



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
SEDE CAMILO CIENFUEGOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA

TÍTULO: Efecto del manejo agroecológico del suelo sobre indicadores biológicos en la finca La Paulina de Perico

AUTORA: Iliana Rubido Navarro
TUTORA: *M. Sc.* Wendy M. Ramírez Suárez

Matanzas

2018

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.

Albert Einstein

Dedicado

A mis padres por ser el motor impulsor para llegar a la meta de mis propósitos,
por ser mis guías y protectores.

A mis hermanos y sobrinos por guiarme, ayudarme y estar siempre presentes
cuando los necesito.

Agradecimientos

A todos los profesores que gracias a sus conocimientos y dedicación he llegado hasta aquí.

A mi tutora Wendy por su sacrificio, ayuda y horas de dedicación.

A mis compañeros de aula por formar parte de esta travesía.

A mis compañeras Gladis, Eliany, Annalie, Yadudelkis por ser mis cómplices y estar en los momentos difíciles.

A la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, por abrirme siempre las puertas.

Opinión del tutor

Declaración de autoría

Yo, Iliana Rubido Navarro, soy el único autor de este Trabajo de Diploma por lo que autorizo a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Para que así conste firmo la presente a los 15 días del mes de junio de 2018.

Firma de la autora

Iliana Rubido Navarro

Firma del tutor

M. Sc. Wendy Ramírez Suárez

Resumen

La presente investigación se realiza con el objetivo de evaluar el efecto del manejo agroecológico del suelo sobre los indicadores biológicos de la calidad, en la Finca La Paulina del municipio de Perico. Se caracterizó la finca a través de una encuesta socioproductiva. Las evaluaciones de la macrofauna edáfica y la respiración biológica del suelo se realizaron al final del periodo lluvioso. El muestreo de la macrofauna se realizó según la Metodología del TSBF y la respiración por el método de Isemeyer. Se evaluaron seis tratamientos: tres corresponden a la implementación de prácticas de manejo agroecológico del suelo (T2, T4 y T6) y tres a manejo convencional. La caracterización de la Finca La Paulina permitió determinar las prácticas agroecológicas del manejo de suelo que se emplean con el objetivo de incrementar la productividad. Se encontró que la introducción de prácticas agroecológicas tiene un efecto positivo sobre los indicadores biológicos de la calidad del suelo. Las distintas prácticas implementadas repercuten sobre la macrofauna edáfica, referente a la densidad de la macrofauna los tratamientos menos perturbados alcanzaron los valores más altos siguiendo el gradiente: Silvopastoril (T6) – Platanal con efluentes (T2)-Yuca+ calabaza (T4)-Platanal (T1)-Pastizal (T5) – Yuca manejo convencional (T3). Por su parte en cuanto a la biomasa, no existió una diferencia marcada para los tratamientos con un manejo similar donde se implementaron las prácticas agroecológicas (T2, T4 y T6) y la respiración mostró una menor variabilidad en correspondencia con los niveles de materia orgánica presentes en cada uno de los tratamientos.

Índice

Introducción.....	1
Problema.....	4
Hipótesis.....	4
Objetivos	4
Capítulo I Revisión bibliográfica	5
1.1 Degradación de los suelos.....	5
1.2 La degradación de los suelos en Cuba.....	6
1.3 Estado actual de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba	8
1.4 La calidad de los suelos.....	9
1.5 La calidad de los suelos y la sustentabilidad agrícola.....	11
Capítulo II Materiales y métodos	26
2.1 Descripción del área	26
2.1.1 Localización de la finca en estudio	26
2.1.2 Clima.....	27
2.1.3 Suelo.....	28
2.1.4 Análisis estadístico	32
Capítulo III Resultados y discusión	33
3.1 Caracterización general de la finca La Paulina.....	33
3.1.1 Composición y riqueza taxonómica de la macrofauna edáfica.....	39
3.1.2 Densidad de la macrofauna.....	44
3.1.3 Biomasa de la macrofauna.....	46
3.1.4 Respiración del suelo.....	48
Conclusiones.....	52
Recomendaciones.....	53

Introducción

En la actualidad las prácticas agrícolas deben ajustarse a la diversidad de la naturaleza y al contexto donde se desarrolla la agricultura, en vez de doblar y retorcer la naturaleza y la humanidad para que se ajuste a la arquitectura industrial. Pero primero, el ser humano ha de moverse más allá de pensar sobre lo orgánico como un medio de producción de alimentos, para ver lo orgánico como una filosofía para sostener la vida humana sobre la tierra y una filosofía por calidad de vida.

El mantenimiento de niveles adecuados de producción agrícola, junto con la conservación de los recursos naturales es hoy uno de los mayores desafíos que deberá enfrentar la humanidad en las próximas décadas (Sarandón y Flores, 2014).

El suelo es un recurso no renovable que se encuentra seriamente amenazado a escala global significativamente debido a la erosión, la pérdida del carbono orgánico y el desequilibrio de nutrientes, según la FAO (2016).

La degradación de los suelos implica la disminución paulatina de los rendimientos agrícolas y es considerada un serio problema para la humanidad; el 33 % de los suelos en el mundo se encuentra de moderado a altamente degradado, debido a la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación, la contaminación química y el agotamiento de los nutrientes (Vargas, 2015). Los suelos de Latinoamérica poseen 45 % de pérdida de su fertilidad natural, mientras que en Cuba el 43 % está afectado por la erosión y el 70 % presenta bajo contenido de MO, entre otros factores que denotan su pérdida de fertilidad y la necesidad de un manejo que permita su recuperación, mejora y conservación.

El muestreo y el análisis o el examen visual del suelo para evaluar su estado y potencial de uso se practica ampliamente desde la parcela hasta las escalas nacionales. Sin embargo, la elección de los atributos relevantes del suelo y la interpretación de las mediciones no son sencillas, debido a la complejidad y la especificidad del sitio de los suelos, los efectos heredados del uso previo de la

tierra y las compensaciones entre los servicios ecosistémicos (Bünemann *et al.* , 2018).

En este sentido Birgé *et al.* , (2016) plantearon que los servicios ecosistémicos provistos por el suelo incluyen la regulación de la atmósfera y el clima, la producción primaria (incluyendo la agrícola), procesamiento de desechos, descomposición, conservación de nutrientes, purificación de agua, control de erosión, recursos médicos, control de plagas y mitigación de enfermedades. La producción simultánea de estos múltiples servicios surge de interacciones complejas entre las diversas comunidades edáficas y a través de múltiples escalas. Cuando un sistema está mal administrado, pueden producirse pérdidas no lineales y persistentes en los servicios de los ecosistemas.

El suelo constituye un sistema biológico único donde existe una gran diversidad de organismos que desempeñan múltiples funciones clave para los ecosistemas (Nannipieri, 2014). Al respecto Tsiafouli *et a.*, (2015), plantean que la biodiversidad del suelo desempeña un papel clave en la regulación de los procesos que sustentan la entrega de bienes y servicios de los ecosistemas terrestres. Además, se ha demostrado que el aumento de la intensidad agrícola reduce la biodiversidad de los suelos.

La calidad del suelo es uno de los tres componentes de la calidad ambiental, además de la calidad del agua y del aire (Andrews *et al.*, 2002). Doran y Parkin, (1994, 1996) definen la calidad del suelo como "la capacidad de un suelo para funcionar dentro del ecosistema y los límites del uso de la tierra para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud animal.

Teniendo en cuenta que los sistemas de producción agropecuarios se definen a partir de las relaciones que existen entre el clima, el suelo, la planta y las prácticas de manejo impuestas por el hombre, es necesario el uso de indicadores capaces de identificar los cambios ocurridos y que permitan estudiar su variabilidad en el tiempo.

Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo deterioro ambiental (Ferrerias *et al.*, 2009). Los indicadores de la

calidad del suelo deben reflejar los procesos del suelo, integrar las diferentes propiedades del mismo y, por tanto, deben ser sensibles a los cambios ambientales (Doran y Parkin, 1994).

Las prácticas agroecológicas influyen notablemente en el desarrollo de comunidades de organismos edáficos altamente diversificadas (Sarandón y Flores, 2009). En este sentido Rousseau *et al.*, (2013) plantean que la macrofauna es considerada un indicador biológico sensible de los impactos del uso del suelo en la calidad edáfica; del mismo modo la composición de las comunidades de la macrofauna, así como su abundancia, son indicadores de la biodiversidad y la intensidad de las actividades biológicas (Velásquez *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2011).

Por su parte, Veresoglu *et al.*, (2015) plantearon que la biodiversidad del suelo también debía ser considerada como guardián de la seguridad alimentaria y los servicios de los ecosistemas frente al cambio climático, debido a una estructura más compleja y mucho más resistente.

El gobierno cubano ha prestado especial énfasis a la conservación y uso sostenible de los suelos. En la Ley No. 81 de Medio Ambiente, en su artículo 106, inciso b, se indica que se deben adoptar las medidas correspondientes para evitar formas de degradación de los suelos y en el inciso d, se orienta realizar las prácticas de conservación y rehabilitación que se determinen, de acuerdo con las características del suelo, sus usos actuales y perspectivas (Ley 81, 1997).

El manejo agroecológico del suelo y de la producción agrícola en general, ha demostrado ser una vía alternativa para la producción sostenible de alimentos, evitando la degradación del medio ambiente y/o contribuyendo a su conservación y recuperación. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados en los últimos 20 años para fomentar este tipo de producción, aún no se observan los impactos esperados, dado fundamentalmente por la poca experiencia práctica en este manejo.

Es por eso que se hace necesario realizar la evaluación del estado actual de los suelos de los agroecosistemas e implementar medidas para su conservación y mejoramiento, sin dejar de producir y al mismo tiempo, fomentar el conocimiento y

el intercambio con los productores, para de manera conjunta, mantener e incrementar los rendimientos, disminuyendo el impacto ambiental del manejo agrícola del suelo.

La presente investigación se corresponde con una de las tareas del proyecto Manejo agroecológico para la recuperación de la productividad de suelos agrícolas degradados que pertenece al programa Uso sostenible de los componentes de la Diversidad Biológica en Cuba y es liderado por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Teniendo en cuenta estos elementos, se formula el siguiente problema científico:

Problema: ¿Cómo determinar el efecto del manejo agroecológico del suelo sobre los indicadores biológicos en la finca La Paulina?

Hipótesis:

La introducción de prácticas del manejo agroecológico de los suelos en la finca la Paulina permitirá evaluar su efecto sobre los indicadores biológicos de la calidad del mismo.

Objetivo general:

- Evaluar el efecto del manejo agroecológico del suelo sobre los indicadores biológicos de la calidad en la finca La Paulina de Perico.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el estado actual de la calidad del suelo en la finca La Paulina.
- Determinar el efecto de la introducción de prácticas agroecológicas sobre los indicadores biológicos de la calidad del suelo.

Capítulo I Revisión bibliográfica

1.1 Degradación de los suelos.

La degradación de los suelos es una de las crisis más graves que enfrenta el planeta, por lo que es necesario el estudio de los cambios ocurridos en esta escala global, regional, nacional y local.

El suelo es considerado como un medio de soporte de las plantas y otros organismos, lo que le convierte en uno de los factores más importantes para el correcto desarrollo de los cultivos agrícolas. Coyne (2001) define el suelo como un consorcio de células vivientes contenidas en una matriz organomineral.

Se estima que en los últimos 50 años 2/3 de las tierras agrícolas del mundo han sido afectadas por la degradación de los suelos. Unos 305 millones de ha (2,3 % del total de tierras y el 21 % de las tierras agrícolas) han perdido completamente su capacidad productiva y de control ambiental.

Existen evidencias de que la degradación de los suelos en América Latina está creciendo debido a diferentes causas y combinaciones de ellas, que varían de una región o país al otro. Los procesos de erosión afectan en diferentes grados casi un 50% de las tierras cultivadas y casi dos millones de hectáreas (ha) de tierras con pastos. Se considera que ya más de 300 millones de (ha) están afectadas por diferentes tipos y grados de degradación de suelos, entre ellas 100 millones por deforestación y alrededor de 80 millones por sobrepastoreo (Pla, 2007).

La deforestación, el sobrepastoreo, el abuso en el uso y la conversión de tierras vírgenes a la agricultura han provocado la disminución de la calidad física, química y biológica de los recursos del suelo en todo el mundo. Con el avance de la agricultura, los suelos han comenzado a degradarse a una tasa alarmante debido a la implementación de prácticas inapropiadas. Los incrementos en las últimas décadas de la superficie cultivada, las prácticas de monocultivo y de aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, han ocasionado pérdidas en los contenidos de materia orgánica; así como incrementos en la erosión, compactación y contaminación del agua superficial y subterránea (Giuffré *et al.* , 2008).

Estimar la calidad de los suelos es importante, puesto que contribuye a establecer la sostenibilidad de los diferentes sistemas de manejo.

Generalmente, los procesos degradativos que sufren los suelos se deben al manejo inadecuado, el cual provoca la ruptura del equilibrio natural e impide la sostenibilidad del agroecosistema. Por ello las actividades humanas, a través de las distintas prácticas de manejo y tecnologías aplicadas en la agricultura, ejercen importantes efectos en la calidad de los suelos.

Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo deterioro ambiental. Existen algunas prácticas que deterioran la calidad de los suelos, entre ellas la conversión de bosques y pastizales en tierras de cultivo, así como, el cambio de uso del mismo, debido a la reducción de la materia orgánica del suelo, el cambio de la distribución y la estabilidad de los agregados y la susceptibilidad a la erosión (Ferrerías *et al.*, 2009).

Debido a lo anteriormente planteado es necesario evaluar la calidad del suelo a través de indicadores, los cuales constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (García *et al.*, 2012).

1.2 La degradación de los suelos en Cuba.

Cuba tiene una gran variedad de suelos, en la Clasificación de los suelos de Cuba, 2015, se reconocen 15 agrupamientos (Hernández *et al.*, 2015), los cuales tienen en común el proceso principal de formación y su grado de evolución, en relación con los factores de formación. Los suelos predominantes son los Pardos sialíticos (27,0%), los Ferralíticos (16,7%) y los Fersialíticos (11,6%) respecto al total (Instituto de Suelos, 1999).

La degradación de los suelos, con la consiguiente disminución paulatina de los rendimientos agrícolas es un serio problema a nivel mundial. En Cuba se plantea que la degradación de los suelos es el principal problema de medio ambiente. Según los estudios realizados sobre la calidad de los suelos, existen factores que limitan el normal desarrollo de los cultivos, que no siempre se evidencian por un

proceso evolutivo natural, donde el hombre tiene gran influencia por errores en el proceso de intensificación de la agricultura (CITMA, 2010).

Tradicionalmente en Cuba se ha utilizado un enfoque agronómico más que ecológico en el manejo de los suelos: aumento de la productividad mediante la apertura de nuevas tierras de cultivo (desmonte de áreas vírgenes), utilización de fertilizantes para compensar las pérdidas de fertilidad, introducción de variedades mejoradas y uso de maquinarias cada vez más complejas en el intento de hacer más eficientes las labores agrícolas. Sin embargo, los esquemas de desarrollo no valoraban, al parecer, en toda su magnitud, los efectos que tienen las actividades de este tipo, ni de sus implicaciones a largo plazo (Febles *et al.*, 2001).

Según información ofrecida en el Congreso de Suelos en el 2018 el 5,4% de los suelos está catalogado como muy productivo, el 17,8% productivo, el 30,8% poco productivo y el 46% muy poco productivo.

Por su parte Rodríguez (2015) reporta la situación de los factores limitantes de los suelos de Cuba. (Tabla 1)

Tabla1. Factores limitantes en los suelos de Cuba

Factor limitante	% del área agrícola
Erosión (de fuerte a media)	43 %
Mal drenaje	40 %
Baja Fertilidad	45 %
Bajo contenido MO	70 %
Baja retención de humedad	37 %
Compactación	24 %
Salinidad y Sodicidad	15 %
Pedregosidad	12 %

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos y el suelo, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles que contribuyan a la conservación del medio ambiente (Cervantes, 2004).

1.3 Estado actual de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba.

Los procesos de degradación que se presentan en los suelos de Cuba (principalmente en los de composición ferralítica de la región occidental del país), debido a la intensificación de las actividades agrícolas y pecuarias, así como a su mal manejo, ejercen un fuerte impacto en los cambios de pH, el grado de porosidad, y la disminución del contenido de materia orgánica y de la estabilidad estructural de los agregados (Ponce de León, 2012), los cuales son factores primordiales en el mantenimiento de la productividad de los agroecosistemas, de acuerdo con lo planteado por Marsi y Ryan (2006).

