



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Región Norte, Agro cadena de Maíz

Informe Final

Indicadores biológicos de calidad del suelo en el sistema maíz - abonos verdes

Carlos Esteban Monzón de Mata

Investigador Principal

Noviembre, 2020

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores y de la institución a la que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

NDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	MARCO TEÓRICO	2
2.1	CALIDAD DEL SUELO.....	2
2.2	INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO	3
2.3	BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO.....	4
2.4	RESPIRACION DEL SUELO	5
2.5	ACTIVIDAD RESPIRATORIA ESPECÍFICA O COCIENTE METABÓLICO .	5
2.6	COCIENTE MICROBIANO.....	6
2.7	FAUNA DEL SUELO	6
3	OBJETIVOS.....	7
3.1	Objetivo general.....	7
3.2	Objetivos específicos	7
4	HIPÓTESIS.....	8
5	METODOLOGÍA	8
5.1	Localidades.....	8
5.2	Muestreo, preparación de muestras y análisis de las muestras.....	8
5.3	Variables de respuesta.....	9
5.3.1	Propiedades físico-químicas del suelo.....	9
5.3.2	Biomasa microbiana	10
5.3.3	Respiración del suelo.....	10
5.3.4	Cociente metabólico	10
5.3.5	Cociente microbiano.....	11
5.3.6	Número de individuos y órdenes de la mesofauna del suelo	11
5.4	Manejo del experimento	11

5.4.1	Extracción de muestras del suelo.....	11
5.4.2	Manejo de muestras de suelo	12
5.4.3	Análisis físico químico de muestras de suelo	12
5.4.4	Extractor de fauna del suelo.....	13
5.4.5	Biomasa microbiana	13
5.4.6	Respiración microbiana.....	14
5.4.7	Determinación de órdenes y número de individuos por muestra	14
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
6.1	Análisis químico del suelo	16
6.2	Biomasa microbiana	18
6.3	Respiración microbiana	19
6.4	Cociente metabólico	20
6.5	Cociente microbiano	21
6.6	Mesofauna del suelo	22
7	CONCLUSIONES.....	25
8	RECOMENDACIONES	25
9	BIBLIOGRAFÍA.....	26
10	ANEXOS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Identificación de las muestras.	15
Tabla 2: Resultados de los contenidos de pH, P (ppm) y K (meq/100 g) de los suelos con y sin incorporación de abono verde (AV) en cultivo de maíz.	17
Tabla 3: Porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico del suelo en parcelas con y sin abonos verdes.	18
Tabla 4: Localización de las muestras.....	30
Tabla 5: Resultados de análisis físico-químico del suelo.	31
Tabla 6: Resultados físico-químicos del suelo.	32
Tabla 7: Clase textural del suelo.....	33
Tabla 8: Carbono de la biomasa microbiana en parcelas con y sin abono verde	34
Tabla 9: Flujo de carbono proveniente de la respiración de microorganismos del suelo, en parcelas con y sin abonos verdes.....	35
Tabla 10: Número de individuos y de órdenes de la mesofauna del suelo.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Análisis físico-químico del suelo.....	9
Figura 2: Estimación de la biomasa microbiana.....	10
Figura 3: Estimación de la respiración del suelo.....	10
Figura 4:Determinación del número de individuos y órdenes de la mesofauna.....	11
Figura 5:Extracción de muestra biológica de suelo.....	12
Figura 6:Manejo e identificación de las muestras.	12
Figura 7:Análisis físico-químico de las muestras del suelo.	13
Figura 8:Extractor tipo Berlesse.	13
Figura 9:Titulación para obtención de biomasa microbiana.	14
Figura 10: Obtención de la respiración del suelo,	14
Figura 11:Contabilización de individuos y determinación de órdenes de mesofauna del suelo.	15
Figura 12: Biomasa microbiana.....	19
Figura 13: Respiración microbiana.....	20
Figura 14:Cociente metabólico.....	21
Figura 15: Cociente microbiano.	22
Figura 16: Cantidad de órdenes y de individuos.	22
Figura 17: Diversidad de órdenes y cantidad de individuos.....	36

