ecuador, 72 p.
- Thomas, C. and Marshall. E. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 72: 131-144.
- Tolera, A., Tamado, T., Pant, L. 2005. Grain yield and LER of maize-climbing Bean Intercropping as Affected by Inorganic, organic fertilizers and population density in Western Oromiya, Ethiopia. *Asian Journal of Plant Sciences* 4 (5):458-465.

- Toro, J. y Briones, J. 1984. Malezas predominantes en los cultivos de ciclo corto del litoral. Portoviejo-Ecuador: Ramírez. p 94
- Townsend, G. and Heuberger, J. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Dis. Rep.*, 27: 340–343.
- Trenbath, B. 1974. Biomass productivity of mixture. *Advances in agronomy* 26:177-210.
- Tsubo, M. and Ogindo H. 2005. Simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions II Model application. *Field Crops Res.*, 93: 23-33.
- Vahdettin. C., Necat T., Yesim, T., Dogan, Y. (2006). The effect of intercropping sowing systems with dry bean and maize on yield an some yield components. *Journal of Agronomy* 5 (1):53-56
- Vallejo, V., Roldán, F., Arbeli, Z., Terán, W., Lorenz, N., Dick, R.. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 139-148.
- Vandermeer, J. 1992. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Vásconez, A. 2010. Los Límites de la División Política Administrativa y su Incidencia en el Desarrollo Socioeconómico Local. Caso el Carmen. Tesis Para obtener el título de Maestría en Políticas Públicas con mención en Políticas Sociales. FLACSO. Quito, Ec. 128 p.
- Vázquez, R., Romero, A., Figueroa, J. 2005. Paquete Tecnológico para el Cultivo de Plátano. [ed.] Gobierno del Estado de Colima. N° 001. Colima, Mx. 72 p.
- Vélez, M. 2011. Reacción de diez cultivares de *Musa* spp. al ataque de picudo negro (*Cosmopolites sordidus* german) durante el primer año de establecimiento. Tesis Ing. Agropecuario. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito "ESPE".
- Vera, D., Vaca, D., Cabanilla, M., Agama, J., Suárez-Capello, C. 2012. Relating crop damage levels on farm to crop varietal diversity measured by richness, evenness and diversity for banana in Ecuador. <http://agrobiodiversityplatform.org/cropbiodiversity/2012/06/07/relating-crop-damage-levels-on-farm-to-crop-varietal-diversity-measured-by-richness-evenness-and-diversity-for-banana-in-ecuador/>. (accessed on 25.11.12).

- Vera, R. 2008. Efecto De Cuatro Arreglos Espaciales En Sistemas De Producción Mixta Cacao – Plátano Sobre La Intensidad De Escoba De Bruja (*Crinipellis perniciososa*) Y Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) Durante El Primer Año De La Fase De Establecimiento. Tesis. Santo Domingo: Escuela Politécnica Del Ejército.
- Vilardebo, A. 1973 L'è coefficient d'infestación, critère d'évaluation du degré d'attaques dès bananeraies par *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824). l'è charançon noir du bananier. *Fruits*, Paris, v.28, n.6, p.417- 426.
- Westman, W. 1986. Resilience: concepts and measures. En *Resilience of Mediterranean-type ecosystem*. (B.Dell et al., Eds).Junk Publishers, Dordrecht: 5-19
- Westman, W. and O'Leary, J. 1986. Measures of resilience: the response of coastal sage scrub to fire. *Vegetatio*, 65. 179-189
- Widausky, A. 1996. Rice Yields, Production variability, and The War Against Pests: An empirical investigation of pesticides, Host-Plant Resistance, and Varietal diversity in Eastern China. Tesis de Grado para Doctor en Filosofía. Stanford University. USA. 209 p.
- Willey, R. 1979. Intercropping. Its importance and research needs part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstr.* 32(1): 1-10.
- Woomer, P., Bekunda, M., Nkalubo, S. 2011. Estimation of banana yield based on bunch phenology. *Afr. Crop Sci. J.* 7, 341-347.
- Yan, W., Hunt, A., Sheng, Q., Szlavnic, Z. 2000 Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yano-Melo, A., Maia, L., Saggin, J., Lima-Filho, J., Melo, N. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the acclimatization of micropropagated banana plantlets. *Mycorrhiza* 9(2):119 - 123.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T., Teng, P., Wang, Z., Mundt, C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718 – 722.
- Zuofa, K., Tariah, N., Isirimah, N. 1992. Effects of groundnut, cowpea and melon on weed control and yield of intercropped cassava and maize. *Field Crops Res.* 28: 309-314.