Según estudios realizados por Hernández *et al.*, (2013), en los últimos 20 años se viene prestando atención a los problemas relacionados con la influencia antropogénica en el cambio de las propiedades de los suelos, sobre todo en regiones tropicales por el uso intensivo y continuo en la agricultura. En Cuba estas investigaciones están poco abordadas, por lo que en el presente trabajo se estudia esta problemática en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados que ocupan un área cerca de 150 000 hectáreas en la antigua provincia Habana, resultando por sus características de los mejores suelos agrícolas del país. Sin embargo, han estado sometidos durante más de dos siglos a la explotación agrícola, inicialmente con cultivos como tabaco, caña de azúcar, café y posteriormente con viandas, granos, vegetales y hortalizas, con modelos en ocasiones de altos insumos, sobre todo en el período de 1975-1990.

Estudios desarrollados por Hernández *et al.*, (2010), confirmaron el aumento de pH de los suelos de la llanura Habana-Matanzas debido a su degradación, conjuntamente con la aplicación de riego con aguas duras y el cambio climático.

Las causas de la elevación del pH de los suelos Ferralíticos Rojos, el aumento de los contenidos de cationes intercambiables y el deterioro de la relación

calcio/magnesio se han expresado diversas hipótesis, relacionadas con la calidad de las aguas empleadas para el riego en la Llanura Roja de Habana-Matanzas. Además, se ha especulado acerca de cambios más o menos profundos en la mineralogía de los suelos (Hernández *et al.*, 2006).

La solución de los principales problemas que afectan a los suelos agrícolas de Cuba, debe ser vista con un enfoque sistémico e integrador y no como una solución aislada, pues se concatenan factores naturales y antrópicos (Gerdermann y Nicolson, 1963). Es importante indicar que la sustentabilidad de los sistemas de producción, depende, fundamentalmente, del mantenimiento de la productividad de los suelos a través del desarrollo, la restauración y mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas, regulada en gran medida por la capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y las actividades de los microorganismos, que deben ser favorecidas por las acciones de manejo que se realicen (Hernández *et al.*, 2005).

1.4 La calidad de los suelos.

Algunos autores plantean que los suelos son un recurso esencial en múltiples servicios ecosistémicos que proveen beneficios a la población humana. Estos servicios ecosistémicos (SE) incluyen el suministro de nutrientes para las plantas, el mantenimiento de la estructura del suelo y la regulación del clima, siendo además un importante componente de la biodiversidad en los ecosistemas (ej. comunidad de macro invertebrados) (MEA, 2005).

La historia del concepto de calidad del suelo muestra que está arraigada en dos enfoques diferentes que ponen más énfasis en la inherente las propiedades del suelo o sobre los efectos del manejo humano. El más antiguo mención en la literatura científica es por Mausel (1971), que definió el suelo calidad como "la capacidad de los suelos para producir maíz, soja y trigo bajo condiciones de gestión de alto nivel.

La calidad del suelo es uno de los tres componentes del medio ambiente, además de la calidad del agua y el aire (Andrews *et al.*, 2002). La calidad del agua y aire se define principalmente por su grado de contaminación que impacta directamente

sobre el consumo humano y animal y la salud, o sobre ecosistemas (Carter *et al.*, 1997; Davidson, 2000). Por el contrario, la calidad del suelo no se limita al grado de contaminación, sino definido más ampliamente como "la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los ecosistemas y los límites del uso de la tierra para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas y los animales " (Doran y Parkin, 1994, 1996). Como plantearan Doran y Parkin (1994) explícitamente, la salud animal incluye la salud humana.

Con esta definición queda reflejado la complejidad y la especificidad del sitio de la parte subterránea de los ecosistemas terrestres, así como los numerosos enlaces entre las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos basados en el suelo. De hecho, la calidad del suelo es más compleja que la calidad del aire y el agua, no solo porque el suelo constituye fases sólidas, líquidas y gaseosas, también porque los suelos pueden usarse para una mayor variedad de propósitos (Nortcliff, 2002).

Recientemente relacionado con el concepto de calidad de suelo ha surgido un nuevo concepto con un enfoque sobre capacidad del suelo; se estudia la capacidad del suelo para explorar sus potencialidades funcionales y es definida como la capacidad intrínseca de un suelo para contribuir a los servicios del ecosistema, incluida la producción de biomasa (Bouma *et al.*, 2017).

Los indicadores de la calidad del suelo deben reflejar los procesos del suelo, integrar las diferentes propiedades del mismo y, por tanto, deben ser sensibles a los cambios ambientales (García *et al.*, 2012). Existen diversos parámetros considerados clave para determinar la calidad del suelo, aquellos de tipo físico (textura, etc.), fisicoquímicos (pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)) químicos (concentración de elementos asimilables, etc.), y de naturaleza bioquímica (respiración microbiana).

Muchos estudios (Campitelli *et al.* , 2010) concuerdan que la materia orgánica del suelo (MOS) es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad, ya que la MOS tiene un efecto beneficioso sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo al mejorar la estructura,

umentar la capacidad de intercambio catiónico, la retención de agua, el poder tampón, así como, reducir la acción de sustancias tóxicas, y actuar como un fertilizante de acción lenta que favorece los ciclos biológicos de los nutrientes.

La selección de los indicadores de calidad del suelo debe basarse en los vínculos mecanicistas entre los indicadores y las funciones del suelo o los servicios del ecosistema que a veces se han propuesto (Creamer *et al.*, 2016).

Sin embargo, últimamente se han desarrollado una variedad de índices multiparamétricos que establecen claramente las diferencias entre los sistemas de gestión, la contaminación del suelo o la densidad y el tipo de vegetación. Estos índices integran diferentes parámetros, entre los cuales los más importantes son los biológicos y químicos, tales como el pH, materia orgánica, C de la biomasa microbiana y la respiración o actividad enzimática que dan una respuesta más certera sobre el estado del suelo (Moreno *et al.*, 2015).

1.5 La calidad de los suelos y la sustentabilidad agrícola.

La sustentabilidad de los sistemas de producción depende, fundamentalmente, del mantenimiento de la productividad de los suelos a través del desarrollo, la restauración y el mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas, reguladas en gran medida por la capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y las actividades de los microorganismos, las cuales deben ser favorecidas por las acciones de manejo que se realicen. (Hernández *et al.*, 2005).

La calidad del suelo es un componente crítico del funcionamiento del ecosistema y la sostenibilidad agrícola, debido a que no existe un consenso sobre cómo definir la calidad del suelo, ni sobre la forma de evaluar y valorar los impactos de su manejo. (Garrigues *et al.*, 2012).

En cualquier tipo de sistema edáfico, la calidad del suelo se puede mantener, degradar o mejorar (Karlen *et al.*, 2003), y algunas actividades agropecuarias pueden favorecer su degradación, mientras que otras contribuyen a su mantenimiento o incluso su mejora. Por ello la sostenibilidad agrícola está ligada al mantenimiento de la calidad medioambiental, del que es parte intrínseca la calidad del suelo (Figura 1).

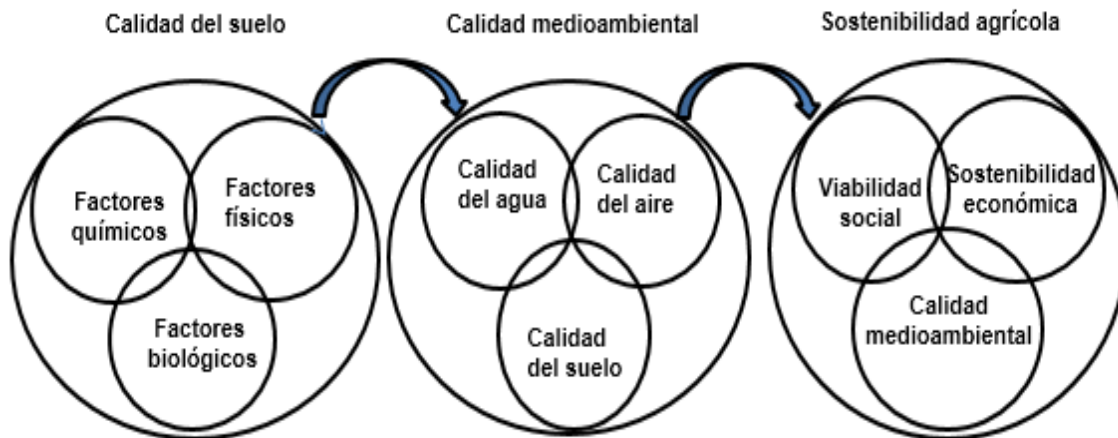


Figura 1. Esquema de los diversos factores englobados en la sostenibilidad agrícola.

Fuente: Karlen *et al.*, (2003).

La sostenibilidad de los ecosistemas depende de la calidad del suelo, la cual integra los componentes físicos, químicos y biológicos y las interacciones entre ellos. Por tal motivo es necesaria la reducción de los fertilizantes químicos, la disminución de la deshidratación del suelo y la gestión de los servicios que brindan los organismos del suelo, como factores que conducen a la eliminación de la degradación. Una buena calidad del suelo determina la sostenibilidad agrícola y la calidad del medio ambiente (Bloem *et al.*, 2008).

Según García *et al.*, (2012), aún no se reconocen todas las funciones que realiza el suelo, por lo que el concepto general de suelo fértil se refiere más bien a sus propiedades químicas, específicamente a la disponibilidad de los macroelementos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio). En los últimos años se han propuesto nuevas definiciones que integran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como su capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la contaminación medioambiental.

La calidad del suelo está determinada por funciones simultáneas, tales como: sostener la productividad de los cultivos, mantener la calidad del agua y del aire y proporcionar condiciones saludables para las plantas, los animales y el hombre

dentro de los límites de un ecosistema. Por lo tanto, la relación entre la calidad del suelo y la sostenibilidad agrícola es la producción de alimentos en un suelo con capacidad para funcionar, en un proceso de producción económicamente viable, ambientalmente seguro y socialmente aceptable. En este contexto la calidad del suelo se convierte en un indicador de manejo (Herrick, 2000).

Al emplear la calidad y la salud del suelo como herramientas para evaluar la sostenibilidad es necesario tener en cuenta las escalas espacio temporales, las cuales dependen de las propiedades inherentes (asociadas con los factores formadores) y de las dinámicas (que pueden ser afectadas por acciones humanas), ya que el recurso suelo y los ecosistemas que soporta son dinámicos en el espacio y en el tiempo, lo cual acarrea limitaciones e incertidumbres acerca del conocimiento que de estos suelos se tenga (García, 2008).

En el control y seguimiento de la calidad del suelo es necesario definir y fijar los indicadores y valores de referencia que permitan comparar su evolución a lo largo del tiempo, así como el impacto que la gestión puede tener sobre ella y su recuperación tras cualquier eventualidad. Los indicadores son propiedades del suelo capaces de caracterizar el sistema de forma adecuada y suficientemente simples para ser monitoreados (Dale *et al.*, 2007).

Para la medición de la calidad dinámica del suelo se utilizan indicadores, los cuales son representados por aquellas variables sensibles al deterioro o a la recuperación. Estos indicadores permiten expresar el estado actual del recurso suelo y su tendencia (Wilson *et al.*, 2007).

La cuantificación de la calidad del suelo con indicadores físicos, químicos o biológicos es discutida por Doran y Jones (1996) y De Kimpe y Prasittiketh (2002). En general, se deben seguir cinco criterios: que los indicadores sean sensitivos a variaciones en el manejo, que estén correlacionados con las funciones del suelo, que sean útiles para esclarecer procesos del agroecosistema, que sean útiles y comprensibles para los que manejan el suelo, y que sean fáciles y accesibles de medir (Doran y Zeiss 2000). También se debe considerar el uso de indicadores

que no sean tan precisos, mientras proporcionen información generalizable y que pueda ser extrapolada a diferentes escalas o regiones (Karlen *et al.*, 1997).

Con el uso de los indicadores, se propone relacionar la condición del suelo actual con las tendencias o cambios que pueden inducirse de dicha condición. También es posible priorizar parámetros y relacionarlos con las funciones del suelo; así como fijar los valores críticos que indiquen las afectaciones en el sistema (Morón, 2004).

Es por esto que la selección de los indicadores adecuados constituye la clave para el éxito en el monitoreo de la evaluación de la calidad del suelo.

De lo expuesto anteriormente se evidencia la necesidad del uso de indicadores de la calidad del suelo que sean de simple medición y con importancia local, para su utilización en la evaluación y el seguimiento en el tiempo.

A pesar de que el estudio de cada uno de los indicadores se realice de manera independiente entre todos ellos existe una interrelación y dependencia que hace que del resultado de algunos se pueda interpretar el comportamiento de otros (Mortola y Lupi, 2011).

1.5 Indicadores biológicos de la calidad del suelo.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Es necesario contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de la calidad del suelo, como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables (Dalurzo *et al.*, 2002).

Para determinar la calidad de suelos es necesario usar tres tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos. Estos son importantes para analizar de forma conjunta las características y funciones de un suelo. Los indicadores físicos y químicos se consideran relativamente estables, ya que los cambios en un sistema tardan en modificar, apreciablemente, ese tipo de propiedades y por tal razón no justifica medirlos en intervalos cortos; en cambio, los biológicos son más sensibles

e integradores y por eso se consideran los mejores para detectar cambios drásticos en un suelo (García y Hernández, 2003).

La importancia que se le concede a los indicadores biológicos de la calidad del suelo es debido a la rapidez de respuesta frente a las perturbaciones variables introducidas en el ecosistema suelo y sobre todo por su carácter integrador (Alkorta *et al.*, 2003), estos indicadores reflejan cambios simultáneos en las características físicas, químicas y biológicas, por tanto, tienen un gran potencial para el diagnóstico de los procesos de degradación que ocurren en el suelo. Monitorear los cambios a través de estos indicadores es la clave para poder determinar si la calidad de un suelo, que esté bajo un determinado tipo de uso y sistema de manejo, mejora, permanece estable o decrece (Shukla *et al.*, 2006).

La determinación de los indicadores biológicos de la calidad del suelo es difícil; sin embargo, los indicadores biológicos deben ser considerados en cualquier evaluación, debido a su carácter integrador (Francaviglia, 2008).

La evaluación de las propiedades biológicas del suelo se relaciona estrechamente con la descomposición de la MO que se deriva de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de esta, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Astier *et al.*, 2002).

Velásquez *et al.*, (2007), presentaron un indicador de calidad de suelos que evalúa los servicios del ecosistema del suelo a través de un set de 5 subindicadores y además los combina en un único Indicador General de Calidad de suelos (GISQ, sus siglas en inglés). La información empleada para el desarrollo de esta metodología es derivada de 54 propiedades comúnmente usada para describir aspectos multifacéticos de la calidad de suelos. El diseño y cálculo del indicador fue basado en secuencias de análisis multivariados. El GIQS permite la identificación de prácticas agrícolas sostenibles y la medición de los servicios ambientales del suelo.

Por su parte Ruiz *et al.*, (2011) desarrollaron un indicador biológico de la calidad del suelo basado en las comunidades de invertebrados (IBQS), mediante el cual

demonstraron el valor de la macrofauna edáfica como indicador de la calidad del suelo (Hernández y Castaño, 2006; Lavelle y Spain, 2001), ya que los parámetros físicos y químicos, por sí solos, son inadecuados para predecir la condición del suelo. La integridad biológica se ha evaluado a través de los indicadores biológicos, los cuales deben ser robustos, fáciles de medir y económicos; esto no es una tarea fácil, pero como la implementación del IBQS cumple con los parámetros anteriores es una herramienta efectiva para evaluar el estado ecológico de los suelos.

Otros estudios abarcan la evaluación de indicadores biológicos como por ejemplo el C y N de la biomasa microbiana [CBM y NBM], el potencial de mineralización del N mediante incubaciones anaeróbicas [PMN-IA], actividad respiratoria [AR], cociente metabólico microbiano [qCO₂], CBM/Corg, NBM/Nt, PMN-IA/Nt y productividad [Prod.] de cultivos (Fontana *et al.*, 2015).

La actividad biológica en el suelo se concentra en sus capas superficiales y tiene una importante función para el mantenimiento del balance dinámico de los procesos físicos, químicos y biológicos, que definen la calidad de un suelo. Los organismos del suelo realizan una parte esencial del reciclaje de nutrientes (Lavelle *et al.*, 1992), actúan como secuestradores de carbono y gases que producen el efecto invernadero, regulan los regímenes hídricos de las cuencas y promueven la adquisición de nutrientes por las plantas, entre otros importantes servicios ecosistémicos. Por ello constituye una prioridad de las ciencias del suelo el estudio de la biodiversidad edáfica en los ecosistemas agroproductivos.

En este sentido, Lok (2005) señala que la biota del suelo tiene marcada influencia en la dinámica de los nutrientes, ya que sus niveles tróficos son los encargados de descomponer paulatinamente los residuos orgánicos, con los que posibilitan el reciclaje de nutrientes. Estos organismos también influyen sobre las características físicas del suelo, a través de la formación de túneles y galerías que aumentan la porosidad y la infiltración del agua, y modifican y crean agregados. Además son capaces de mantener sus niveles poblacionales, en límites no

nocivos para las plantas, por medio de interrelaciones como el parasitismo, la depredación y la competencia.

