



Resiliencia de dos sistemas de producción de musáceas en dos zonas del trópico ecuatoriano

Resilience of two musaceae production systems in two areas of the ecuadorian tropics

Javier Cedeño-Aviles¹ Daniel Vera-Aviles² Fernando Cabezas-Guerrero² José Tubay-Vergara³

¹ Unidad de Posgrado. Maestría Desarrollo Local. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Campus Central. Km 1.5 vía Quevedo-Santo Domingo, Los Ríos, Ecuador. CP 73 wcedenoa@uteq.edu.ec

² Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Campus La María. Km 7 vía Quevedo-Mocache, Los Ríos, Ecuador. CP 73 dvera@uteq.edu.ec; mcabezas@uteq.edu.ec

³ Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Campus Central. Km 1.5 vía Quevedo-Santo Domingo, Los Ríos, Ecuador. CP 73 jtubay@uteq.edu.ec

Rec.: 02.06.2021 Acept.: 20.10.2021

Publicado el 30 de diciembre de 2021

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de resiliencia de sistemas de producción de Musáceas en el trópico ecuatoriano. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con tres repeticiones, dos localidades (El Carmen y La Mana), dos sistemas de producción (mixto y monocultivo). 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. 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. De este estudio podemos concluir que los sistemas de cultivo mixto son más productivos, que presentan mayor biodiversidad y son más resilientes a sufrir el ataque de plagas y enfermedades que los sistemas agrícolas basados en el monocultivo.

Palabras clave: sistemas agrícolas, cultivar; monocultivo, productividad, biodiversidad.

Abstract

The objective of this research was to determine the resilience capacity of Musaceae production systems in the Ecuadorian tropics. The experimental design was completely randomized blocks with three replications, two locations (El Carmen and La Mana), two production systems (mixed and monoculture). According to the results of the studies, the mixed system of musaceae production was the one with the highest presence of arthropods, the Collembola order being the most diverse, which gives us the guideline to say that this order is associated with the quality of the soils. In the mixed systems, La Maná and El Carmen, there was a higher quantity of worms and microorganisms and a lower rate of infection of pests and diseases compared to the monoculture systems. The infection rates of black Sigatoka, the population of phytopathogenic nematodes and the severity of the black weevil attack are higher in plots with monoculture than when there is a mixture with cultivars that have tolerance to these biotic stresses. From this study we can conclude that mixed cropping systems are more productive, have greater biodiversity and are more resilient to being attacked by pests and diseases than agricultural systems based on monoculture.

Keywords: agricultural systems, cultivation, monoculture, productivity, biodiversity.

Introducción

El cultivo de musácea (plátano y banano), es el rubro agrícola más importante de Ecuador, tanto por su aporte a la generación de divisas, como a la alimentación de los ecuatorianos, se siembran alrededor de 350000 ha, con mayor proporción se encuentra en las provincias del Litoral como lo que es Manabí, Guayas, El Oro, Cotopaxi y Los Ríos (MAGAP, 2020).

El cultivo de Musáceas, es la principal actividad agrícola de suma importancia para la economía del país. En Ecuador se produjo 6583477 toneladas de banano, que equivalen a casi 362 millones 923 cajas de aproximadamente 18.14 kg, y también, se produjo 749450 toneladas de plátano, evidenciándose que la tercera parte a nivel mundial en las exportaciones de plátano y banano se originan en Ecuador, donde lo anterior representa por un lado, alrededor de \$ 1.900 millones de dólares por conceptos de las divisas y, por otro lado, un valor de 90 millones de dólares por declaraciones de impuestos al Estado (Lara *et al.*, 2021).

El concepto de resiliencia ha evolucionado desde una perspectiva ecológica a la del análisis de sistemas complejos. Inicialmente, se concibió como la capacidad de afrontar, absorber y adaptarse a las perturbaciones, sin cambiar, para volver a un estado de normalidad. La resiliencia se calculó o evaluó según la cantidad de tiempo que tomaría volver a esta condición. En este sentido, muchos propusieron que la resiliencia es la adaptación de sistemas basada en el aprendizaje, la planificación y la reorganización con el fin de preservar la función, la estructura y la identidad (Córdoba *et al.*, 2020).