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la incorporación al suelo de la mucuna (*Mucuna pruriens*) cultivada en asocio al cultivo de maíz, sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadoras de su estado de salud o calidad. Para este fin, fueron tomadas muestras de suelo provenientes de campos donde previamente se establecieron experimentos que incluían cultivo de maíz y mucuna posteriormente incorporada, así como en lotes cercanos con cultivo de maíz pero sin leguminosa. Las muestras provenían de parcelas de agricultor de las municipalidades de Panzós en Alta Verapaz, y Fray Bartolomé de las Casas e Ixcán, del departamento de Quiché. Se analizaron las propiedades químicas del suelo y su textura, según el análisis de rutina del Laboratorio de Suelos del ICTA. Se analizó también el carbono de la biomasa microbiana, la respiración de la masa microbiana del suelo, el cociente metabólico y microbiano, y el número de individuos y órdenes de la meso fauna del suelo, como indicadores de calidad del suelo. En términos generales se determinó que la biomasa microbiana del suelo y la respiración del suelo o flujo de CO₂ fueron mayores en parcelas donde se incorporó la mucuna. Así mismo, los otros indicadores reflejaron un mejor estado de actividad microbiana (cociente metabólico) y una mayor contribución microbiana al contenido de materia orgánica del suelo (cociente microbiano). No se observaron cambios importantes en los indicadores químicos del suelo, lo que se atribuye a que la mineralización de la materia orgánica no es inmediata.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effect of the incorporation into the soil of the mucuna (*Mucuna pruriens*) cultivated in association with the cultivation of corn, on the chemical, physical and biological properties of the soil, indicating its state of health or quality. For this purpose, soil samples were taken from fields where previously experiments were established that included cultivation of corn and subsequently incorporated mucuna, as well as in nearby lots with cultivation of corn but without legume. The samples came from farmer's plots of the municipalities of Panzós in Alta Verapaz, and Fray Bartolomé de las Casas and Ixcán, in the department of Quiché. The chemical properties of the soil and its texture were analyzed, according to the routine analysis of the Soil Laboratory of ICTA. The carbon of the microbial biomass, the respiration of the soil microbial mass, the metabolic and microbial quotient, and the number of individuals and orders of the soil meso fauna were also analyzed as indicators of soil quality. In general terms, it was determined that the microbial biomass of the soil and the soil respiration or CO₂ flux were higher in plots where the mucuna was incorporated. Likewise, the other indicators reflected a better state of microbial activity (metabolic quotient) and a greater microbial contribution to the content of soil organic matter (microbial quotient). No important changes were observed in the chemical indicators of the soil, which is attributed to the fact that the mineralization of the organic matter is not immediate.

1 INTRODUCCIÓN

En la región del Polochic, Alta Verapaz, los agricultores que cultivan maíz han adoptado desde hace años la práctica de incorporación de mucuna (*M. pruriens*) como abono verde. El propósito de dicha práctica es mejorar las propiedades de los suelos, contribuir al aporte de materia orgánica y reutilizar los nutrientes. Mayor interés radica en el nitrógeno proveniente de la fijación biológica en este tipo de plantas, con lo cual se persigue mejorar el aporte de este nutriente al cultivo.

La ocupación del suelo con mucuna, ya sea plantada entre las hileras del cultivo de maíz o bien después de la cosecha del mismo, se ha visto que no interfiere con el rendimiento de maíz y, por el contrario, los agricultores han identificado la ventaja de mantener cubierto el suelo para evitar la erosión y disminuir la presencia de plantas indeseables. Aunque en el pasado se han conducido experimentos para cuantificar el aporte de nitrógeno de la mucuna bajo las condiciones del Valle del Polochic, no se ha determinado el efecto de la práctica de cultivo e incorporación de abonos verdes sobre otras propiedades del suelo que son indicadoras de la salud del mismo. Dentro de esas propiedades se mencionan la actividad microbiana y la presencia de fauna del suelo, conformada por diversidad de organismos. Estos parámetros contribuyen en gran medida al desarrollo de la agricultura saludable, donde la presencia de organismos patógenos puede ser contrarrestada por la presencia de enemigos naturales.