Por su parte Socarrás (2013) plantea que el número, la densidad y el balance de los grupos de la mesofauna también permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema. Estos grupos son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las que provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo. Por ello la mesofauna edáfica es considerada como un buen indicador biológico de su estado de conservación.

Asimismo, para predecir el estado de degradación de un suelo Cabrera (2012), resalta el papel de la macrofauna como indicador de la calidad biológica del suelo. Tanto su riqueza taxonómica como su densidad, biomasa y composición funcional cambian en dependencia del efecto de diversos usos y manejos de la tierra.

La macrofauna está compuesta por invertebrados que poseen una longitud igual o mayor de 10 mm y un ancho de cuerpo mayor de 2 mm, por lo que se pueden detectar a simple vista. Vive también dentro del suelo o inmediatamente sobre él y reúne esencialmente a las lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos y diversos insectos (Cabrera *et al.*, 2017).

1.6 La macrofauna edáfica como indicador de calidad de suelos.

La macrofauna del suelo juega un papel importante en los procesos biológicos y fisicoquímicos del suelo. Ella contribuye en el mantenimiento de condiciones favorables para las plantas y los microorganismos del suelo (Brown *et al.*, 2000; Lavelle *et al.*, 2006). También influye en la agregación del suelo y en propiedades tan importantes como la infiltración y el almacenamiento de agua y carbono (Lavelle *et al.*, 2006). La degradación de los ecosistemas está asociada a la pérdida de biodiversidad y a los servicios que esta provee, por lo tanto, es necesario desarrollar herramientas que permitan evaluar la calidad del suelo con

el fin de desarrollar prácticas más sustentables (MEA, 2005; Pulleman *et al.*, 2012).

Por su parte Lavelle *et al.*, (1994) afirman que de todos los órdenes de la macrofauna edáfica ellos los más diversos son los escarabajos (mayor número de especies), aunque en abundancia predominan las hormigas y las termitas y en biomasa, las lombrices de tierra (En la tabla 2 se muestra, de manera general, la clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.

Filo	Clase	Subclase	Orden
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Haplotoxida
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Araneae
Arthropoda	Insecta	Pterygota	Blattodea por Dictyoptera
Arthropoda	Malacostraca	Eumalacostraca	Isopoda
(Subfilo Crustacea)			
Arthropoda	Diplopoda	Varios	Varios
(Subfilo Myriapoda)			
Arthropoda	Chilopoda	Pleurostigmophora	Varios
(Subfilo Myriapoda)			
Mollusca	Gastropoda	Prosobranchia y Pulmonata	Varios

Fuente: Brusca y Brusca (2003).

En particular Zerbino *et al.*, (2008) plantean que las comunidades de la fauna edáfica están determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos

cambios. Dicha fauna responde al manejo en escalas de tiempo, de meses o años, por lo que ha sido destacada por su potencial como indicador biológico de la calidad del suelo.

Los macroinvertebrados del suelo desempeñan un importante rol en el funcionamiento de los ecosistemas, especialmente en la pedogénesis y en la fertilidad del suelo (Moura *et al.*, 2015), estos organismos intervienen en el ciclo de nutrientes, en la formación y agregación de la estructura del suelo y en la descomposición de la materia orgánica (Bottinelli *et al.*, 2015). Como resultado de esta actividad se mejoran la aireación, la dinámica del agua (infiltración y percolación), y las condiciones para el crecimiento de la raíz en el suelo (Barros *et al.*, 2004). La productividad de los cultivos en el ecosistema agrícola depende de la abundancia y la biodiversidad de la macrofauna del suelo (Lavelle *et al.*, 2006).

Los individuos de la macrofauna se caracterizan por operar en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños. Tienen ciclos biológicos largos (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión (Gassen, 1996); además representan una fuerza motriz en la descomposición y reciclaje de los nutrientes (Höfer *et al.*, 2001).

Velásquez *et al.*, (2009) plantean que los organismos que conforman la macrofauna edáfica son agentes determinantes en otros procesos como el movimiento y la retención del agua, el intercambio gaseoso, las propiedades químicas y nutricionales del suelo, la regulación de recursos para otros organismos y la activación de la microflora edáfica a través de interacciones mutualistas con esa biota.

La actividad de la macrofauna es considerada muy importante para las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo e influye en los diversos procesos que ocurren en este, a la vez que ejerce su acción en la productividad del ecosistema. Por ello, el estudio de la composición de la comunidad de la macrofauna es trascendental para el conocimiento holístico del suelo y su funcionamiento.

En este sentido, Lavelle *et al.*, (2006) plantearon que un enfoque integral para evaluar la calidad del suelo implica la evaluación de las comunidades de organismos que están directamente involucrados en una serie de procesos, que determinan la capacidad del suelo para ofrecer los servicios del ecosistema. Los macroinvertebrados han sido identificados como actores claves en la prestación de servicios de los ecosistemas del suelo, especialmente en el secuestro de carbono, el reciclaje de nutrientes, la infiltración y almacenamiento del agua, el soporte físico para las plantas y la creación de hábitats para otros organismos más pequeños.

La composición de las comunidades de la macrofauna del suelo y su abundancia son indicadores de la biodiversidad del suelo y de la intensidad de las actividades biológicas (Velásquez *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2011).

La interrelación existente entre las funciones de la macrofauna y su estrecha relación con las características físico químicas y biológicas del medio edáfico, han sido las razones para su uso creciente como indicador sensible y temprano de los impactos del uso de la tierra sobre la calidad del suelo (Rosseau *et al.*, 2013).

1.7 Composición funcional de la macrofauna edáfica.

La actividad que desempeñan los diferentes grupos funcionales que componen la macrofauna del suelo, entre ellos los ingenieros del suelo, los detritívoros, los herbívoros y los depredadores, permite la regulación de los procesos edáficos y el funcionamiento y equilibrio del ecosistema (Cabrera *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista funcional la macrofauna se agrupa en cuatro grupos fundamentales: ingenieros del suelo, detritívoros, herbívoros y depredadores, de acuerdo con Lavelle (1997) y Zerbino *et al.*, (2008). Los ingenieros involucran grupos consumidores de la MO como las lombrices, las termitas y las hormigas, y tienen un impacto específico en el interior del suelo a partir de la transformación de las propiedades físicas, con lo que favorecen la formación de agregados y la estructura del suelo, el movimiento y la retención del agua; así como el intercambio gaseoso. Los detritívoros tienen un papel a nivel de la superficie del suelo en la fragmentación de la hojarasca, de modo que inician el proceso de

descomposición y aumentan la superficie de exposición para el ataque de la microflora. Los herbívoros y los depredadores intervienen a otros niveles en la cadena trófica; influyen en diferentes procesos edáficos y permiten el funcionamiento y equilibrio del ecosistema (Robaina, 2010).

Para la estimación de los efectos funcionales de la macrofauna es necesario una evaluación de los patrones de distribución espacial de estos organismos (Gholami *et al.*, 2016). Sin embargo, existe poca información sobre la distribución espacial de la biodiversidad del suelo, y esto dificulta la construcción de modelos apropiados para explicar la estructura de estas comunidades (Bardgett y Vander, 2014).

Granados y Barrera (2007) plantearon que los primeros colonizadores de la macrofauna edáfica son aquellos capaces de explotar el contenido de MO en los sistemas, con un aporte continuo y abundante de esta; seguidos por los depredadores, que se alimentan de los grupos favorecidos. Por último, van apareciendo grupos omnívoros y herbívoros.

Los ingenieros del suelo involucran grupos consumidores de MO como las lombrices (Haplotaxida) y las termitas (Isóptera), y omnívoros como las hormigas (Hymenóptera: *Formicidae*). Tienen un impacto específico en el interior del suelo a partir de la transformación de sus propiedades físicas, que favorecen la formación de agregados, el movimiento y la retención del agua, así como el intercambio gaseoso (Lavelle, 2000).

Los herbívoros incluyen algunas familias de coleópteros (Coleóptera), hemípteros (Hemíptera) y otros órdenes de insectos; y los depredadores, primordialmente, a los arácnidos (Araneae, Opiliones, Pseudoscorpionida) y ciempiés (Geophilomorpha, Scolopendromorpha), los cuales intervienen a otros niveles de la cadena trófica al consumir material vegetal y animal vivo, respectivamente, lo que origina su riqueza y calidad en el suelo (Lavelle, 1997).

A los detritívoros pertenece un amplio rango de grupos taxonómicos, los más importantes son: Oligochaeta, Diplópoda, Isópoda e insectos pertenecientes a los

órdenes Coleóptera, Dictyóptera, Díptera e Isóptera. Los individuos que ingieren detritos probablemente sean omnívoros no selectivos (Wardle, 2004).

De acuerdo con lo planteado por Zerbino *et al.*, (2008), las interacciones entre todos los grupos funcionales están determinadas por los recursos disponibles en el suelo, así como por las diferencias en la proporción de los grupos funcionales de las comunidades de la macrofauna en diferentes usos de tierra, que puede estar dada por la riqueza de especies vegetales y el manejo, los cuales determinan los recursos disponibles y afectan las interacciones entre los grupos.

Los sistemas con elementos arbóreos, mayor cobertura sobre el suelo, estabilidad en la temperatura y humedad edáfica y más altos tenores de materia orgánica, incrementan la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados edáficos y en especial de grupos detritívoros. Por el contrario, sistemas de intenso laboreo, con uso de maquinaria y fertilización química, con alta compactación y bajos contenidos de materia orgánica presentan una mayor degradación edáfica conjuntamente con la pérdida de la calidad biológica del suelo (García *et al.* , 2014; Chávez *et al.* , 2016); lo que coincide con Tantachasatid *et al.*, (2017) quienes resaltan la importancia de la cobertura vegetal en el desarrollo de las comunidades de la macrofauna del suelo de acuerdo a su abundancia y biomasa.

En particular en el trópico húmedo, diversas investigaciones se han desarrollado con el propósito de utilizar la macrofauna como indicador del funcionamiento del suelo. Algunos estudios caracterizaron inicialmente las comunidades edáficas a partir de su riqueza taxonómica, diversidad, densidad, biomasa y composición funcional, y con ello evaluaron la intensidad del uso de la tierra (Silva *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2016; Mesa *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2016).

En Cuba Cabrera *et al.*, (2017) evidenciaron el valor de la macrofauna para diagnosticar el estado de salud del suelo, además sugirieron con tal fin indicadores faunísticos, que consisten en las relaciones entre la abundancia de diferentes grupos de la macrofauna de fácil evaluación (detritívoros/no detritívoros y lombrices/hormigas). Estos autores proponen el indicador lombrices/hormigas

como un índice de mucha utilidad práctica, ya que los grupos involucrados son de fácil identificación y no necesitan de un conocimiento especializado.

Cabrera (2012) planteó que se pueden identificar a las hormigas como indicadores de perturbación del medio edáfico, debido a su habilidad para sobrevivir mayormente en suelos agrícolas, a pesar de los disturbios de dicho medio, lo que se evidenció por su prevalencia en abundancia y resistencia en sistemas que tenían algún nivel de intervención antrópica.

1.8 Respiración del suelo indicador de la actividad microbiana.

La respiración del suelo se usa a menudo como un índice de fertilidad porque la mayoría de los nutrientes se ciclan a través de la biomasa microbiana (Ward *et al.*, 2017).

La respiración biológica del suelo es el proceso de oxidación de sustratos orgánicos a dióxido de carbono (CO₂) por los microorganismos del suelo (Paul, 2007) que generan energía para el crecimiento y mantenimiento microbiano (Jacinthe y Lal 2005).

La determinación de CO₂ desprendido de una muestra de suelo ha sido una técnica ampliamente utilizada como índice de la actividad biológica y la fertilidad de los suelos (López *et al.*, 2014). La respiración del suelo es uno de los indicadores más antiguos que continúan siendo frecuentemente utilizados en la cuantificación de la actividad microbiana en los suelos.

Varios estudios han demostrado la utilidad de probar la respiración del CO₂ del suelo como un medio para medir el carbono activo del suelo (C) y la biomasa microbiana del suelo, así como también la posible liberación de nutrientes para la nutrición de los cultivos (Fierer y Schimel, 2003; Haney *et al.* , 2008).

Por otra parte Garbisu *et al.*, (2007) y Sampaio *et al.*, (2011), refieren que la respiración biológica puede ser utilizada como uno de los indicadores de la calidad del suelo; el CO₂ desprendido durante la respiración tiene de acuerdo con Kuzyakov (2006), tres fuentes principales: (I) la rizofera, (II) los residuos de las plantas y el mantillo, y (III) la materia orgánica del suelo (MOS) con las cuales se

puede estimar indirectamente la actividad microbiana del suelo denominada también capacidad respiratoria del suelo (Alef y Nannipieri, 1995; Pascual *et al.*, 2000).

En cuanto a la respiración inducida por sustrato (RIS), esta expresa la potencialidad de la biomasa microbiana como fuente de actividad metabólica y en consecuencia de la tasa de recambio de la MOS.

El método propuesto por Isermeyer (1952) se basa en la determinación del CO₂ desprendido como resultado del proceso respiratorio de los microorganismos, al valorar con HCl la solución de NaOH donde el CO₂ se ha fijado.

La respiración basal (RB) (incubar suelo + agua) se define como la evolución de CO₂ sin la adición de sustrato complementario al suelo. La respiración sustrato inducida (RSI) será el resultado de incubar suelo + sustrato. De forma general el método de respiración sustrato inducida se apoya en la respuesta fisiológica respiratoria de los organismos presentes en una muestra de suelo, luego de la adición de un sustrato (fuentes de carbono, nitrógeno, fósforo, aminoácidos), para brindar un estimado de la actividad microbiana a partir del consumo de estas fuentes y también, aunque de forma indirecta de la biomasa de la microflora presente.

1.9 Manejo agroecológico de los suelos.

En Cuba antes de 1492 toda la isla estaba cubierta de bosques, los suelos eran vírgenes y las comunidades indígenas vivían en equilibrio con la naturaleza, pero a partir de esa fecha hay un período de cuatro siglos como colonia de España, donde comienza a desarrollarse la agricultura, fundamentalmente el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Se inicia la tala de los bosques, la quema de los residuos y la degradación de los suelos hace su aparición, fundamentalmente la pérdida acelerada de sus reservas orgánicas. Posteriormente Cuba pasa a ser neocolonia norteamericana por un período de cincuenta y siete años, el cual fue decisivo en la degradación acelerada de los suelos (Martínez *et al.*, 2017).

La alta intensidad con que han sido manejados los suelos unido a la deficiente aplicación de medidas de conservación han agravado su situación agroproductiva se este recurso no renovable.

A finales de la década del 80 comienza un trabajo encaminado a la detención de los procesos degradativos de mayor incidencia en el país y se crean los programas para el enfrentamiento a esta problemática; tal es el caso del programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (Aguilar *et al.*, 2016 y Calero *et al.*, 2015).

El proyecto Manejo agroecológico para la recuperación de los suelos agrícolas degradados liderado por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas tiene como objetivo realizar la evaluación del estado actual de los suelos de los agroecosistemas seleccionados e implementar medidas para su conservación y mejoramiento, sin dejar de producir y al mismo tiempo, fomentar el conocimiento y el intercambio con los productores, para de manera conjunta, mantener e incrementar los rendimientos, disminuyendo el impacto ambiental del manejo agrícola del suelo.

Capítulo II Materiales y métodos

2.1 Descripción del área.

2.1.1 Localización de la finca en estudio.

El estudio se realizó en el municipio de Perico, en la región occidental del país, en la finca La Paulina, correspondiente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Ramón Rodríguez Milián. La misma fue elegida tomando en consideración los siguientes criterios: la información histórica, tiempo de explotación, biodiversidad, empleo de prácticas agroecológicas tradicionales, nivel de productividad, las estrategias en el uso racional de los recursos naturales y locales, y su vinculación a diferentes proyectos de innovación y de desarrollo local.

El municipio Perico se encuentra enclavado en la llanura roja Habana-Matanzas, en la parte centro-oeste de la provincia Matanzas; cuenta con una superficie total de 278,3 km², lo cual representa el 2,4 % del territorio provincial (Figura 2).



Figura 2. Ubicación y distribución espacial del municipio de Perico.

El territorio tiene una superficie agrícola de 24 892 ha, de ellas 11 652 cultivadas y 12 399 no cultivadas, de las cuales 5 098 son de potreros con pasto natural; sus suelos son predominantemente ferralítico rojos; la actividad principal es el cultivo de la papa, cultivos varios, caña de azúcar, ganadería vacuna y porcina.