El concepto de resiliencia es multifacético y no puede ser capturado por un solo indicador o mirando solo los atributos de un sistema agrícola o las capacidades de actores seleccionados. Por lo tanto, requiere y permite un diagnóstico elaborado de la resiliencia de un sistema agrícola al considerar sus funciones múltiples y cambiantes, sus interdependencias internas y externas y la gama completa de impactos y tensiones potenciales. Esto permite una evaluación matizada, por ejemplo, el análisis podría encontrar un entorno que limite la resiliencia a los desafíos sociales y económicos y mejore la resiliencia a los desafíos ecológicos, o viceversa (Miranda *et al.*, 2019).

Un desafío clave para los científicos es definir un marco conceptual y metodológico para poder descifrar los principios y mecanismos claves que explican la resiliencia de los sistemas diversificados versus monocultivos, de manera de que estos puedan ser transmitidos a otros agricultores en cada región para que estos mejoren la capacidad de resistencia y de

recuperación de sus fincas. Por esto la urgencia de la necesidad de desarrollar una metodología que permita evaluar la capacidad de los agroecosistemas a resistir y recuperarse de los eventos climáticos y antropogénicos severos, con especial énfasis en entender los procesos que explican la resiliencia biológica observada (Altieri y Nicholls, 2013). El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de resiliencia de sistemas de producción de Musáceas en el trópico ecuatoriano.

Materiales y métodos

Agroecosistemas y áreas de estudios

El estudio se realizó en las localidades de La Maná Provincia de Cotopaxi, situada en las coordenadas geográficas 00° 53'43" Latitud Sur y 79° 11'05" Longitud Occidental; y El Carmen Provincia de Manabí situada en las coordenadas geográficas son 00° 16' 14" Latitud Sur y 79° 29' 12" Longitud Occidental.

El Carmen y La Maná constituyen las zonas musáceas con mayor biodiversidad ecosistémica 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 con monocultivos dedicados por más 50 años; su producto tuvo acogida acelerada por el sector externo. En cambio, la producción de La Maná (ubicado en las estribaciones de la cordillera de los Andes, provincia de Cotopaxi), responde a una realidad distinta. Se comenzó produciendo cultivares distintos a los utilizados en El Carmen, como es el morado y el orito. Su vinculación al exterior fue menos acelerada que su contraparte de El Carmen, abasteciendo primero el mercado nacional, y luego, sus productos tuvieron acogida en el exterior, a tal punto de formar sus propias plazas en el mercado. Las características y condiciones de suelo se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de suelo en las localidades de estudio.

Parametros	La Maná	EL Carmen
Area ecológica	BH -Subtropical	BH - Tropical
Altitud (m)	354	250
Textura del suelo	Franco arenoso	Franco arcilloso
pH del suelo	5.7	6.2
Materia orgánica (%)	4.3	4
NH ₄ (ppm)	26	27

Característica del sitio experimental

Se aprovechó una plantación de un sistema mixto intraespecífico de musáceas de 1 hectárea y 5 años de cultivo, sembrada usando 12 diferentes cultivares con bordes de banano Orito para el caso de La Mana y bordes de plátano Barraganete para El Carmen. El experimento tiene una distancia de siembra de 3.0 m entre plantas y 3.0 m entre surcos, y que se han mantenido con el manejo convencional propio de los productores donde realizan labores de labranza mínima y aplicación moderada de agroquímicos, adicionalmente para efectos de comparación se cogió una parcela de monocultivo banano orito (La Mana) y plátano barraganete (El Carmen) con las mismas dimensiones en ambas localidades, se realizan actividades de labranza fuertes y aplicación continua de agroquímicos.