Por lo anterior, el uso de leguminosas de cobertura o para ser incorporadas, se debe visualizar no solo para mejorar la nutrición del cultivo, sino también para mejorar el ambiente para los integrantes de las comunidades de organismos edáficos, buscando su diversidad y su incremento. Esta situación está muy relacionada con la capacidad de los suelos para resistir los constantes y muy variados cambios ambientales o, en otras palabras, aumentar la resiliencia de los agro-sistemas.

En el presente informe se muestran resultados de la determinación de indicadores o propiedades biológicas del suelo, en parcelas con y sin incorporación de mucuna (*M. pruriens*) en el cultivo de maíz, buscando visualizar el impacto de esta práctica sobre la calidad y salud del suelo, que de una u otra forma se relaciona con la productividad de las

cosechas y con la tolerancia de los cultivos a situaciones de estrés causadas por las variaciones ambientales, que en las últimas décadas vienen siendo más drásticas.

Para este proyecto se contó con la participación de personal del ICTA que labora en la Región de las Verapaces, quienes se encargaron de coleccionar las muestras de suelo y enviarlas al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas, donde fueron analizadas para la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Se realizó un taller virtual con personal técnico del CINOR, acerca de la forma de obtener, identificar y manejar muestras de suelos para análisis físicos y químicos, y también para el análisis biológico.

Se han podido establecer los protocolos para contar con técnicas de diagnóstico que permitan conocer la fertilidad biológica del suelo, desde el punto de vista de la participación de los organismos que habitan en él, ya que ellos reflejan la dinámica de los nutrientes en el suelo y pueden influenciar su disponibilidad para las plantas. La diversidad de organismos en el suelo puede verse como un indicador de sostenibilidad y un mecanismo por el cual pueden ser controlados organismos nocivos para el desarrollo de los cultivos.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 CALIDAD DEL SUELO

El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America define la calidad del suelo como su capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado (Doran y Parkin, 1996; Karlen et al., 1997). En ese sentido, se asume que un suelo sano es capaz de sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua y asegurar la salud humana y del hábitat (Karlen et al., 1997; Acevedo et al., 2005).

Calidad de suelo, en otros casos referida como salud del suelo, es un concepto surgido en la segunda mitad del siglo pasado (Lowdermilk, 1953), pero retomado con mayor énfasis por diversos autores a partir de los años noventa (Doran y Parkin, 1994, Karlen et al., 1997, Carter et al., 1997). El concepto está muy ligado a las propiedades dinámicas del suelo relacionadas a la materia orgánica y actividad de organismos del suelo (Romig et al., 1995) y se define como la capacidad que tiene un suelo para funcionar adecuadamente por una

escala de tiempo indefinido. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental (Bautista et al., 2004).

2.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Dada la dificultad para definir y medir la calidad del suelo, se ha propuesto el uso de indicadores o variables que puedan servir para medir la condición del suelo a lo largo del tiempo y ante situaciones de manejos diferentes.

Para medir la calidad del suelo es necesario utilizar variables que permitan evaluar la condición del suelo, los cuales son los indicadores de calidad de suelo. Éstas son herramientas que ofrecen información sobre las propiedades, procesos y características del suelo (Bremer and Ellert, 2004). Los indicadores son entonces, parámetros del suelo que cambian a lo largo del tiempo y permiten indicar si la calidad del suelo mejora, permanece constante o decrece, de manera que pueden utilizarse para evaluar el efecto de las prácticas agrícolas sobre la degradación o mejora de las características del suelo que se relacionan con la productividad (Ghaemi et al., 2014).