La agricultura es la actividad económica fundamental del municipio. La principal Empresa es la Agropecuaria Máximo Gómez Báez, tanto por su actividad productiva como por la cantidad de fuerza de trabajo que aglutina en su amplia gama de procesos agrícolas y a la cual se le subordinan las diferentes formas de organización de la producción (tres Unidades Empresariales de Base (UEB), dos CPA, tres UBPC, cuatro CCS y cuatro Unidades Empresariales de Base de Servicios).

La finca La Paulina se encuentra ubicada al norte del poblado de Perico. (Figura 3)

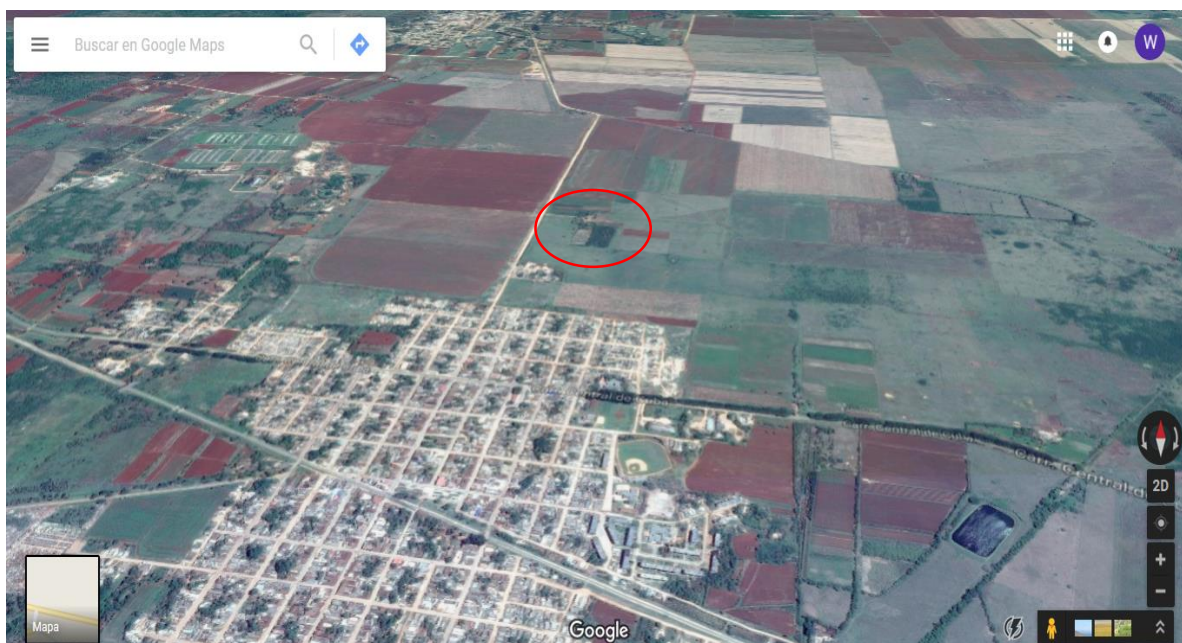


Figura 3. Ubicación de la finca La Paulina.

2.1.2 Clima.

En la figura 4 se observa el comportamiento del régimen de lluvia y la temperatura del año 2017, según los datos ofrecidos por la estación meteorológica ubicada en Indio Hatuey a 4 km de la finca objeto de estudio.

Según los datos recopilados el 87,13% de la lluvia ocurrió en el periodo lluvioso (mayo –octubre); la temperatura promedio anual fue de 24, 29° C, los meses más fríos fueron enero y diciembre con 21,3° C y el mes más cálido fue Agosto con 27° C.

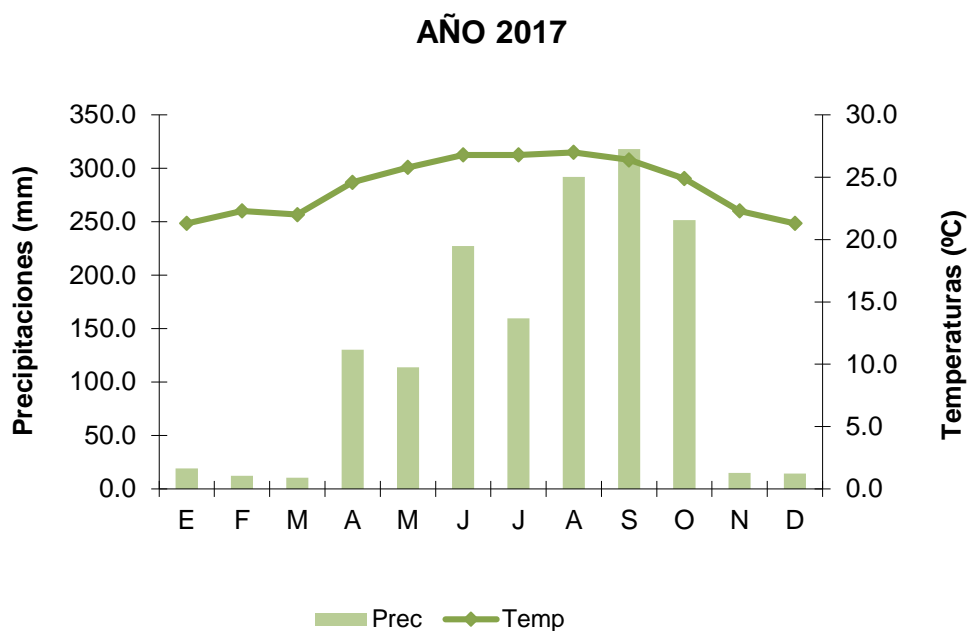


Figura 4. Comportamiento de la temperatura y las precipitaciones en la finca La Paulina.

2.1.3 Suelo.

En el municipio se encuentran presentes una gran diversidad de tipos de suelo, según informe presentado por especialistas del proyecto BASAL (Hernández *et al.*, 2015). El territorio se encuentra enclavado en una llanura cársica y en algunas zonas cársica denudativa, la geología está representada por rocas calizas y calizas arcillosas, ambas de naturaleza sedimentaria. El suelo predominante es el tipo Ferralítico Rojo, el cual ocupa el 75 % de la superficie total del municipio.

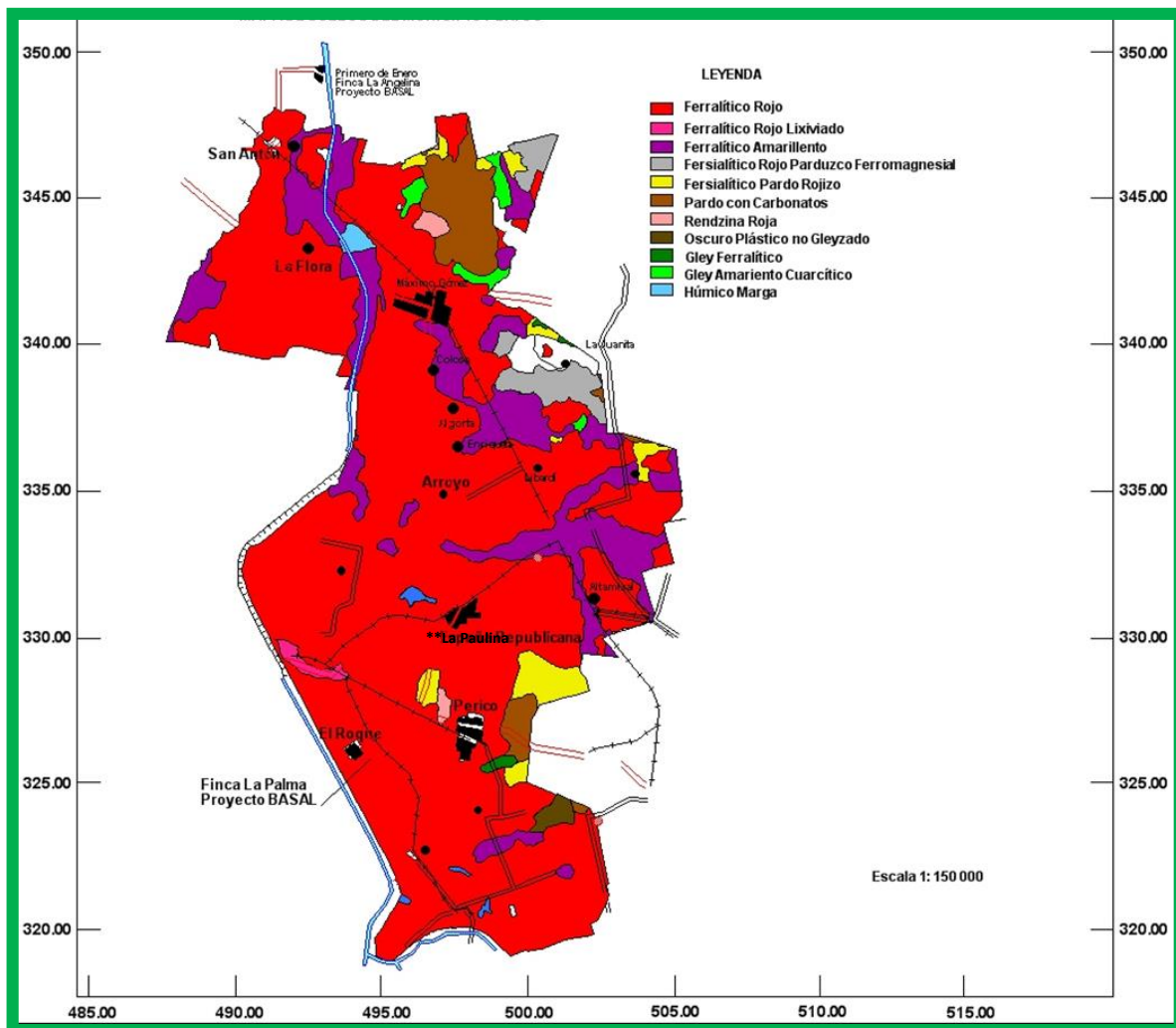


Figura 5. Distribución de los tipos de suelo en el municipio de Perico.

El suelo de la finca se clasifica como ferralítico rojo según Hernández *et al.*, (2015).

Para la caracterización de la finca se aplicó una encuesta socioproductiva (Anexo 1) confeccionada por el equipo del proyecto Manejo Agroecológico de los suelos que lidera el INCA. Además, se tuvo en cuenta los resultados de un diagnóstico de la satisfacción laboral de los trabajadores que se aplicó para la asignatura de Agroecología.

2.1.4 Determinación de los indicadores biológicos de la calidad del suelo.

El diseño experimental fue totalmente aleatorizado y se evaluaron los siguientes tratamientos

Tratamiento 1 Platanal, manejo convencional

Tratamiento 2. Platanal con aplicación de efluentes del biodigestor

Tratamiento 3 Yuca, manejo tradicional

Tratamiento 4 Yuca en asociación con calabaza (suelo que antes era un potrero, donde se guardaban los animales en las noches)

Tratamiento 5 Pastizal

Tratamiento 6 Sistema silvopastoril

Macrofauna

Los muestreos de la macrofauna se realizaron entre las 7:00 y 9:00 a.m., en sitios representativos de cada parcela. La macrofauna se recolectó manualmente in situ, las lombrices se conservaron en formaldehído al 4% y los invertebrados restantes, en alcohol al 70%, para su posterior identificación en el laboratorio.

Muestreo y recolecta

Se realizó el muestreo en el mes de octubre al final del período lluvioso, según la Metodología del Programa de Investigación Internacional Biología y Fertilidad del Suelo Tropical, que consiste en la extracción de monolitos de 25x25x20 cm en un transepto cuyo punto de origen se determina al azar y en dirección lineal según Anderson e Ingram (1993). Para el estudio se excavaron diez monolitos de 25 x 25 x 20 cm en cada área, los que se dividieron en dos estratos: 0-10 y 10-20 (cm).

La macrofauna fue identificada al nivel taxonómico de Orden, mediante el empleo de las claves de Ruiz *et al.* (2008). Los órdenes Isoptera e Hymenoptera no se cuantificaron, solo se evaluó presencia y ausencia donde se siguieron los criterios de (Ruiz *et al.*, 2010).

Se determinaron los valores promedio de densidad (ind/m²) y biomasa (g/m²) para la comunidad edáfica, para cada taxón y por estrato, en cada tratamiento. La densidad se determinó en función del número de individuos y la biomasa, a partir

del peso húmedo en la solución preservante, con la utilización de una balanza analítica.

Respiración biológica

Se estimó la respiración del suelo, que es uno de los indicadores más antiguos que utilizados en la cuantificación de la actividad microbiana en los suelos.

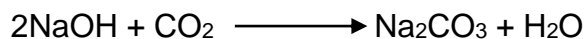
El método se basa en la determinación del CO₂ desprendido como resultado del proceso respiratorio de los microorganismos, al valorar con HCl la solución de NaOH donde el CO₂ se ha fijado (Isermeyer, 1952).

Para el análisis de la respiración se tomaron las muestras de suelo las cuales fueron colocadas en pequeños potes plásticos, dentro de un pomo de cristal, colgando de su tapa. En el pomo se añadió una cantidad determinada de solución de NaOH y se tapó herméticamente, de forma tal que el CO₂ ambiental no interfiera en el proceso. Esta metodología está adaptada para un tiempo de incubación de 24 h. El CO₂ desprendido del suelo se fija en la solución de NaOH, en forma de Carbonato de sodio, quedando algunas moléculas de NaOH libres en la solución (Ecuación I).

Esta solución se valora por exceso con HCl, para lo cual es necesario que la solución de NaOH se prepare de forma tal que duplique en concentración a la de HCl. La valoración se realiza en presencia de timolftaleína al 2% en solución alcohólica después de la adición de 2.5 ml de Cloruro de Bario al 20% para precipitar. Se formará un precipitado blanco de BaCO₃ y las moléculas de Ba(OH)₂ se tornarán azul intenso al añadir el indicador (Ecuación II), esperando un cambio de coloración a blanco precipitado cuando valoremos con el HCl (Ecuación III). (Isermeyer, 1952).

Las ecuaciones que representan el proceso son las siguientes:

I- Durante la fijación del CO₂:



Antes de la valoración:



(ptdo blanco)

Durante la valoración:



2.1.4 Análisis estadístico.

Los datos de los indicadores evaluados (densidad y biomasa de la macrofauna, así como los de respiración), se analizaron con el empleo del programa Infostat, versión libre; se comprobó si los datos cumplían con los supuestos de homogeneidad de varianza (prueba de Levene) y distribución normal (Shapiro Wilks, modificado). Al no cumplir con estos requisitos se utilizaron análisis no paramétricos. Para determinar las variaciones de la densidad y la biomasa de la macrofauna edáfica y a la respiración entre los tratamientos evaluados, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis.

Capítulo III Resultados y discusión

3.1 Caracterización general de la finca La Paulina.

La finca “La Paulina”, se encuentra en el camino viejo que comunica al Central España con el Consejo Popular de Perico, en la provincia de Matanzas, pertenece a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) “Ramón Rodríguez Miliam” y forma parte del Programa de Agricultura Urbana y Sub-urbana del municipio. Por su posición estratégica y gran área de arboleda fue escogida por los mambises para descansar en el avance de la invasión de oriente a occidente. Cuenta con un área total de 26,84 ha, de ellas, 19 como área ganadera, 7 como área agrícola y el resto (0,84 ha) es de área de instalaciones y vivienda.

El objetivo fundamental es lograr producciones sostenibles haciendo un mayor aprovechamiento del suelo e implementar nuevas tecnologías para incrementar los rendimientos

El propietario de esta entidad es el campesino José Antonio Hernández Navarro, tiene 43 años de edad y por tradición familiar se ha dedicado a la actividad agropecuaria.

El núcleo familiar está compuesto por 8 miembros (tabla 3), los cuales realizan el trabajo en colectivo lo que les permite obtener avances:

Tabla 3. Relación de los miembros del núcleo familiar.

Trabajadores	Sexo	Edad	Nivel escolar	Actividad que realiza
Argelio Hernández	M	77	6 grado	Productor
Zoila Navarro	F	70	9 grado	Ama de casa
Antonio Hernández	M	43	Téc. medio	Productor
Alberto Hernández	M	18	12 grado	Obrero
Elena Hernández	F	44	Téc. medio	Obrero
Iván Lara	M	44	Téc. medio	Obrero
Alejandro Lara	M	22	Téc. medio	Obrero
Adislay Lara	F	13	Estudiante	----

Relacionado con el recurso agua en la finca hay un pozo como fuente de abasto para el riego, aunque solo poseen recursos para regar 4 ha. Por ello, como no toda el área de la finca está bajo riego, usualmente acostumbran a sembrar en la época óptima, aplican materia orgánica al suelo, siembran policultivos y practican la rotación de cultivos y quisieran disponer de semillas mejoradas genéticamente de especies tolerantes a la sequía, lo que permitiría incrementar la biodiversidad.