Diseño experimental y muestreo

El diseño experimental fue bloques completamente al azar, empleando como tratamiento y fuente de variación las localidades (2), los sistemas de producción (2) y como repeticiones (3) los sitios de muestreo (unidad experimental).

Para la recolección de las muestras, población de nematodos, carga microbiana del suelo, abundancia de lombrices, Una muestra de cada tratamiento estuvo compuesta por 12 submuestra que fue identificada como una repetición. Un total de 3 muestras compuestas por cada sistema agrícola para tener un total de 36 submuestras.

Parámetros evaluados

La identificación de la macrofauna edáfica se utilizaron dos tipos de Trampas: "Pitfall"; son recipientes de capacidad un litro, se colocaron enterrado a nivel de la superficie del suelo, su utilidad consiste en retener cualquier organismo que, al desplazarse por el suelo, caiga dentro del envase, se utilizó agua y detergente líquido, se mantuvieron en el sitio durante 72 horas. Trampas "Cromáticas", se utilizaron platos plásticos amarillos con un diámetro de 18 cm, colocados en el suelo con una solución de agua y jabón líquido, durante 3 horas. Para su identificación en el laboratorio, se utilizaron las claves taxonómicas, instrumentos y equipos para la clasificación e identificación a nivel de órdenes y familia de los especímenes recolectados. Se trató hasta donde fue posible, de diferenciar entre los individuos benéficos y dañinos (Borror y DeLong's. 2004).

Para la identificación de nematodos de vida libre del suelo y nematodos fitoparásitos en raíces se utilizó el método de Araya (2002). Para las poblaciones

microbianas se realizó mediante la técnica del conteo en placas Petri o Unidades Formadoras de Colonias (UFC), utilizando medios de cultivos específico 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 de vida libre (Agar Watanabe). Las lombrices fueron recolectadas y cuantificada manualmente durante la época lluviosa a una profundidad de 10 cm; para ello se utilizó un cuadrado de 25 x 25 cm. Con los resultados obtenidos se determinó el índice de diversidad de Shannon-Wiener de familias. También se analizó la equidad de familias comparando 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). 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 que representan diferentes estrategias de supervivencia y requerimientos ecológicos. En el análisis de los datos para cada variable se lo realizó con el Software estadístico NINJA: (Nematode Indicator Joint Analysis) (Sieriebriennikov *et al.*, 2014)

Se registró el índice de infección de Sigatoka negra en Musáceas para el efecto se muestrearon 20 plantas al azar de la parcela útil de cada tratamiento hasta la floración y finalmente al momento de la cosecha (10 semanas después de la floración). El cálculo del índice de la enfermedad se realizó utilizando la fórmula propuesta por Townsend y Heuberger (1943).

Población de picudos negros se registró semestralmente (en dos ocasiones) se colocaron trampas (12 por cada parcela) tipo "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 del picudo negro. Las trampas se colocaron en el centro de cada parcela y fueron cubiertas con hojas de plátano para evitar su deshidratación rápida. El daño realizado por picudo negro se contabilizó el número de galerías producidas por larvas de *C. sordidus* entre los cultivares de musáceas, realizando un corte horizontal-transversal en los cormos de las plantas existentes en cada tratamiento, al momento de la cosecha se utilizó la metodología propuesta por Vilardebo (1973). Una vez obtenidos los datos se utilizó estadística descriptiva para la obtención de promedios y análisis de los datos utilizando el programa estadístico GenStat 17th VSN Edition 2014