Los indicadores pueden estar en función de las propiedades físicas, químicas y biológicas, o bien, de los procesos que ocurren en el suelo (Bautista et al., 2004 Larson y Pierce, 1991).

Los indicadores químicos más usados son: la capacidad amortiguadora del suelo, disponibilidad de nutrimentos para las plantas y microorganismos, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y lábil, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total y mineralizado, capacidad de adsorción de fosfatos y disponibilidad de micronutrientes. Dentro de los indicadores físicos son importantes, el grado de estructuración de las partículas de suelo, la densidad del suelo y la capacidad de retención de humedad. (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1996).

Entre los indicadores biológicos se encuentran la biomasa microbiana, la actividad respiratoria del suelo, el cociente microbiano (relación entre la biomasa y su respiración) y la diversidad de los organismos del suelo. Otras propiedades factibles de medir, están relacionadas a la utilización de los recursos orgánicos, como la actividad enzimática, la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, la tasa de descomposición de residuos, así como, la solubilización de compuestos inorgánicos llevados a cabo por los

microorganismos del suelo, la presencia de organismos fijadores de nitrógeno y de hongos micorrízicos que participan en la nutrición de las plantas (Doran y Parkin, 1994 Bautista y Etchevers, 2014).

El uso de indicadores de calidad del suelo, particularmente los biológicos, resulta útil para comparar el efecto de diversas prácticas agrícolas sobre el suelo, a lo largo del tiempo. Los indicadores biológicos son muy sensibles al cambio por lo que la biomasa microbiana y su actividad respiratoria resultan buenos indicadores del uso de la materia orgánica en el suelo (Doran y Parkin, 1994).

2.3 BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO

La biomasa microbiana del suelo es uno de los componentes que controla la descomposición y el acumulo de materia orgánica, así como, las transformaciones envolviendo los nutrientes minerales. Por actuar en procesos de mineralización/inmovilización los microorganismos del suelo son considerados fuente y drenaje de nutrientes (Singh et al., 2007)

La biomasa microbiana es una propiedad fundamental para el reciclaje de los nutrientes y es definida como la parte viva de la materia orgánica del suelo, excluyendo las raíces de las plantas y los animales de tamaño superior al de las amebas mayores (aproximadamente $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$) (Acosta y Paolini, 2006). Se determina por el contenido de carbono o de nitrógeno contenidos en los microorganismos del suelo. Valores para el C de la biomasa microbiana se sitúan entre 1 y 4% del carbono orgánico del suelo y para el N de biomasa entre 2 y 6% del nitrógeno orgánico (Jenkinson y Ladd, 1981).

Roscoe et al., (2006) relatan que correlaciones positivas entre la materia orgánica y la biomasa microbiana del suelo son comúnmente reportadas y mantienen una estrecha correlación. Por lo tanto, la evaluación de la biomasa microbiana ha sido propuesto como un indicador de las alteraciones de la materia orgánica y sugerida como una medida sensible del aumento o disminución de su cantidad (Tótola y Chaer, 2002). Sin embargo, determinaciones de la biomasa microbiana no ofrecen indicaciones sobre la actividad de las poblaciones microbianas del suelo, por lo que es importante realizar otros análisis, como, por ejemplo, la

tasa respiratoria que indica el estado metabólico de las poblaciones de microorganismos del suelo.

2.4 RESPIRACION DEL SUELO

La respiración del suelo es definida como la suma total de todas las funciones metabólicas en la cual es producido el CO₂. Las bacterias y los hongos son los mayores responsables de la liberación de CO₂ en el suelo debido a la degradación de la materia orgánica del suelo (Silva et al., 2007)

La respiración del suelo es la producción y liberación de CO₂ ocurrida cuando los microorganismos descomponen los sustratos orgánicos, para obtener energía para su crecimiento y actividad. Es afectada por la magnitud de la biomasa microbiana, la calidad del sustrato y por diferentes factores del suelo que influyen la mineralización de la materia orgánica (Wang et al., 1997).