ANEXOS

Anexo 1. Esquema gráfico del experimento y distribución al azar de los tratamientos, en el sitio experimental, La Mana y El Carmen.



108

X = **VARIEDADES**

- | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------|-----------|
| 1. Dominico Hartón | 5. Dominico negro mejorado | 9. Dominico verde | X= Bordes |
| 2. Gross Michel | 6. Orito | 10. Maqueño verde | |
| 3. Guineo de Jardín | 7. Dominico | 11. Barraganete | |
| 4. Filipino | 8. Limeño | 12. Willians | |

TOTAL PLANTAS BORDE = 531
SUPERFICIE= 6480m²/repetición
12960m²/total

Anexo 2 Croquis de Campo del ensayo (La Maná, Quevedo y El Carmen)

		60m																				
		R1		R2			R3		R4													
162.5 m	13	M	M	O	O	16	G	B	O	M	L	15	M	M	B	B	16	L	G	B	O	M
		M	O	M	O		L	G	B	O	M		M	B	M	B		G	L	O	M	B
		O	M	O	M		M	B	G	L	O		B	M	B	M		M	B	O	L	O
		O	O	M	M		B	O	L	M	G		B	B	M	M		B	O	L	M	G
	3	L	L	G	G	1	L	L	B	B	4	B	B	O	O	5	B	B	G	G		
		L	G	L	G		L	B	L	B		B	O	B	O		B	G	B	G		
		G	L	G	L		B	L	B	L		O	B	O	B		G	B	G	B		
		G	G	L	L		B	B	L	L		O	O	B	B		G	G	B	B		
	7	L	L	L	L	2	L	O	L	O	6	O	G	O	G	3	L	G	L	G		
		L	L	L	L		O	L	O	L		G	O	G	O		G	L	G	L		
		L	L	L	L		O	O	L	L		G	G	O	O		G	G	L	L		
	14	M	M	M	M	13	M	M	O	O	14	M	M	M	M	15	M	B	M	B		
		M	M	M	M		M	O	M	O		M	M	M	M		M	B	M	B		
		M	M	M	M		O	M	O	M		M	M	M	M		B	M	B	M		
		M	M	M	M		O	O	M	M		M	M	M	M		B	B	M	M		
	2	L	L	O	O	3	L	L	G	G	9	O	O	O	O	7	L	L	L	L		
		L	O	L	O		L	G	L	G		O	O	O	O		L	L	L	L		
		O	L	O	L		G	L	G	L		O	O	O	O		L	L	L	L		
		O	O	L	L		G	G	L	L		O	O	O	O		L	L	L	L		
	5	B	B	G	G	4	B	B	O	O	7	L	L	L	L	6	O	O	G	G		
		B	G	B	G		B	O	B	O		L	L	L	L		O	G	O	G		
		G	B	G	B		O	B	O	B		L	L	L	L		G	O	G	O		
		G	G	B	B		O	O	B	B		L	L	L	L		G	G	O	O		
	8	B	B	B	B	5	B	B	G	G	5	B	G	B	G	9	O	O	O	O		
	B	B	B	B		B	G	B	G		G	B	G	B		O	O	O	O			
	B	B	B	B		G	G	B	B		G	G	B	B		O	O	O	O			
	B	B	B	B		O	O	G	G		L	B	O	G		G	G	G	G			
11	L	B	O	G	6	O	G	O	G	11	G	L	B	O	10	G	G	G	G			
	G	L	B	O		O	G	O	G		O	G	L	B		G	G	G	G			
	O	G	L	B		G	O	G	O		L	B	O	G		G	G	G	G			
	L	B	O	G		G	O	O	O		L	L	M	M		B	B	O	O			
1	L	L	B	B	7	L	L	L	L	12	L	L	M	M	4	B	O	B	O			
	L	B	L	B		L	L	L	L		L	M	L	M		O	B	O	B			
	B	L	B	L		L	L	L	L		M	L	M	L		O	O	B	B			