Resultados y discusión

Indicadores de resiliencia en los agroecosistemas

Diversidad y abundancia de artrópodos distribuidos en los sistemas agrícolas

La distribución de estos especímenes comprende tres clases de artrópodos y ocho órdenes (Cuadro 2). La mayor cantidad de especímenes corresponden a la clase Insecta o hexapoda, de los órdenes Collembola e Hymenoptera, con 59.6 y 29.6% en el sistema mixto (La Maná); 47.6 y 37.7 sistema monocultivo (La Maná). En la localidad de El Carmen el orden más abundante fue Hymenoptera, con 61.9% (sistema mixto) y 77.2% (sistema monocultivo). El grupo menos representado fueron los órdenes Prostigma y Spirobolida, con porcentajes inferiores a uno en cada uno de los sistemas agrícolas y sitios estudiados. La Maná es una zona con características climáticas más húmedas (Figura 1) y una alta humedad relativa lo que indica que este hábitat presenta condiciones más favorables para el desarrollo y conservación de estos grupos de insectos haciendo estos tipos de agroecosistemas más estable y diversos.

Por otra parte, la diversidad y abundancia de las especies en los agroecosistemas está representada especialmente por los colémbolos, ya que existe una relación directa entre la abundancia de los mismos y la humedad edáfica (Thomas y Marshall, 1999; Culik, 2002; Cutz-Pool, 2003). Entonces, por lo pronto

tenemos que los Collembolo indican que habría suficiente humedad ambiental lo que corresponde a La Mana. En el caso de los colembolos (Collembola) se conoce que dependen de la conjugación de los factores materia orgánica y humedad, y son susceptibles a las perturbaciones del medio (Chocobar, 2010).

Al realizar la identificación taxonómica de los artrópodos encontrados se determinó la presencia de familias que poseen características benéficas como depredadores o parasitoides de plagas presentes en los cultivos, siendo mayor el número de familias benéficas en La Maná, (Cuadro 3).

Las familias más comunes de insectos benéficos son: los Braconidae se reconocen por ser endo ó ecto parasitoides con estrategia idiobionte, atacan exclusivamente Lepidopteros, Coleopteros y Dipteros en diferentes estados de desarrollo y mayoritariamente se los localizo en los sistemas mixto. Las avispas de la familia Diapriidae, son encontrados comúnmente en microhábitats húmedos y áreas sombrías como es el caso de los ecosistemas de La Mana y mayor abundancia en el sistema mixto; principalmente son endoparasitoides y depredadores primarios de Diptera (Larva-pupa, o 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.

Cuadro 2. Abundancia de Artrópodos distribuidos por grupos taxonómicos presentes en dos sistemas de agrícolas (mixto y monocultivo) en las localidades (El Carmen y La Maná)

Clase	Orden	La Mana				El Carmen			
		Mixto	%	Monocultivo	%	Mixto	%	Monocultivo	%
Arachnida	<i>Arachnida</i>	25	0	19	1.2	26	2.8	26	3.2
	<i>Prostigmata</i>	0	0	6	0.4	10	1.1	2	0.2
Hexapoda	<i>Coleoptera</i>	41	1	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	11.9	95	11.6
	<i>Hemiptera</i>	90	3.4	43	2.7	29	3.1	14	1.7
	<i>Hymenoptera</i>	795	29.6	601	37.7	579	61.9	632	77.2
	<i>Orthoptera</i>	30	1.1	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

Cuadro 3. Números de Artrópodos benéficos presentes en dos sistemas de agrícolas (mixto y monocultivo) y localidades (El Carmen y La Maná)

Orden	Familia	La Mana		El Carmen	
		Mixto	Monocultivo	Mixto	Monocultivo
Coleoptera	<i>Coccinellidae</i>	2	1	4	1
	<i>Escaleridae</i>	0	1	0	0
	<i>Staphylinidae</i>	10	6	1	0
Diptera	<i>Asilidae</i>	5	8	1	2
	<i>Dolichopodidae</i>	28	15	37	6
Hymenoptera	<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

Los nematodos como indicadores de resiliencia de los agroecosistemas.