El perímetro de la finca en la actualidad está delimitado con cercas de alambre con postes vivos: árbol del Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), coco (*Cocos nucifera* L), albizia (*Albizia lebbek*), leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) y moringa (*Moringa oleifera*). En este sentido como plantea Casimiro *et al.* (2017) las cercas vivas cumplen varias funciones en el diseño agroecológico ya que además de establecer los límites físicos de la finca y de los cuartones, son nichos para la reproducción de una vida silvestre funcional en la regulación de plagas, pues funcionan como reservorio de enemigos naturales de estas, al crearles condiciones para una reproducción y equilibrio. Adicionalmente, se

practica la rotación y asociación de cultivos de acuerdo a la época del año, a excepción del área de cultivos perennes, con muy buenos resultados, según la apreciación del productor.

El manejo de los cultivos se realiza bajo un enfoque agroecológico ascendente, disminuyendo de forma paulatina el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos sintéticos, fomentando así el equilibrio del sistema a través de la diversidad de la finca, la rotación, asociación de cultivos, biofertilizantes y productos naturales en el control de plagas y enfermedades. Por eso, aprovechan el estiércol vacuno que se genera en el área ganadera, aunque en ocasiones están limitados por la falta de equipos y mano de obra para incorporar el mismo.

El estiércol vacuno que se adquiere de los animales presentes en la finca es la materia orgánica que se usa de forma regular, el cual es considerado como el mejor fertilizante orgánico por su excelente relación C/N de Martínez y García (2016).

El proceso productivo se caracteriza por la aplicación de diferentes prácticas agroecológicas, las cuáles según Altieri y Nicholls (2013), ejercen efectos positivos en la dinámica y mejora del suelo, y contribuyen a la resiliencia del agroecosistema. Entre ellas se pueden mencionar:

- cultivos de cobertura;
- cultivos intercalados;
- manejo del suelo;
- rotación de cultivos;
- diversificación de la producción;
- aplicaciones de compost, entre otros.

La diversidad de cultivos es una característica clave en el manejo de la finca. Los campesinos producen más de 30 especies de cultivos agrícolas entre las hortalizas se destacan: lechuga (*Lactuca sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L), col (*Brassica oleracea* L.), ajo (*Allium sativum* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), ají

(*Capsicum annum* L.); como frutales: guayaba (*Psidium guajaba*), mango(*Managuifera indica*), papaya (*Carica papaya* L.), banano (*Musa* sp); viandas: boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), yuca (*Manihot esculenta crantz*), malanga (*Xanthosoma spp. Schott*), plátano (*Musa spp*), calabaza (*Cucurbita pepos* L.); granos: maíz (*Zea maíz* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), soya (*Glycine max* L.Merr.), oleaginosas, medicinales, entre otras.

Las producciones de la finca tienen tres destinos principales: (1) para el consumo familiar, (2) para la comercialización a través de acopio, lo que permite la generación de ingresos, y (3) para la alimentación animal. La producción de mayor importancia en la finca es la pecuaria por ser la que más área ocupa y más tiempo demanda, en la tabla 4 se presenta la cantidad y tipo de ganado presente. Las principales crianzas de la finca la constituyen los porcinos y el aviar, fundamentalmente para el autoabastecimiento y la comercialización.

Tabla 4. Composición pecuaria de la finca.

Nombre de la finca	Cantidad y tipo de ganado				
	Vacuno	equino	Ovino-caprino	Porcino	Aviar
La Paulina	37	7	43	120	100

El papel de los animales en el agroecosistema resulta beneficioso para la agricultura y quienes la ejecutan; sus papeles principales se relacionan con su contribución al reciclaje de nutrientes, la conservación del suelo y la capacidad de transformar la fitomasa en fuentes de alimentos y bienes de uso para el hombre y el propio animal (Salmón, 2011).

Iermanó, (2015), argumenta la importancia de las explotaciones agropecuarias mixtas y afirma que a menudo se asocian con ecosistemas sostenibles porque la integración y la diversificación, tanto de especies como de prácticas, permiten la complementariedad entre diferentes actividades y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos; además, la diversificación de actividades agrícolas puede contribuir a aumentar la estabilidad de los ingresos de los productores (Altieri y

Nicholls, 2012). Los sistemas integrados utilizan las salidas de una actividad como insumos para otra, lo que puede reducir los efectos adversos para el medio ambiente y disminuir la dependencia de recursos externos mediante el reciclaje (Rufino *et al.* , 2009).

Para alimentar los animales en existencia, se emplea pastos, harinas y tortas, soya (*Glycine max L. Merr.*), girasol (*Helianthus annuus*), maíz (*Zea mays*) y palmiche, que es el fruto de la palma real (*Roystonea regia*), en la mayoría de los casos, producidos en la finca; aunque también compran algunos.

También poseen un biodigestor como un componente importante del sistema productivo, en el que se aprovecha el estiércol para generar gas que se utiliza como combustible en la cocina familiar y como subproducto, el efluente, que se utiliza como biofertilizante en una parte del platanal.

Para las labores de agrotecnia, el productor cuenta con un tractor, un arado de vertedera, un arado de discos, un multiarado, un surcador, una grada de pinchos, una mochila, una cosechadora y un molino a viento, una yunta de bueyes e implementos de trabajo manual.

Atendiendo a las particularidades físicas y a la apreciación visual el tipo de suelo de la finca es Ferralítico rojo; el mismo se caracteriza por ser profundo, de textura arcillosa y de buena estructura, sin pedregosidad, de topografía llana, color rojo y no conocen el grado de acidez. Aprecian una baja retención de humedad y no observan erosión.

Es válido señalar que para aumentar la fertilidad del suelo, actualmente usan diferentes prácticas agroecológicas, tales como: rotación de cultivos, intercalamiento, uso de compost y uso de estiércol, las cuales contribuyen para obtener buenas producciones y altos rendimientos. En la finca la preparación de tierra, fundamentalmente se realiza de forma mecanizada; aunque en ocasiones lo hacen de forma manual.

Otra de las prácticas que continúan implementándose en el área del platanal es el riego con el efluente del biodigestor. El residual obtenido en este proceso tiene características superiores al abono con estiércol fresco debido a que no se pierden los nutrientes. Puede competir con los fertilizantes químicos permitiendo un ahorro en la aplicación de otros abonos convencionales, sin disminuir la productividad de los cultivos. No deja residuos tóxicos en el suelo y además aumenta la productividad en comparación con suelos no abonados.

Tabla 5. Por ciento de Materia orgánica y pH del suelo por tratamientos.

Tratamientos	Profundidad	Materia orgánica	pH
	(cm)	%	
T1	0-10	3,2	6,6
	10-20	2,87	6,9
T2	0-10	6,81	6,8
	10-20	4,24	6,34
T3	0-10	3,4	6,4
	10-20	2,7	6,2
T4	0-10	5,1	6,19
	10-20	4,24	7,2
T5	0-10	5,82	6,21
	10-20	4,1	6,3
T6	0-10	5,2	6,24
	10-20	4,6	6,28

Los valores de pH presente en los suelos están en torno a la neutralidad, este indicador debe monitorearse constantemente con la introducción de prácticas de manejo agroecológico de los suelos ya que determina la asimilación de los nutrientes por las plantas, por lo que es importante realizar labores de manejo que permitan mantener el pH en niveles apropiados.

En cuanto a los contenidos de materia orgánica según El Servicio Agroquímico Nacional, los suelos de los tratamientos T1 y T3 tienen contenidos medios de

materia orgánica, mientras que el resto de los tratamientos tienen un alto contenido, hay que destacar que los mayores valores de % de MO corresponden a los sistemas silvopastoril y platanal con efluentes del biodigestor, en los cuales existen entradas de materia orgánica a través de las excretas de los animales y los efluentes del biodigestor.

La cantidad y la calidad de la materia orgánica edáfica juegan un rol fundamental en el funcionamiento y la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios y en la productividad, debido a que ejerce un impacto significativo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rotenberg *et al.* , 2007).

Evaluación de los indicadores biológicos.

La fauna del suelo es un bioindicador apropiado dado sus hábitos relativamente sedentarios y su presencia a lo largo del año, su facilidad de medición y su alta sensibilidad y rápida respuesta al estrés ambiental.

Es necesario señalar que el empleo de indicadores biológicos, como puede ser la fauna edáfica, en lugar de realizar mediciones físicas y químicas tiene sus ventajas porque los organismos edáficos son los primeros en manifestar los cambios que implican los disturbios del medio, además de por sí solos requerir pocos recursos y un menor costo (Ferrás *et al.* , 2010; De Vries *et al.* , 2013).

3.1.1 Composición y riqueza taxonómica de la macrofauna edáfica.

En la tabla 6 se refleja la composición taxonómica del experimento hasta la taxa orden, se registraron individuos de tres Phylum, siete clases y 14 órdenes, 8 en el platanal con manejo convencional mientras que el platanal con la aplicación del efluente del biodigestor se encontraron 12 órdenes; en el cultivo de la yuca manejada tradicionalmente se registraron 8 órdenes versus 11 encontrados en la asociación de yuca y calabaza; por su parte se reporta la presencia de 9 órdenes en pastizal y 12 en el sistema silvopastoril.

Tabla 6. Composición taxonómica y presencia de la macrofauna edáfica recolectada en las áreas de estudio.

Phylum	Clase	Orden	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>Arthropoda</i>	<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	x	x	x	x	x	x
		<i>Dermáptera</i>			x	x	x	
		<i>Lepidóptera</i>	x	x	x	x	x	x
		<i>Blattodea</i>		x		x		x
		<i>Díptera</i>					x	
		<i>Orthoptera</i>	x	x	x		x	x
		<i>Hymenoptera</i>	x	x	x	x	x	x
		<i>Isóptera</i>		x				x
	<i>Chelicerata</i>	<i>Araneae</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Chilopoda</i>	<i>Geophilomorpha</i>		x	x	x		x
	<i>Diplopoda</i>	<i>Spirobolida</i>		x		x	x	x
	<i>Malacostraca</i>	<i>Isópoda</i>	x	x		x		x
<i>Mollusca</i>	<i>Gastropoda</i>	<i>Archeogastropoda</i>	x	x	x	x		x
<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Haplotaxida</i>	x	x	x	x	x	x
x indica presencia								

En sentido general en el sistema silvopastoril y el platanal con efluentes del biodigestor, hubo una mayor presencia de órdenes lo cual pudiera estar relacionado con la escasa perturbación del medio edáfico y con una mayor cobertura del suelo en estos sistemas, lo que propicia mejores condiciones de temperatura y humedad en el suelo para el desarrollo óptimo de la macrofauna (Cabrera *et al.*, 2017).

Sin embargo la riqueza de órdenes presentes en el sistema silvopastoril es inferior a lo reportado por García *et al.*, (2014) quienes informaron la presencia de 14 órdenes en un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* en un suelo Ferralítico

rojo, lo cual pudiera deberse a que el estudio de estos autores se desarrolló en sistemas con gramíneas mejoradas.

Por su parte Sánchez y Reyes (2003) obtuvieron en pastizales con diferente manejo ganadero hasta 9 órdenes de la macrofauna, igual riqueza taxonómica a la encontrada en el pastizal objeto de estudio en esta investigación.

En los tratamientos donde no se aplicaron prácticas agroecológicas del manejo del suelo la riqueza tuvo una tendencia a disminuir según el grado de disturbio físico y las diferencias en la vegetación (Zerbino, 2010).

El orden haplotaxida estuvo presente en todos los tratamientos en este sentido Feijoo *et al.*, (2007) destacan el papel de las lombrices de tierra debido a su amplia distribución y gran talla. Es importante reconocer la funcionalidad de las lombrices de tierra para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos del suelo por su contribución como ingenieros físicos, creando canales y aireando el medio edáfico; además son considerados ingenieros bioquímicos por promover la descomposición de la materia orgánica en el suelo y causar interacciones con hongos y bacterias (Lavelle *et al.* , 2016).

El mayor número de órdenes representados en los tratamientos 4 y 6 se relaciona con la permanencia de cobertura en el suelo, que proporciona el aporte de hojarasca y sombra para mantener estables los valores de temperatura y humedad del suelo, lo que beneficia el desarrollo óptimo de comunidades de la biota edáfica más diversas (Cabrera *et al.* , 2014).

En las figuras 6 y 7 se muestra la distribución relativa del número total de individuos por cada grupo taxonómico en los tratamientos con prácticas agroecológicas (T2, T4 y T6) y los tratamientos con manejo convencional (T1, T3 y T 5).

Como se puede apreciar, el orden Haplotaxida fue el de mayor incidencia, para los tratamientos que incluyen prácticas de manejo agroecológicas del suelo; los individuos de este orden representan el 25 % del total, seguido por Isópoda (17 %)

y Coleoptera (14 %); los demás órdenes no sobrepasaron el 10 %, excepto Geophilomorpha que posee un 12 %. Estos resultados son similares a los reportados por Zerbino (2007), que al evaluar el efecto de la intensidad de la rotación en diferentes usos y manejo del suelo, encontró resultados similares por ser haplotaxida el orden más representado con un 46 %.

Sin embargo para el resto de los tratamientos el orden Coleoptera (38%) fue el de mayor incidencia, seguido por haplotaxida (20 %); resultados similares fueron informados por Cabrera *et al.*, (2011) y García *et al.*, (2014) al evaluar el comportamiento de la macrofauna edáfica en distintos usos de la tierra en un suelo ferralítico rojo.

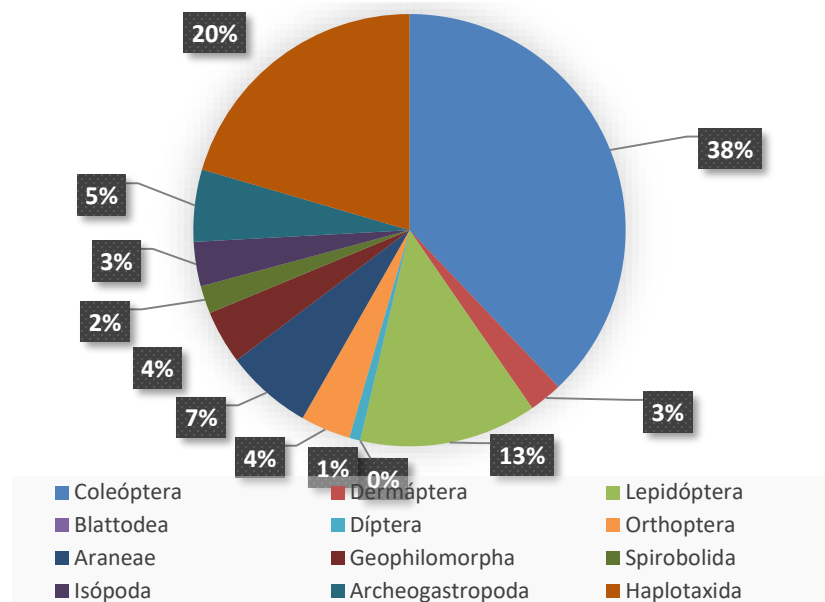


Figura 6. Distribución relativa del número de individuos colectados en los tratamientos T1, T3 y T5.

La presencia de los coleópteros como orden más abundante en estos tratamientos muestran la alta riqueza de estos individuos en el ecosistema, por otra parte Cabrera *et al.*, (2017) lo clasifican de acuerdo con su funcionalidad en detritívoros, depredadores y herbívoros. El grupo funcional de los detritívoros, son los encargados de triturar los restos vegetales y animales que forman la hojarasca, lo cual reduce el tamaño de las partículas de detrito e incrementa la superficie

expuesta a la actividad descomponedora de bacterias y hongos. Sin la acción de los organismos detritívoros, se hacen más lentos los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el suelo.

Por su parte los herbívoros se alimentan de las partes vivas de las plantas, y los depredadores lo hacen de animales vivos.