	B	B	L	L		L	L	L	L		M	M	L	L		O	O	B	B			
15	M	M	B	B	14	M	M	M	M	1	L	B	L	B	13	M	O	M	O			
	M	B	M	B		M	M	M	M		B	L	B	L		O	M	O	M			
	B	M	B	M		M	M	M	M		B	B	L	L		O	O	M	M			
	B	B	M	M		M	M	M	M		M	M	O	O		L	B	O	G			
9	O	O	O	O	12	L	L	M	M	13	M	O	M	O	11	L	B	O	G			
	O	O	O	O		L	M	L	M		O	M	O	O		O	G	L	B			
	O	O	O	O		M	L	M	L		O	M	O	M		O	G	L	B			
	O	O	O	O		M	M	L	L		O	O	M	M		L	B	O	G			
4	B	B	O	O	8	B	B	B	B	10	G	G	G	G	8	B	B	B	B			
	B	O	B	O		B	B	B	B		G	G	G	G		B	B	B	B			
	O	B	O	B		B	B	B	B		G	G	G	G		B	B	B	B			
	O	O	B	B		B	B	B	B		G	G	G	G		B	B	B	B			
12	L	L	M	M	9	O	O	O	O	2	L	L	O	O	12	L	L	M	M			
	L	M	L	M		O	O	O	O		L	O	L	O		L	M	L	M			
	M	L	M	L		O	O	O	O		O	L	O	L		M	L	M	L			
	M	M	L	L		O	O	O	O		O	O	L	L		M	M	L	L			
6	O	O	G	G	10	G	G	G	G	8	B	B	B	B	1	L	L	B	B			
	O	G	O	G		G	G	G	G		B	B	B	B		L	B	L	B			
	G	O	G	O		G	G	G	G		B	B	B	B		B	L	B	L			
	G	O	O	O		G	G	G	G		B	B	B	B		B	B	L	L			
10	G	G	G	G	11	L	B	O	G	3	L	L	G	G	2	L	L	O	O			
	G	G	G	G		G	L	B	O		L	G	L	G		L	O	L	O			
	G	G	G	G		O	G	L	B		G	L	G	L		O	L	O	L			
	G	G	G	G		L	B	O	G		G	G	L	L		O	O	L	L			
16	G	B	O	M	L	15	M	M	B	B	16	G	B	O	M	L	14	M	M	M	M	
	L	G	B	O	M		M	B	M	B		L	G	B	O	M		M	M	M	M	
	G	L	O	M	B		B	M	B	M		G	L	O	M	B		M	M	M	M	
	M	B	G	L	O		B	B	M	M		M	B	G	L	O		M	M	M	M	
	B	O	L	M	G		B	B	M	M		B	O	L	M	G		M	M	M	M	

Anexo 3. Abundancia de nematodos en 2 localidades, 2 sistemas agrícolas y 2 épocas.

Factores			Fitopatógenos				Benéficos		
Localidades	Sistemas Agrícolas	Épocas	<i>Radopholus similis</i>	<i>Meloidogyne sp.</i>	<i>Helicotylenchus sp.</i>	<i>Pratylenchus sp.</i>	<i>Dorylaimus sp.</i>	<i>Rhabditis sp.</i>	<i>Mononchus sp.</i>
La Mana	Mixto	Lluviosa	225	700	500	275	4050	1000	1188
		Seca	300	600	1413	563	3938	0	588
		Promedio	263	650	956	419	3994	500	888
	Monocultivo	Lluviosa	5775	2500	168	750	700	413	1363
		Seca	3950	1000	300	650	390	2000	700
		Promedio	4863	1750	233	700	545	1206	1031
El Carmen	Mixto	Lluviosa	575	2800	0	0	1750	0	650
		Seca	363	938	600	75	3400	0	0
		Promedio	469	1869	300	38	2575	0	325
	Monocultivo	Lluviosa	17700	3750	500	350	0	1013	354
		Seca	9500	1500	500	300	0	293	0
		Promedio	13600	2625	500	325	0	653	177