En el Cuadro 4 se muestran las variables calculadas para la comunidad de nematodos en cada uno de los sitios y ecosistemas agrícolas. Entre las variables se incluyen índices de diversidad y madurez. Estos resultados muestran el cambio en las comunidades de nematodos y la utilidad de su análisis para evaluar el estado de los ecosistemas y el efecto de las alteraciones en estos. En primer lugar, se observa cómo el cultivo y las actividades agrícolas provocan la disminución en la abundancia de nematodos en el suelo, tendencia que ya ha sido observada en otros estudios (Hodda *et al.*, 1997).

En cuanto a la diversidad (índices de diversidad y de equidad), se observan pocas diferencias entre los sistemas. Aunque algunos estudios indican que las alteraciones 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).

Esto 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 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 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 a las plantas por exudados de éstas. Además, existen otros factores como el contenido de agua del suelo, tamaño de poros, pendiente entre otros factores (bióticos) los cuales dan como resultado una distribución espacial. 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 del musáceas, y esto es motivo por el cual se aplican grandes cantidades de nematicidas en las áreas del trópico donde se cultiva la fruta. Los análisis realizados durante esta investigación indicaron que las poblaciones de fitonematodos son abundantes en los sistemas de producción bananeros y plataneros perturbados y los nematodos de vida libre son bajos.

Indicadores de resiliencia microbianos

Los valores de colonias de bacterias y actinomicetos en los suelos resultaron ser mayores en los sistemas mixtos en ambos sitios (La Maná y El Carmen) que los sistemas monocultivos, posiblemente porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación necesaria para la biota del suelo (Cuadro 5). Esto está relacionado con el grado de acidez y el material orgánico en el medio, sin embargo, los resultados de estos parámetros guardan relaciones significativas, lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrientes añadidos por los fertilizantes, materia orgánica que aumenta la labor microbiana en los procesos de mineralización.

Cuadro 4. 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	2.78	2.87	2.43	2.12
Equidad de familias	0.86	0.86	0.84	0.70
Índice de madurez	3.76	2.78	4.00	1.37
Nematodos fitoparásitos (%)	29.83	73.06	47.98	95.36
Nematodos benéficos (%)	70.17	26.94	52.02	4.64

Cuadro 5. Grupos funcionales de microorganismo del suelo (UFC x 1000) presentes en dos sistemas de agrícolas (mixto y monocultivo) y localidades (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	10.2	25.8	7.55	16.5
Celulolítico	80	105	123	92
Solubilizadores de P	11.8	1.2	9.9	6.4
Fijadores de N simbiótico	28.5	15.3	8.4	6.6

En cuanto a la comunidad de hongos (Cuadro 5), ésta se diferencia claramente entre los suelos de los diferentes sitios y sistemas agrícolas, mayor población de la colonia de hongos para los monocultivos pudiéndose decir que esta población microbiana sea un factor determinante en la productividad de los suelos de bananeras. Es importante tomar 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; este es un enfoque fisiológico de la biomasa microbiana que demuestra el potencial microbiológico, y por lo tanto bioquímico, de los suelos al determinar su calidad.

Los microorganismos solubilizadores de fósforos y fijadores de nitrógeno simbiótico se nota una marcada diferencia en los sistemas mixtos en comparación con los monocultivos, así mismo, 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.

En el caso de los sistemas agrícolas con mayor

diversidad, estos favorecen el crecimiento de hongos totales, hongos micorrícicos arbusculares (HMA), fijadores de nitrógeno y actinomicetes, independiente 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 endomicorizas, reduce la colonización de raíces, como consecuencia de la fragmentación de la red del micelio fúngico (Acosta-Martínez *et al.*, 2010).

Abundancia de lombrices como indicador directo de resiliencia biológica.

De los ecosistemas agrícolas monitoreado, Los sistemas mixtos de La Maná y El Carmen se encontró la mayor cantidad de lombrices en comparación con los sistemas monocultivos (Figura 1), esto depende del manejo y laboreo que se genere en el sistema agrícola y disturbio que se genere en los sistemas agrícolas. La mayoría de herbicidas tienen poco efecto en lombrices excepto los triazines, tales como Atrazine, que son moderadamente tóxicos. 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. Berry y Karlen, (1993) indica que el laboreo puede matar a las lombrices, destruir su red de canales y alterar 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. También, muchos insecticidas y fungicidas tienen un efecto tóxico sobre las lombrices. 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.