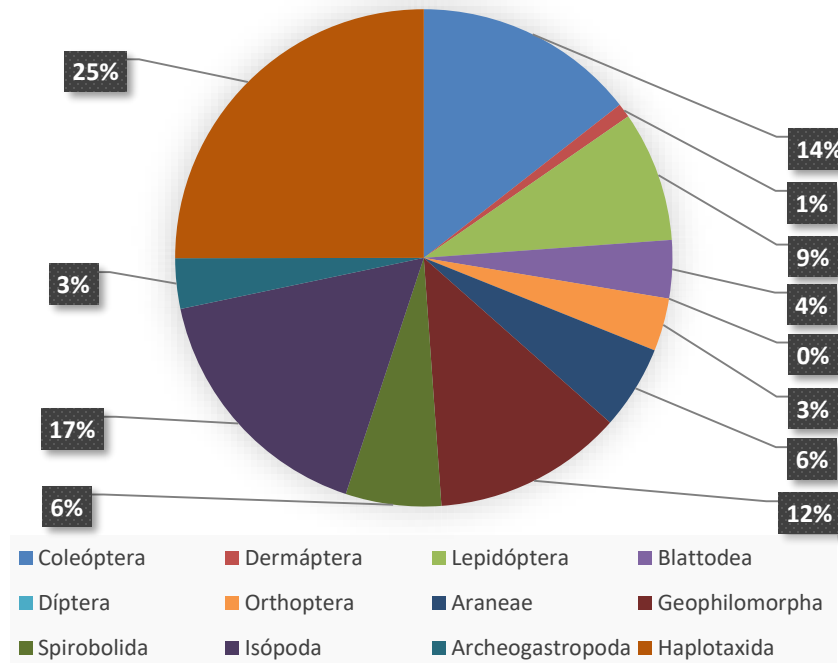


Figura 7. Distribución relativa del número de individuos colectados en los tratamientos T2, T4 y T6.

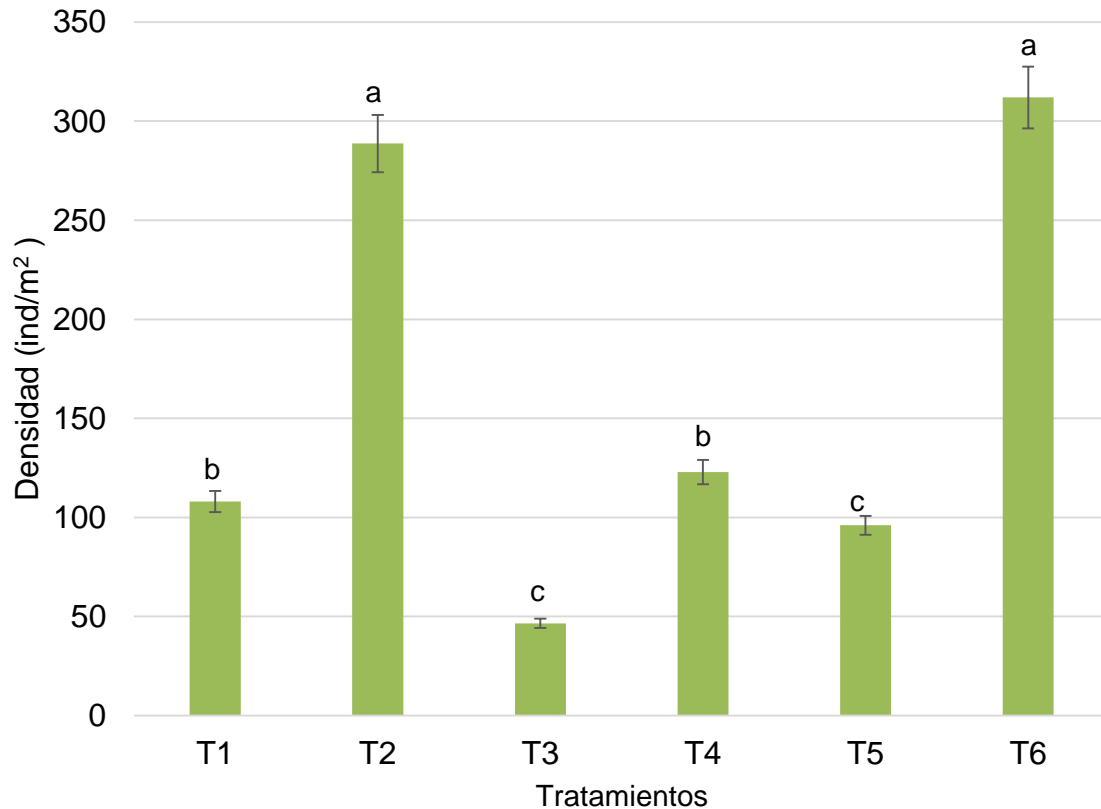
En los tratamientos que fueron manejados con prácticas agroecológicas los individuos del orden haplortaxida fueron los mejores representados la alta riqueza de estos individuos se debe a que el suelo se mantiene cubierto lo que propicia condiciones de temperatura y humedad para el desarrollo de la macrofauna; de acuerdo con lo informado por Schon *et al.*, (2010), estos factores influyen directamente en la diversidad y abundancia de todos los grupos de la fauna edáfica.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Chávez *et al.*, (2016) quienes plantean que los oligoquetos son un grupo predominante dentro de la macrofauna edáfica en la mayoría de los sistemas agropecuarios (y se clasifican por su actividad como ingenieros del ecosistema), influyen en las transformaciones de la materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, estableciendo canales y poros que favorecen la aireación, el drenaje, la estabilidad de agregados y la capacidad de retención de agua; además, generan estructuras biogénicas que son reservorios de nutrientes, controlan la disponibilidad de recursos para otros organismos y activan la microflora edáfica a través de interacciones mutualistas (Jones *et al.* , 1994).

Estos resultados evidencian que en los tratamientos donde se aplicó prácticas de manejo agroecológico del suelo (T2, T4 y T6) dominan los ingenieros del suelo seguido por los detritívoros y los herbívoros; los depredadores resultaron los menos abundantes. Estos resultados coinciden con Velásquez *et al.*, (2009) que relacionaron la presencia de los ingenieros del suelo con el contenido de materia orgánica, la humedad y la cantidad de agregados en el suelo. El comportamiento de los grupos funcionales en el resto de los tratamientos, indica el nivel de degradación antropogénica por el manejo de los suelos, concordando con lo planteado por Feijoo *et al.*, (2007) quienes plantean que existe dependencia entre la composición, la estructura y la función de las lombrices de tierra y el nivel de degradación del medio edáfico y del ecosistema.

3.1.2 Densidad de la macrofauna.

En cuanto a la densidad (figura 8), según la prueba de Kruskal-Wallis, los mayores valores fueron encontrados en los tratamientos T6 y T2, sin diferencias entre el sistema silvopastoril y el sistema del platanal con efluentes del biodigestor, pero si con el resto de los tratamientos; sin embargo, no existió diferencia significativa entre el platanal manejado convencionalmente (T1) y la yuca asociada con calabaza (T4), pero si con el resto de los tratamientos.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis)

Figura 8. Densidad promedio de la macrofauna edáfica por tratamiento.

Estos resultados son similares a los reportados por Cabrera *et al.*, (2017) quienes encontraron una mayor abundancia en los sistemas agroforestales y en los bosques lo cual lo atribuyeron a una mayor diversidad de recursos que brindan estos ecosistemas tales como: la sombra, la protección del suelo, una alta humedad edáfica y bajas temperaturas; estos elementos contribuyen a la subsistencia de la edafofauna.

Cabrera *et al.*, (2011) al evaluaron el efecto de la intensidad de uso de la tierra sobre la riqueza y abundancia de las comunidades de la macrofauna del suelo, en un gradiente desde bosques secundarios y pastizales hasta cultivos varios destinados a la producción de papa y cañaverales y encontraron que los mayores valores de riqueza, densidad y biomasa de la macrofauna se obtuvieron en los

bosques secundarios, y los menores valores en los pastizales, los cultivos varios y los cañaverales indicando el nivel de degradación del medio edáfico, debido a la intensidad de uso de la tierra.

Los resultados de la presente investigación son similares a los reportados García *et al.*, (2014) quienes informaron valores promedio de la densidad de la macrofauna de 60,8 ind/ m² en las fincas agropecuarias; 38,93 ind/ m², en cultivos varios; 347,73 ind/ m², en el sistema silvopastoril y 101,86 ind/m², en el pastizal.

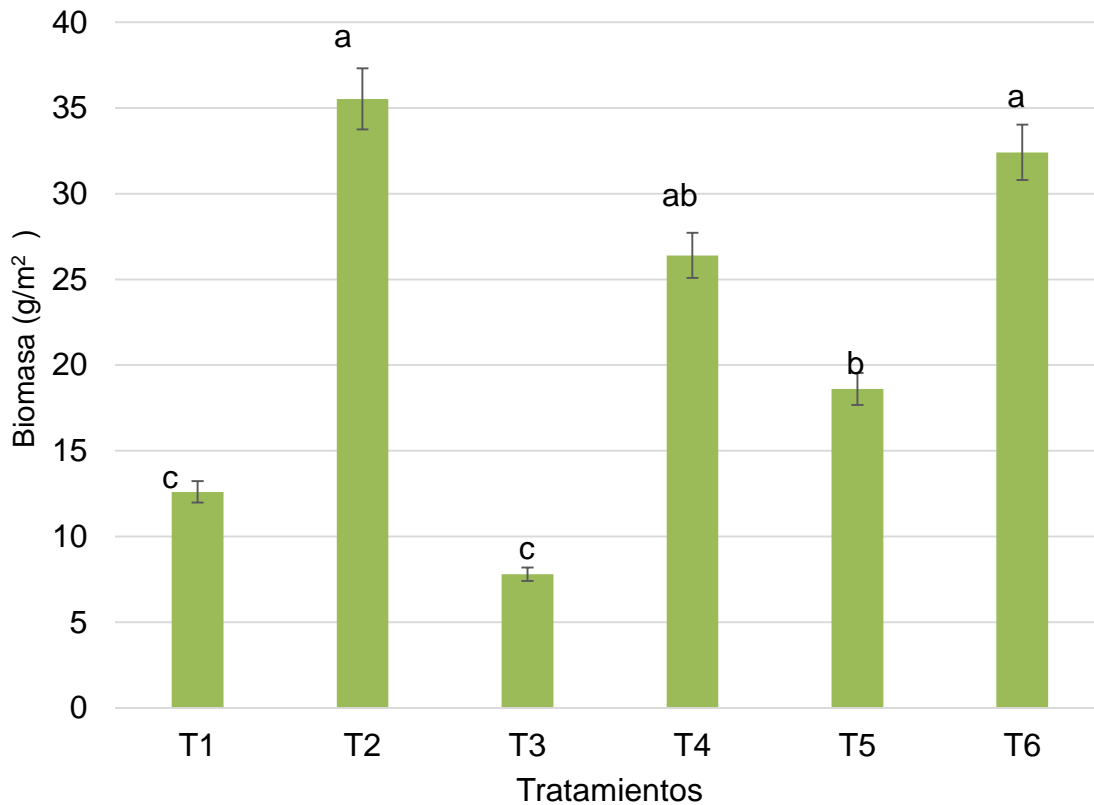
Los valores encontrados reflejan la sensibilidad de la macrofauna edáfica ante diversos factores, como la cobertura vegetal, ya que en el T3 el muestreo se realizó en condiciones de cultivo limpio, solo con la planta que se estaba desarrollando (yuca), por lo cual el aporte de biomasa aérea y radical por las plantas arvenses fue casi nulo; por lo que la disponibilidad de elementos nutritivos para el desarrollo de los grupos más abundantes de la macrofauna edáfica fue muy escasa (Jean y Blanchart, 2005). Además, al permanecer el suelo con poca cobertura vegetal ocurre un incremento de la temperatura y una pérdida de la humedad del suelo, elementos necesarios para el desarrollo de los invertebrados (Szanser *et al.* , 2011).

3.1.3 Biomasa de la macrofauna.

En cuanto a los resultados referentes a la biomasa, según la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (figura 9), se encontró que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos T2, T4 y T6 o sea los que fueron manejados con prácticas agroecológicas.

Entre los tratamientos T1 y T3 no se encontraron diferencias entre ellos pero si con el tratamiento T5 correspondiente al pastizal; lo que pudo estar relacionado con una mayor entrada de materia orgánica a través de las excretas de los animales presentes en el área.

Por su parte Cabrera *et al.*, (2011) reportaron datos de 8,79 g m⁻² en sistemas de cultivos varios, los cuales se acercan a los obtenidos en esta investigación.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis).

Figura 9. Biomasa promedio de la macrofauna edáfica por tratamiento.

La biomasa fue muy superior en el sistema de platanal con efluentes del biodigestor (T2) y el sistema silvopastoril (T6), es evidente que en estos sistemas el suelo está menos perturbado y más conservado, y se asemeja a los sistemas naturales, como las selvas o bosques tropicales, además, cuenta con una entrada constante y frecuente de materia orgánica de origen vegetal y animal (Huerta *et al.*, 2008).

Es importante destacar que a pesar de que entre el pastizal (T5) y la yuca convencional (T3) no existió diferencias significativas en cuanto a la densidad, el tratamiento 5 reflejó claramente una biomasa muy superior con diferencias respecto al tratamiento 3. El hecho de que el suelo estuviese menos perturbado por la acción del hombre, al parecer incidió en que los individuos desarrollasen un

mayor peso en el pastizal; sin embargo, diversos autores, como Zerbino (2007), plantean que la biomasa no constituye un indicador fiable para detectar diferencias entre distintos usos de suelo.

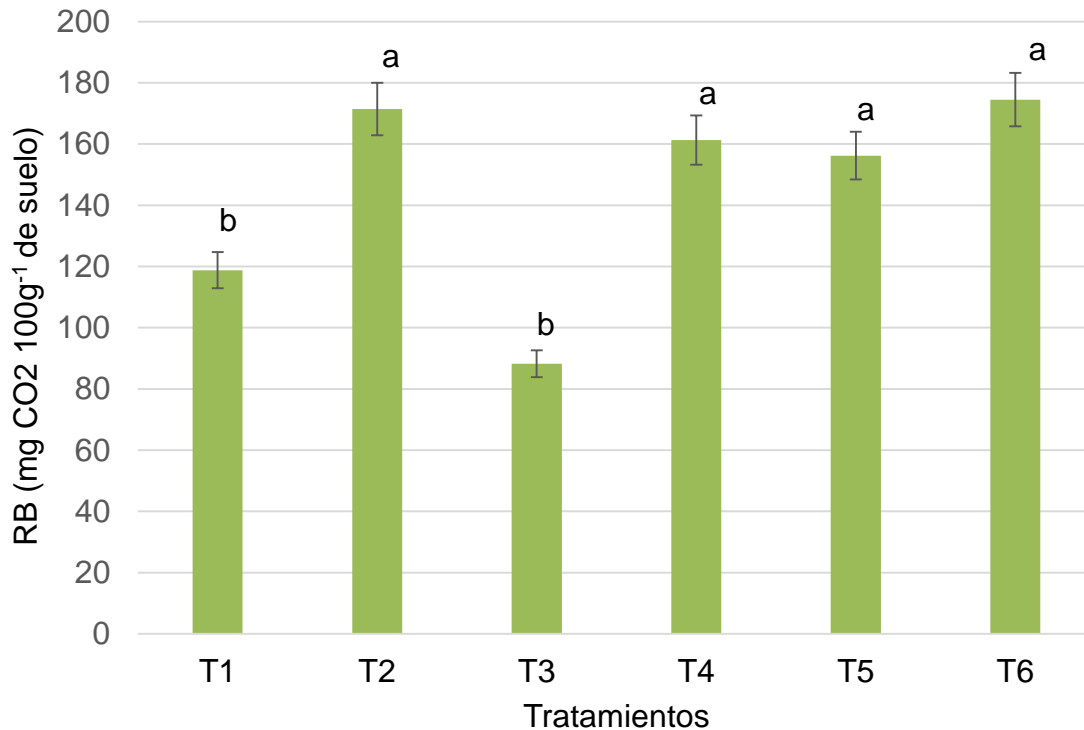
Sin embargo Baretta *et al.*, (2010), proponen a partir de sus resultados, que la biomasa puede ser utilizada como un buen indicador para detectar las modificaciones que ocurren en los ecosistemas, pero quizás el análisis no debe ser con el número global ni con la media de la biomasa, sino con un análisis por cada taxon evaluado, ya que en el sistema más idóneo se deben desarrollar mejor los individuos y, por consiguiente, deben alcanzar mayor peso (García *et al.*, 2014).

Los valores de biomasa encontrados en el pastizal pudiera estar relacionado con el hecho de que una sola unidad taxonómica o unas pocas puedan tener una gran influencia y determinación sobre el contenido de biomasa total (Morales y Sarmiento (2002), tal es el caso de la abundancia de las larvas de *Phylophaga* sp. encontradas en este sistema; lo que concuerda con Cabrera *et al.*, (2011) que indican que los individuos del orden Coleóptera se destacan con altos valores de densidad y son los principales representantes de la biomasa.

Otro de los factores que intervienen en la disminución de la biomasa es la disponibilidad y la calidad de la materia orgánica (Velázquez *et al.* , 2009). Por ello la biomasa tuvo un comportamiento similar en los tratamientos de menor entrada de materia orgánica, además, fueron tratamientos sin cobertura vegetal de otras especies de plantas arvenses, por lo que la calidad de la MO pudo haber influido en la biomasa.

3.1.4 Respiración del suelo.

En la figura 10 se presentan los resultados de la cuantificación de la Respiración en los tratamientos.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis).