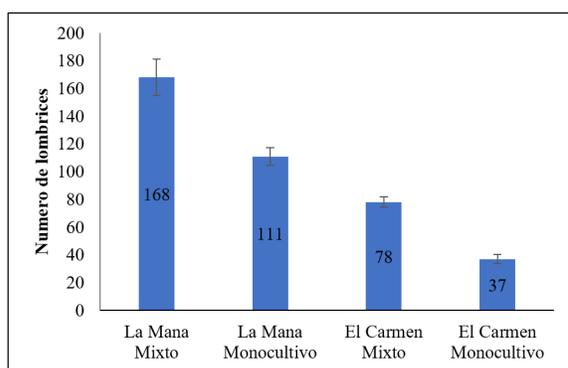


Figura 1. Abundancia de lombrices en función de los sistemas agrícolas y las localidades, con barras de error estándar.

Indicadores de sanidad del cultivo (patógeno y plagas)

Incidencia a M. fijiensis y nematodos

Los dos sistemas agrícolas y sitios mostraron diferencias marcadas durante las evaluaciones quincenales a lo largo del año de evaluación. En La Maná ambos sistemas agrícolas obtuvieron un índice porcentual bajo (> 9) debido que esta zona el cultivar (Orito) que se utiliza tiene un alto grado de resistencia al hongo (Sigatoka negra). En El Carmen se presenta un escenario distinto el cultivar (Barraganete) es muy susceptible donde el sistema monocultivo alcanzó un nivel de infección superior al 30% en comparación al sistema mixto que se registró valores bajos de 7.2% (Figura 3). A partir del mes de febrero, los valores se incrementan continuando en el mes de marzo, donde la tendencia de parte del monocultivo a tener mayores índices en los posteriores ciclos de producción debido que la temperatura, humedad relativa y precipitación tiende a incrementarse, resultados que concuerda con Guzmán, (2004) quien señalan que mientras mayor es la humedad relativa y temperatura del ambiente, mayor es la incidencia y severidad de la Sigatoka negra.

El índice de infección de nematodos tuvo

un comportamiento similar al de Sigatoka negra encontrándose niveles altos de infección en la raíz en la zona de El Carmen, monocultivo (Figura 2). 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 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.

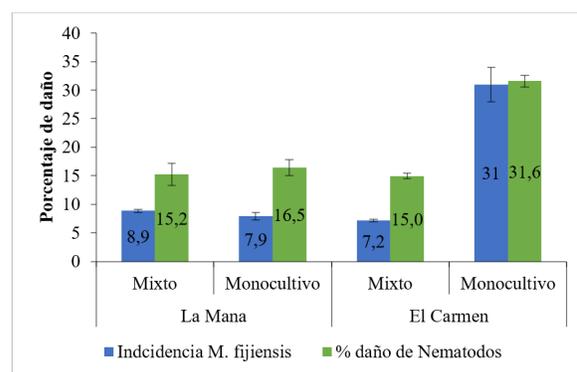


Figura 2. Índices de infección (%) a *M. fijiensis* y nematodos evaluaciones realizadas en dos sistemas de producción y dos localidades de musáceas. Con barras de error estándar.

En la Figura 3 se aprecia que el sistema monocultivo (El Carmen) presenta el mayor valor de (29 picudos) por trampa seguida por el sistema mixto (El Carmen) (10) y por último se encuentran los sistemas mixto y monocultivo de La Mana que obtuvieron un promedio de (9 y 6), 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 lo presentó el sistema monocultivo, lo cual posiblemente se deba a que un solo cultivar y en el caso de Barraganete (El Carmen) sea más apetecido y crea un ambiente más favorable para su reproducción y desarrollo, debido a que los picudos se localizan en dichos ambientes para colocar 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 realizada por las larvas de picudo negro, en realidad es donde se puede visualizar la magnitud del daño que realiza esta plaga, El ecosistema monocultivo de El Carmen se registró el mayor número de galerías (27) producida atribuyéndole a su débil tolerancia que presenta el cultivar barraganete a esta

plaga, un panorama diferente es el que presenta el sistema mixto presentando un numero de galería muy inferior, con esto queda claro que el uso de sistemas mixto conjugando cultivares o variedades resistente y tolerante minimiza en un gran porcentaje el ataque de plagas y enfermedades volviendo al sistema agrícola más estable y equilibrado y convirtiéndolos en más resilientes.

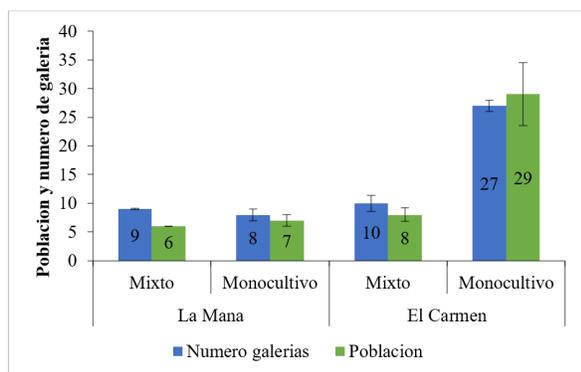


Figura 3. Población y numero de galerías de *C. sordidus*, evaluaciones realizadas en dos sistemas de producción y dos localidades de musáceas. Con barras de error estándar.

Productividad

El sistema agrícola mixto, La Maná obtuvo un rendimiento mucho más alto con un promedio de 19776 kg ha⁻¹ año⁻¹ (719 cajas de fruta); mientras que el sistema monocultivo, La Maná; alcanzo un promedio relativamente menor 13474 kg ha⁻¹ año⁻¹ (490 cajas de fruta); 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 kg ha⁻¹ año⁻¹ (715 cajas de fruta); similares resultados se obtuvieron en el sistema mixto sus promedios de rendimiento total estuvieron alrededor de los 19439 kg ha⁻¹ año⁻¹ (707 cajas de fruta) (Figura 4). 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 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).

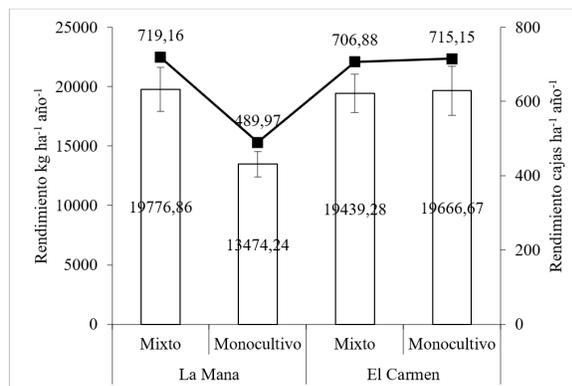


Figura 4. Rendimiento de fruta (kg ha⁻¹ año⁻¹) y numero de cajas (ha⁻¹ año⁻¹), realizadas en dos sistemas de producción y dos localidades de musáceas. Con barras de error estándar.

Conclusiones

El clima está cambiando significativamente a escala global y tendrá impactos significativos en los agrosistemas tropicales esto hará que algunos países tropicales sean más vulnerables. Por lo tanto, además de las acciones de mitigación, la resiliencia de los sistemas que podrían verse fortalecidos por las prácticas agroecológicas. De acuerdo a los resultados de este estudio, 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.

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.

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. Este estudio aporta resultados útiles para el diseño de agroecosistemas de Musáceas en zonas tropicales que ayudaran a mejorar el manejo de plagas, y contribuir así a una mejor calidad de los sistemas agrícolas.