Figura 10. Respiración del suelo por tratamiento.

En cuanto a la respiración del suelo se encontró que los mayores resultados correspondieron al tratamiento del sistema silvopastoril (T6), siguiendo el gradiente $T6 > T2 > T4 > T5 > T1 > T3$; además, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos T2, T4, T5 y T6 y estos sí difirieron del T1 y T3. Lo cual pudiera estar influenciado por la relación de las poblaciones de microorganismos en función de las comunidades de plantas existentes (González *et al.*, 2009)

Los valores encontrados son superiores a los encontrados por García *et al.*, (2015) quienes reportan valores entre 46,3 y 86,16 mg CO₂ 100 g⁻¹ de suelo en tratamientos que combinan el uso de la canavalia y la aplicación de micorrizas en el cultivo del tabaco.

Los tratamientos donde se reportan los valores más altos de respiración en este estudio mantienen el suelo cubierto, garantizan una mayor humedad, la cual juega un papel relativamente importante en la velocidad de descomposición de los

compuestos orgánicos (Powers *et al.*, 2009) a través de la actividad de los microorganismos del suelo.

Estos resultados pudieron estar relacionados con la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo. En este sentido Bronick y Lal, (2005) plantean que el contenido de materia orgánica se relaciona con la estabilidad de los agregados del suelo y la dinámica de su formación y destrucción e influye en la respiración biológica del suelo. Estos aspectos a su vez están determinados por el tipo de cultivo, las comunidades de plantas y el sistema de manejo (Daynes *et al.* , 2013).

Los valores más altos de respiración son del sistema silvopastoril lo cual coincide con Chavarría *et al.*, (2012) quienes concluyeron que la respiración microbiana mostró mayores valores en los bosques de referencia en comparación con sistemas agroforestales y un sistema de café sin sombra.

Es importante resaltar que las diferencias en la intensidad de uso del suelo se relacionan con diferencias en respiración edáfica, que mide la actividad microbiológica y de la microfauna del suelo (Di Ciocco *et al.*, 2014). Estos autores encontraron que la respiración edáfica fue significativamente mayor en los pastizales naturalizados que en los sistemas con agricultura, donde la perturbación del medio edáfico es mayor.

Otro aspecto relacionado con los menores niveles de respiración edáfica en el tratamiento 3 pudo deberse a que en esta parcela se usó la maquinaria agrícola para la preparación del suelo, lo que, podría haber afectado la estructura (Bennitende *et al.*, 2012), reduciendo la actividad biológica de los microorganismos edáficos.

A modo de resumen se puede plantear que los tratamientos pertenecientes al sistema silvopastoril (T6) y el platanal con efluentes del biodigestor (T2) fueron los que mejores resultados mostraron para los indicadores estudiados.

En tal sentido Chará *et al.*, (2015) resaltan la importancia de los sistemas silvopastoriles intensivos (SSP i - árboles con pastos mejorados) los cuales generan beneficios a escala de finca, tales como el mejoramiento en la productividad del suelo, la conservación del agua y el reciclaje de nutrientes

fundamentales para el sistema como son el nitrógeno y el fósforo, entre otros. Estos beneficios se traducen en mayores rendimientos, menores costos de producción, menor dependencia de insumos externos, menos vulnerabilidad al cambio climático y mayor control natural de las plagas y las enfermedades. De igual manera, por sus efectos sobre el ciclo del carbono, la regulación hidrológica y el incremento de la biodiversidad, los SSPi prestan importantes servicios a la sociedad en general.

Por su parte varios autores destacan la calidad de los efluentes del biodigestor para ser utilizado como un bioabono su uso en diferentes cultivos ha posibilitado un notado incremento en la productividad de estos (Pinzón, 2017); también ha sido destacado por su excelente relación C/N (Fragela *et al.* , 2010).

Los efluentes del biodigestor contienen una considerable cantidad de nutrientes de importancia agronómica. La composición del efluente o bioabono en promedio tiene 8,5 de materia orgánica, 2,6% de nitrógeno, 1,5% de fósforo, 1,0% de potasio y un ph de 7,5 (Botero y Preston, 1987). Según estos autores el efluente del biodigestor puede ser utilizado como abono orgánico, puesto que la digestión anaerobia, comparada con la descomposición de las excretas al aire libre disminuye las pérdidas para el nitrógeno y para el carbono. Dentro del biodigestor no existen pérdidas apreciables para el fósforo, potasio y calcio contenidos en las excretas.

Estos resultados indican que un conjunto de prácticas agroecológicas de manejo del suelo, tales como el uso del estiércol animal, el uso de los efluentes del biodigestor y el biogás, entre otras, impactan positivamente en el grado de integración agricultura-ganadería en la Finca La Paulina, además tienen efecto sobre la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica y la respiración del suelo, por lo que estos indicadores son relevantes para valorar estas prácticas.

Conclusiones

- La caracterización de la Finca La Paulina permitió determinar las prácticas agroecológicas del manejo de suelo que se emplean con el objetivo de incrementar la productividad.
- La introducción de prácticas agroecológicas tiene un efecto positivo sobre los indicadores biológicos de la calidad del suelo.
- Las distintas prácticas implementadas repercuten sobre la macrofauna edáfica, referente a la densidad de la macrofauna los tratamientos menos perturbados alcanzaron los valores más altos siguiendo el gradiente: Silvopastoril (T6) – Platanal con efluentes (T2)-Yuca+calabaza (T4)-Platanal (T1)-Pastizal (T5) – Yuca manejo convencional (T3).
- La biomasa de la macrofauna refleja variaciones entre los tratamientos; no existió una diferencia marcada en este indicador para los tratamientos con un manejo similar donde se implementaron las prácticas agroecológicas (T2, T4 y T6).
- La respiración mostró una menor variabilidad en correspondencia con los niveles de materia orgánica presentes en cada uno de los tratamientos.

Recomendaciones

- Profundizar en los estudios del efecto de las prácticas de manejo agroecológico del suelo sobre los indicadores biológicos de la calidad del mismo.
- Ampliar estos estudios en agroecosistemas con distintos tipos de suelo y limitantes agroproductivas.
- Capacitar a los productores en cuanto a la implementación de prácticas de manejo agroecológico del suelo.

Referencias bibliográficas

- Alkorta, I. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. *Rev. Environ. Health*. 18:65, 2003.
- Altieri, M.A. & Nicholls, Clara I. *The adaptation and mitigation potential of traditional Agriculture in a changing climate*. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45901748/trad_ag_ad_climate_change.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1511457039&Signature=dIhV5pNV67X3m0XWBGWxq%2B337s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20.filename%3DThe_adaptation_and_mitigation_potential.pdf. 2013, [25/09/2017].
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., & Mitchell, J.P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*. 90 (1): 25-45, 2002.
- Astier, M.; Maass, M. & Etcheverts, J. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 36 (5):605, 2002.
- Bardgett, R.D. & van der Putten, W.H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*. 515 (7528):505-511, 2014.
- Baretta, D.; Gardner, G.B. & Nogueira, E.J.B. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s) Número Especial. 26 (2):135, 2010.
- Barros, Eleusa; Grimaldi, M.; Sarrazin, M. Soil physical degradation and changes in microfaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology*. 26 (2):157-168, 2004.
- Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernández, T.; García, C. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*. 147:159-171, 2008.
- Bennitende, S.; Bennitende, M.; David, D.; Sterren, M.; Saluzzio, M. Caracterización de indicadores biológicos y bioquímicos en alfisoles, molisoles y vertisoles de Entre Ríos. *Ciencia del Suelo*. 30 (1): 23-29, 2012.
- Birgé, H.; Bevens, Rebecca; Allen, C.; Angeler D.; Baer, Sara & Wall, Diana. Adaptive management for soil ecosystem services. *Journal of Environmental Management*. 183 (2): 371-378, 2016.

- Bloem, J.; Hopkins, D. & Benedetti, A. Microbiological methods for assessing soil quality. CAB International. Wallingford, UK, 2008, 320 pp.
- Botero, B.M. y Preston, T. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia, 1987.
- Bottinelli N.; Jouquet, P.; Podwojewski, P.; Grimaldi, M. & Peng, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil Till. Res*, 146:118-124, 2015.
- Bouma, J.; Van Ittersum, M.K.; Stoorvogel, J.J.; Batjes, N.H., Droogers, P.; Pulleman, M.M. Soil capability: exploring the functional potentials of soils. In: Field, D.J.e.a. (Ed.), Global Soil Security. Springer International Publishing, Switzerland, 2017, 27-44 pp.
- Bronick, C.J.; LAL, R. "Soil structure and management: a review", *Geoderma*, 124 (1): 3-22, ISSN: 0016-7061, 2005.
- Brown, G.G.; Barois, I.; Lavelle, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol*, 2000, 36, 177–198 pp.
- Buckman, H.; Brady, N. Naturaleza y Propiedades de los Suelos; 5ta ed.: Mexico. UTEHA, 1993.
- Bünemann, E.K.; Bongiorno, G.; Bai, Z., Creamer, R.E.; De Deyn, G. & Pulleman, M. Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*. 120:105-125, 2018.
- Cabrera, Grisel.; Robaina, N. & Ponce de León. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:313. 2011.
- Cabrera, Grisel. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 35 (4):349-364, 2012.
- Cabrera, Grisel; Robaina, Nayla & Ponce de León, D. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 4:313, 2011a.

- Cabrera, Grisel; Robaina, Nayla. & Ponce de León, D. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34: 331, 2011b.
- Cabrera, Grisel. Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 2014. 35(4): 349-364, 2014.
- Cabrera, Grisel; Socarrás, Ana A.; Hernández-Vigoa, Guillermina; Ponce de León-Lima, D.; Menéndez-Rivero, Yojana I. & Sánchez-Rendón, J. A. Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 40 (2):118-126, 2017.
- Campitelli, Paola.; Aoki, A.; Gudelj, O.; Rubenacker, Andrea, & Sereno, R. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*. 28(2): 223-231, 2010.
- Carter, M.R.; Gregorich, E.G.; Anderson, D.W.; Doran, J.W.; Janzen, H.H. y Pierce, F.J. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands, 1997.
- Casimiro, Leidy; Casimiro, J. A & Suárez, J. Bases metodológicas. Estudio de caso. En: *Resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPFIndio Hatuey, 2017, 59-152 pp.
- Cervantes, M. Abonos Orgánicos, (2004): Disponible en: www.infoagro.com. [Consultado: 3 de marzo 2018].
- Chará, J.; Camargo, J. C.; Calle, Zoraida; Bueno, Liliana. Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos. Mejoramiento del suelo y restauración ecológica. En: Florencia Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola y Beatriz Eibl, eds. *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*, 2015. Serie técnica. Informe técnico No. 402. Turrialba, Costa Rica: CATIE, Cali, Colombia: Fundación CIPAV. 454 pp.
- Chavarrián, A.; Soto, G., Virginio, E. Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *Revista InterSedes* 2012, 8(26):85-105.

- Cardoso, I.; Duarte, E.; Fernández, R., Gómez, L. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic rainforest biome. *Agricultura Ecosystems and Environment*, 2012, 146:179-196 pp.
- Chávez, L.; Labrada, Y. & Álvarez, A. Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 39 (3):111-115, 2016.
- CITMA. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. "Estrategia Ambiental Nacional, 2010.
- Coyne, M. Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo. ITP An Internacional Publishing company, 2000.
- Creamer, R.; Hannula, S.; Van Leeuwen, J.; Stone, D.;Rutgers, M., Schmelz, R. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. *Applied Soil Ecology*, 2016, 97, 112–124 pp.
- Dale, V.; Peacock, A.; Garten Jr, C.; Sobek, E.; & Wolfe, A. Selecting indicators of soil, microbial, and plant conditions to understand ecological changes in Georgia pine forests. *Ecological indicators*. 8 (6), 818-827, 2008 pp.
- Dalurzo, H. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). Facultad de Ciencias Agrarias, 2002.
- Daynes, C.; Field, D.; Saleeba, J.; Cole, M.; Mcgee, P. Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. *Soil Biology and Biochemistry*. 57(0): 683-694, 2013.
- De Kimpe, C.; Prasittiketh, J. Soil indicators for sustainable land use. aper No. 2285. Proceedings of 17th World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, 2002.
- De Vries, F.; Thébault, E.; Liiri, M.; Birkhofer, K.; Tsiafouli, M. & Bjørnlund, L. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. 110:14296-14301, 2013.
- Di Ciocco, C.; Sandler, R.; Falco, L.; & Coviella, C. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 46(1): 0-0, 2014.

- Doran, J.; Parkin, T. Defining and assessing soil quality. In: Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA, 1994, 3-21 pp.
- Doran, J. & Jones, A. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America Special Publication. Soil Science Society of America, Madison, WI, 1996, vol. 49.
- Doran, J. & Zeiss, M. Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Appl. Soil Ecol.* 15:3, 2000.
- FAO. Aumenta la degradación del suelo a nivel mundial. 2008 [Disponible en:] <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>.
- FAO. Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Roma: FAO, 2016.
- Febles, J. Transformando el Campo Cubano. Avances de la Agricultura Sostenible. ACTAF. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, 2001, 165 pp.
- Feijoo, A.; Zúñiga, María C.; Quintero, H. & Lavelle, P. Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Pastos y Forrajes.*, 2007, 30:235.
- Ferrás, H.; Martell, A.; Socarrás, Ana A.; Rodríguez, M.; Ricardo, & López, C. *Paquete Informático de Bioindicadores. Informe final de Proyecto*. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA, 2010.
- Ferreras, L.; Toresani, S.; Bonel, B.; Fernández, E.; Bacigaluppo, S., Faggioli, V. & Beltrán, C. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo.* 27 (1):103-114, 2009.
- Fontana, M.; Sánchez, L.; Zarate, J.; Sterren, M.; Benintende, S. & Barbagelata, P. Relación entre indicadores biológicos de calidad de suelo, sistemas de labranzas y productividad de cultivos. Relationship between biological indicators of soil quality, tillage systems and crops productivity. *RCA. revista científica agropecuaria.* 19 (1-2), 2015.
- Fragela, M.; Boffil, C.; Álvarez, J. Evaluación del nivel de impacto al suelo en un sistema agrícola perteneciente a la Finca Agroecológica "Primavera", 2010 67 pp. Monografías UMCC.
- Francaviglia, R. Agricultural Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analyses. OECD. Paris, Francia, 2008.

- Galantini, J.; Rosell, R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid, 2011.
- García, M.; Ponce de León, D.; Acosta, Y. & Martínez Acosta, L. Influencia de la *Canavalia ensiformis* (L). DC en la actividad biológica y distribución de los agregados del suelo en un área dedicada al cultivo del tabaco. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 24(1): 59-64, 2015.
- García, Anicia.; Nova, A. & Cruz, Betsy A. Despegue del sector agropecuario: condición necesaria para el desarrollo de la economía cubana. En: *Economía cubana: transformaciones y desafíos*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 2014, 197-260 pp.
- García, C. & Hernández, T. Introducción. En: *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos de Suelos: Medidas de actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. (Eds. C. García, F. Gil, T. Hernández, C. y C. Trasar). Mundi-Prensa. Madrid, ES, 2003, 7 pp.
- García, C. Enmiendas orgánicas para suelos basadas en residuos orgánicos. Discurso de ingreso leído por el Académico electo en el acto de la Sesión Solemne de su Toma de Posesión como Académico de Número. Academia de Ciencias de la Región de Murcia. Murcia, 2008, 78 pp. [Disponible en:] <http://www.acc.org.es/docos/de2008/DiscursoInvestiduraCarlosGarcia.pdf>.
- García, Y.; Ramírez, Wendy & Sánchez, Saray. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35 (2): 125-138, 2012.
- García, Y.; Ramírez, Wendy. & Sánchez, Saray. Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica en la provincia Matanzas. *Pastos y Forrajes*. 37 (3):313-321, 2014.
- Garrigues, E. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. *Ecological indicators*. 18:434, 2012.
- Gassen, D.; Gassen, F. Semeadura direta: o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996, 207 pp.
- Gassen, D. & Gassen, F. Plantio direto o camino do futuro. Passo Fundo. Aldeia Sul, BR, 1996, 207 pp.