Literatura citada

- 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.
- Altieri, M. y Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Revista Agroecología*, 8(1), 7-20.
- Araúz, L. 1998. *Fitopatología: un enfoque agroecológico*. 1era ed. San José (CR): Editorial UCR. 467 p. ISBN 9977-67-539-2.
- Araya, M. 2002. Metodología utilizada en el Laboratorio de Nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*). CORBANA (Costa Rica). 55. 97-109. <https://www.researchgate.net/publication/288946065>
- Atlas, R. y Bartha, R. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 2ª ed. Trad. Español. Addison Wesley, Madrid. pp 250-261.
- 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.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecología* 83, 14-19. <https://doi.org/10.1007/BF00324627>
- Borror and Delong's. 2004. *Introduction to the Study of Insects 7º Edition*. ISBN-10: 0030968356
- Castrillón, C. 2004. Situación actual del picudo negro del banano (*Cosmopolites sordidus* Germar) (Coleoptera: Curculionadae) 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.
- 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.
- Córdoba C, Triviño C, Toro Calderón J (2020) Agroecosystem resilience. Un marco conceptual y metodológico para la evaluación. *PLoS ONE* 15 (4): e0220349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220349>
- 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.
- Eckstein, K. & Robinson, J. 1995. Physiological responses of banana (*Musa*) AAA; Cavendish subgroup) in the subtropics. I. Influence of internal plant factors on gas exchange of banana leaves. *J. Hortic. Sci.* 70, 147–156. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515284>
- Fernandez, F. & Sharkey, M. 2006. *Introducción a los Hymenóptera de la Región Neotropical*. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gauggel, C., Sierra, F. y 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.
- 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.
- Hodda, M., Bloemers, G., Lawton, J. & Lambshead, P. 1997. The effects of clearing and subsequent land-use on abundance and biomass of soil nematodes in tropical forest. *Pedobiología* 41, 279-294.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 2018. Estación San Juan (La Maná) y Estación El Carmen (Manabí). Anuario meteorológico.
- Jarvis, D., Padoch, C. y Cooper, H. 2011. *El Manejo de la Biodiversidad en los Sistemas Agrícolas*. Publicado por Bioversity Internacional. ISBN: 978-92-9043-823-6.
- Lara, S., Vera, D., Cabanilla, M., & González, B. (2021). Desarrollo comunitario: Producción de Musácea en dos zonas de la costa ecuatoriana. *Revista De Ciencias Sociales*, 27, 340-354. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36513>
- 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.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. 2020. Cultivos y producción de plátano. Estadística de producción agrícola. <http://www.magap.gob.ec/mag01/index.php>
- Miranda, M., Peter H., Alisa, S., Termeer, E., Yann de Mey, R., Alfons, E., Julie, M., Vigani, K., Herrera, H., Phillipa N., Hansson, H., Wim, P., Thomas, S., Coopmans, I., Willemijn, A., Accatino, B., Marijn, P., Jeroen, J., Candel, D., Severini, S., Soriano, B., Carl-Johan, L., Peneva, M., Gavrilesco, C., Pytrik, R. 2019. A framework to assess the resilience of farming systems, *Agricultural Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102656>.
- Neher, D. & Campbell, C. 1994. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology* 1, 17-28.
- Quintero E., López, I. y 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*.
- 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
- Thomas, C. and Marshall, E. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 72: 131-144.
- Townsend, R. and Heuberger, J. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicidal experiments. *Plant Dis Reporter*. 27(17): 340- 343. <https://eurekamag.com/research/025/008/025008582.php>
- 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.
- Vilardebo A. 1973. Le coefficient d’infestation, critère d’évaluation du degré d’attaques des bananeraies par *Cosmopolites sordidus* Germ. Le charancon noir du bananier. *Fruits* 28 (5):417-426.
- VSN International. 2014. GenStat program Statistic. Version 17th. Hemel Hempstead, UK