- Gholami, S.; Sayad, E.; Gebbers, R. Spatial analysis of riparian forest soil macrofauna and its relation to abiotic soil properties. *Pedobiologia*. 59: 27-36, 2016.
- Giuffré, L. Indicadores ambientales. En: Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad. (Ed. L. Giuffré). EFA-Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina, 2008, 493 pp.
- González, Y.; Martínez, J.; Miliáns, J.; Rubido, M. "Influencia de la alternancia de cultivos en la actividad micro- biológica de un suelo tabacalero de Pinar del Río", *Cubatabaco*. 10 (1): 37-41. ISSN-0138-7456 pp. 2009.
- Granados, A. & Barrera, J. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama, Bogotá, DC Universitas Scientiarum. *Revista de la Facultad de Ciencias*. 12 (2):73, 2007.
- Hernández, A. Some criteria about Global Soil Change in Cuba. In: International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología, UNAM, México, 2005.
- Hernández, A. Cambios globales de los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles Ródicos Éutricos) de la provincia de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 27 (2):41, 2006.
- Hernández, L. Creación y desarrollo de Organizaciones Socialistas de Base Tecnológica para el sector agropecuario incubadas en Instituciones de la Educación Superior cubana. Tesis en opción al grado científico de Dr.C. Técnicas. Universidad de Matanzas, Cuba, 2010, 100 pp.
- Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. & Castro, N. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015, 91 pp.
- Herrick, J. ESoil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*. 15:75, 2000.
- Höfer, H. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*. 37: 229, 2001.
- Huerta, Esperanza.; Rodríguez, Jannet.; Evia, Isabel.; Montejo, E.; Mondragón, Marcela & García, R. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*. 26 (2):171, 2008.

- Iermanó, M. *Sistemas mixtos familiares de agricultura y ganadería pastoril de la Región Pampeana: eficiencia en el uso de la energía y rol funcional de la agrobiodiversidad* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales), 2015.
- Instituto de Suelos. Mapa de suelos escala 1:25000. MINAGRI. La Habana, Cuba, 1989.
- Instituto de Suelos. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. Agrinfor. La Habana, Cuba, 2001, 39 pp.
- Isermeyer, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. [en línea] ISSN: 1436-8730, DOI-10.1002/jpln.19520560107, 56 (1-3): 26-38, 1952.
- Jean, R. & Blanchart, E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. *Soil Biology & Biochemistry*. 37:1093, 2005.
- Jones, C.; Lawton, J. & Shachak, M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*. 69:373, 1994.
- Karlen, D.; Mausbach, M.; Doran, J.; Cline, R.; Harris, R. & Schuman, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*. 61 (1):4-10, 1997.
- Karlen, L.; Ditzler, Craig A.; Andrews, Susan. Soil quality: why and how? *Geoderma*. 114 (3-4): 145-156, 2003.
- Kavdir, Y. & Smucker, A. Soil aggregate sequestration of cover crop root and shoot derived nitrogen. *Plant Soil*, 2005, 272:263.
- Larson, W.; Pierce, F. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Defining soil quality for a sustainable environment 1994, 37-51 pp.
- Lavelle, P. & Spain, A. Soil ecology. The Netherlands: Kluwer Academic.
- Lavelle, P. Ecological challenges for soil science. *Soil Sci*. 165 (1):73-86, 2000.
- Lavelle, P. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. Myths and Science of Soil of the Tropics. Special publication No. 29. Washington, D.C. USA. Soil Science Society of America, 1992.
- Lavelle, P. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res*. 24:93,1997.

- Lavelle, P.; Decaëns, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P.; Mora, P.; Rossi, J. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol*, 2006, 42, S3–S15. doi10.1016/j.ejsobi.10.00. 2006.
- Lavelle, P.; Spain, A.; Blouin, M.; Brown, G. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. *Soil Sci*. 181 (3/4), 2016.
- Ley N° 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 11 de julio de 1997. República de Cuba, 1997.
- Ley. "del Medio Ambiente." *Gaceta Oficial de la República de Cuba* 7 (81), 1997.
- Lok, S. Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción de ganado vacuno. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. ICA. La Habana, Cuba, 2005, 119 pp.
- Martínez, F. & García, Clara. Abonos orgánicos. En: F. Funes-Aguilar y L. L. Vázquez-Moreno, eds. *Avances de la Agroecología en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2016, 109-140 pp.
- Martínez, F.; García, Clara, Gómez, L.; Aguilar, Yulaidis,; Martínez, R.; Castellanos, N y Riverol M. MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS EN LA AGRICULTURA CUBANA. *Agroecología*. 25-38, 2017.
- Mausel, P. W. Soil quality in Illinois—an example of a soils geography resource analysis. *The Professional Geographer*. 23 (2): 127-136, 1971.
- Mesa, María A.; Echemendía, Mayra.; Valdéz, R. Millenium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Pre. ed. Washington, DC, 2005.
- Morales, J. & Sarmiento, Lina. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. *Ecotropicos*. 15 (1):99, 2002.
- Moreno, Carla.; González, María Isabel & Egido J. Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Revista Científica Ecuatoriana*. 2 (1): 2015.
- Morón, A. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de suelos para una agricultura sustentable. INPOFOS-FERTILIZAR, 2004, 29 pp.

- Mortola, N. & Lupi, A. Indicadores de calidad de suelo para el manejo sustentable de los agroecosistemas productivos en Argentina. VI Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. México, 2011.
- Moura, E.; Aguiar, A.; Piedadea, Alexandra. & Rousseau, G. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. *Appl. Soil Ecol.* 86:91-99, 2015.
- Nannipieri. A comparison of indexing methods to evaluate quality of horticultural soils. Part II. Sensitivity of soils microbiological indicators. *Soil Res.* 52:409- 418, 2014.
- Nortcliff, Stephen. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* vol. 88(2): 161-168, 2002.
- Pampean, T. Contribution of legume. *Soil and Tillage Research.* 87:72-79, 2006.
- Pinzón, C. Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas *Revista de Investigaciones Agroempresariales.* 3(1): 89-96, 2017.
- Pla, I. Degradación de suelos y desertificación. En: Memorias III Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos y Desertificación. SECS. Fuerteventura, Canarias, España ,2007.
- Powers, J.; Baritz, R.; Adair, E. "Decomposition in tropical forests: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient", *Journal of Ecology.* 97: 801-811, ISSN: 0022-0477, 2009.
- Pulleman, M.; Creamer, R.; Hamer, U.; Helder, J.; Pelosi, C.; Pérès, G.; Rutgers, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. *Curr. Opin. Environ. Sustain* 4: 529–538. doi10.1016/j.cosust.2012.10.009, 2012.
- Robaina, N. Caracterización de las comunidades de la biota edáfica en los suelos de composición ferralítica de la Llanura roja de La Habana bajo diferentes usos de la tierra. Tesis presentada en opción al Grado de Máster en Ciencias del suelo. La Habana, 2010, 99 pp.
- Rodríguez, D. La conservación y el mejoramiento de los suelos en Cuba, medidas para su manejo sostenible. Congreso de suelos, Cuba. Palacio de convenciones La Habana, 2015.

- Ross, S. Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation. *Progress in Physical Geography*. 17: 265-305, 1993.
- Rotenberg, D.; Wells, A.; Chapman, E.; Whitfield, A.; Goodman, R.; Cooperby, L. Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals. *Soil Biology and Biochemistry*. 39 (11): 2936-2948, 2007.
- Rousseau, L.; Fonte, S.; Téllez, O.; Hoek, R. & Lavelle, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecol. Indice*. 27:71-82, 2013.
- Rufino, M.; Hengsdijk, H. & Verhagen, A. Analyzing integration and diversity in agroecosystems by using indicators of network analysis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*. 84:229-247, 2009.
- Ruiz, N.; Mathieu, J.; Célini, L.; Rollard, C.; Hommay, G.; Iorio, E. & Lavelle, P. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. *Soil Biol. Biochem*. 43: 2032-2045, 2011.
- Salmón, Yamilka. *Evaluación de la funcionalidad de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica Las Palmitas del municipio Las Tunas*. Tesis en opción al título académico de Máster en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2011.
- Sánchez, S. & Reyes, F. Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de *Morus alba* y leguminosas arbóreas. *Pastos y Forrajes* 26:315, 2003.
- Sánchez, S. & Guridi, F. La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 39 (3):116-124, 2016.
- Sarandón, S. & Flores, C. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, 2014.
- Sarandón, S. & Flores, Claudia. "Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica." *Agroecología*. 4: 19-28, 2009.

- Schon, N. & Mackay, A.; Yeates, G. & Minor, M. Separating the effects of defoliation and dairy cow treading pressure on the abundance and diversity of soil invertebrates in pastures. *Appl. Soil Ecol.* 46:209, 2010.
- Shukla, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Till. Res.* 87:194, 2006.
- Silva, L.; Resende, A.; Dias, P.; Correia, Maria. & Scoriza, R. Soil macrofauna in wooded pasture with legume trees. *Ciênc. Rural.* 45 (7):1191-1197, 2015.
- Socarrás, Ana. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes.* 36(1): 5-13, 2013.
- Souza, Sheila T.; Cassol, P.; Baretta, D.; Bartz, Marie L.; Klauberg Filho, O.; Mafra, Á. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 40e0150248 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832016000100417&lng=es&nrm=iso&tlng=en, 2016.
- Szanser, M. Impact of litter species diversity on decomposition processes and communities. *Soil Biology & Biochemistry.*43:9, 2011.
- Tamayo, R. El suelo muere lentamente. Suplemento Científico Técnico, 2002 [Disponible en:] <http://www.jrebelde.cubaweb.cu>.
- Tantachasatid, P.; Boyer, J.; Thanisawanyankura, S.; Séguy, L. & Sajjaphan, K. Soil macrofauna communities under plant cover in a no till system in Thailand. *Agriculture and Natural Resources.* 51:1-6, 2017.
- Tsiafouli, M.; Thébault, E.; Sgardelis, S.; Rüter, P.; Putten, W.; Birkhofer, K. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global change biology.* 21(2): 973-985, 2015.
- Vargas, R. Plan de implementación de la alianza regional de suelos. VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. La Habana: Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura y Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, 2015.
- Velásquez, E. Cambios en las comunidades de plantas influenciados por la macroagregación del suelo a través de las actividades de la macrofauna del suelo en la Amazonia Brasileira, 2009 [Disponible en:]

http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadedesolo/pdf/Resumos/Painel3_Velasquez E.pdf.

Velásquez, Elena, Lavelle P, & Andrade ,Mercedes. "GISQ, a multifunctional indicator of soil quality." *Soil Biology and Biochemistry*. 39.12 3066-3080, 2007.

Veresoglu, S.; Halley, J. & Rillig, M. Extinction risk of soil biota. *Nat. Commun*, 6:886, 2015.

Wardle, D & Bardgett, R.D. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies*. 173:5, 2004.

Wilson, M. Indicadores de Calidad de Suelo. Paraná, Argentina, 2007.

Zerbino, M. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana*. 2 (ns):189.

Zerbino, María. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis presentada para obtener el grado de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad de La República. Montevideo, Uruguay, 2007, 92 pp.

Zerbino, S. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*. 12 (1):44, 2008.

Anexos

Diagnóstico de las fincas.

Características generales:

Ubicación: _____

Área total: _____ Área ganadera _____ Área agrícola _____

Objetivo de la Producción: autoconsumo familiar ___ acopio ___ mercado agropecuario _____

Otras (especificar) _____ (expresarlo en % aproximado del destino)

Fuerza Laboral: Total _____ Hombres _____ Mujeres _____

Labor que realizan: agrícola _____ Ganadera ___ Viveros ___ Frutales _____

Organopónico _____

Huerto _____ Hogar _____ Otras (especificar) _____

Núcleos familiares _____ Población Total _____

Cuántas personas viven del ingreso familiar _____

Cuántas personas trabajan fuera de las tierras de la familia _____

Ingresos personales promedio por persona por año o mes _____

Tipo de suelo _____

¿Cómo son sus suelos? Según apreciación de los productores.

Profundidad: Profundo () Poco profundo () No sabe ()
)

Estructura: Buena () Regular () Mala () No sabe ()

Textura: Arenoso () Limoso () Arcilloso () No sabe ()

Productividad : Buena () Regular () Mala () No sabe ()

Pedregosidad: Si () No () No sabe ()

Topografía: Llana () Ondulada () Montañosa () No sabe ()

Color: No sabe ()

Acidez: Si () No () No sabe ()

Salinidad: Si () No () No sabe ()

Baja retención de Si () No () No sabe ()
humedad

Erosión o Baja () Media () Alta () No sabe ()
escurrimiento

Para aumentar la fertilidad del suelo cuales de las siguientes técnicas se usan actualmente:

Rotación de cultivos () Intercalamiento () Uso de compost () Lombricultura ()
 Uso de estiércol () Desechos () Abonos verdes () Rhizobium () Micorrizas ()
 Otros biofertilizantes () Rocas minerales () Fertilizantes químicos ()
 Incorporación de los residuos de cosecha () Labranza mínima () Cultivos de
 cobertura () Arrope () Aplicación de Cachaza ()

Otro:

Para prevenir la erosión del suelo cuales técnicas emplean:

Cultivo en franjas (), siembra de árboles () Barreras vivas () Barreras
 mecánicas, piedras, palos, etc () Cultivos de cobertura del suelo () Cultivo en
 terrazas () Cultivo en contorno () Labranza cero () Arrope del suelo ()

Otro: _____

Riego Si () No () Tipo _____

Superficie bajo riego _____ Fuente de abasto de riego: Agua superficial ()
 Acueducto () Pozo ()

Para conservar o manejar el agua disponible para los cultivos, cuales de las siguientes técnicas usan:

Sembrar en la temporada () Aplicación de materia orgánica al suelo () Uso de variedades resistentes a la sequía () Uso del arroje del suelo () Uso de cultivos con raíces profundas () Uso de cultivos de cobertura () Policultivos () Uso de sistemas de riego eficiente () Captura y almacenaje de agua de lluvia ()

Labranza horizontal del suelo (multiarado) ()

Otro (Cual) _____

Cuáles son los factores limitantes para el uso del riego y las técnicas alternativas

Falta conocimiento / entrenamiento () Disponibilidad de Insumos () Mano de obra para su implementación () Falta de crédito para compra () falta confianza en la técnica ()

Otro (especificar) _____

Si tuviera acceso a sistemas de riego, los usarían Si () No ()

¿Por qué? _____

Tipo _____

Cultivos agrícolas, frutales, medicinales, plantas de condimento y otras en existencia

Cultivos	superficie	Rendimiento	Costo	Cultivos	superficie	Rendimiento	Costo

Uso actual de recursos:

Insumo	Cantidad aplicada (kg, qq, litros)	De donde proviene
Fertilizantes químicos		
Fertilizantes orgánicos		
Herbicidas químicos		
Plaguicidas químicos		
Bioplaguidas		
Combustibles (¿Cuál?)		

Cuánto cuestan los insumos

Fertilizantes químicos	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Fertilizantes orgánicos	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Herbicidas químicos	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Plaguicidas químicos	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Bioplaguidas	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Combustibles gasolina	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()
Combustibles Diesel	Caro ()	Medio ()	Barato ()	No sabe ()

Para aumentar los rendimientos ¿Qué medidas agrotécnicas faltan?

Calidad () y disponibilidad de la semilla (), Combustible para riego () y para maquinaria () implementos agrícolas () fertilizantes () Plaguicidas () Nuevas tecnologías alternativas () Mano de obra () Mas superficie (área) () Otras (especificar) _____

Para aumentar los rendimientos ¿Qué medidas no agrotécnicas faltan?

Información y consejo () Intercambio con otros productores () Disponibilidad de crédito () mejor precios de compra () Entrenamiento técnico () Entrenamiento en organización () Mejores incentivos para el productor () Mayor autocontrol de la producción () Otra (especificar) _____

¿Se utiliza la Rotación Si () No () y/o asociación si () No () de cultivos?

Cantidad y tipo de ganado: vacuno _____ Caballar _____ ovino/caprino _____ porcino _____ cunícula _____ aviar _____ otros (especificar) _____

Tipo de alimentos para animales: pastos Si () No () harinas y tortas Si () No () soya Si () No ()

girasol Si () No () maíz Si () No ()

otros (especificar) _____

Externos _____ Producidos en la finca _____

Arborización: Si () No () Viveros Si () No () frutales Si () No () Forestales Si () No ()

Fertilización Si () No ()

	Tipo	Cantidad aplicada	Costo
Química			
Orgánica			

Implementos y equipos agrícolas (incluye tracción animal)

	Prep. suelo	Siembra	Cultivo	Cosecha	Transporte
Tractores					
Bueyes					
Camiones					
Manual					
Carretas					
Arado vertedera					
Arado discos					
Multiarado					
Surcador					
Grada discos					
Grada pinchos					
Tiller					
Sembradoras					
Escardadoras					
Asperjadoras					
Motomochilas					
Mochilas					
Cosechadoras					
Desgranadoras					
Molinos					
otros					

Qué tipo de asistencia técnica reciben

Tipo	Si	No	De donde/ quien	Semanal	Mensual	Anual
Fertilidad de las plantas						
Plagas y enfermedades						
Semillas						
Riego						
Preparación del suelo						
Fitotecnia						
Procesamiento/comercialización						
Otra (especificar)						

A su entender, cuáles son sus principales problemas, no mencionados anteriormente y que solución usted piensa que tengan.