Según Cattelan y Vidor (1990), la respiración del suelo posee una estrecha relación con las condiciones abióticas del suelo, entre ellas humedad, temperatura y aireación, como también, de la disponibilidad del sustrato, que influye al desarrollo de la biomasa microbiana.

Jassal et al., (2007) mencionan que la respiración del suelo constituye un evento central de los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global ya que puede determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente o sumidero de CO₂.

2.5 ACTIVIDAD RESPIRATORIA ESPECÍFICA O COCIENTE METABÓLICO

La actividad respiratoria específica, llamada también cociente metabólico (qCO₂), es definida como la tasa de respiración por unidad de biomasa microbiana. Este parámetro indica la eficiencia en incorporar el carbono orgánico a la biomasa microbiana y a la intensidad de la mineralización (Dilly y Munch, 1998). Este parámetro indica que en la medida en que los microorganismos son más eficientes en incorporar el carbono a su biomasa, menos CO₂ es liberado al ambiente y mayor fracción de carbono orgánico es incorporada al tejido microbiano.

2.6 COCIENTE MICROBIANO

Otro indicador útil para medir la actividad microbiana es la relación entre el carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total del suelo, conocido como cociente microbiano (Anderson, 2003).

El qMic integra las propiedades del suelo con relación al grado de colonización microbiana. Altos valores Odel qMic indica que el biotipo favorece el metabolismo energético y el establecimiento de muchos microorganismos (Dilly, 2005); en otros términos, significa mejor calidad del suelo y mayor eficiencia de las comunidades microbianas en el uso del C, de la materia orgánica del suelo.

2.7 FAUNA DEL SUELO

Otros indicadores de calidad de suelo se refieren a la fauna del suelo, constituida por los invertebrados que viven en el suelo o pasan al menos una parte de su vida dentro de él, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial y en los troncos caídos en descomposición. Dependiendo de su diámetro corporal, es clasificada en microfauna, mesofauna y macrofauna. Los organismos de la macrofauna poseen un ancho de cuerpo o diámetro mayor de 2 mm y una longitud igual o mayor de 10 mm; por lo que son posibles de detectar a simple vista, a diferencia de otros invertebrados más pequeños que integran la mesofauna (diámetro entre 0.2 - 2 mm) y la microfauna edáfica (diámetro menor de 0.2 mm) (Brown et al., 2001).

La diversidad y la abundancia de la macrofauna varía en función de la intensidad de uso de la tierra y la aplicación de diferentes prácticas agrícolas. Por tanto, un manejo adecuado del suelo proporcionará una mayor variedad y cantidad de organismos edáficos que puedan ayudar a asegurar el reciclaje de nutrientes, un rápido crecimiento de las plantas y una capacidad productiva sostenible del sistema. Esto sería particularmente importante en áreas cultivadas de bajos insumos y en suelos infértiles (Cabrera-Dávila, 2014).

La mesofauna del suelo está constituida por pequeños invertebrados cuyo tamaño corporal no excede los 2 mm de diámetro (Swift et al., 1979). Ejerce un papel primario sobre los procesos de transformación de la materia orgánica y ciclado de los nutrientes y junto con los microorganismos constituye el grupo de los descomponedores. Numéricamente este grupo constituye el componente más abundante de la fauna del suelo en la mayoría de los

ecosistemas pudiendo alcanzar hasta 300,000 individuos por m² en pastos naturales (Bardgett y Cook, 1998).

Además de su abundancia, la mesofauna está constituida por un grupo muy diverso de especies. En los ambientes diversificados, los ácaros y colémbolos son los más abundantes, ocupando los primeros centímetros de la capa del suelo. Su distribución en el suelo muestra gran variación espacial y temporal, influenciada por diversos factores que afectan la condición de su hábitat. Las condiciones climáticas, principalmente temperatura y precipitación, así como el tipo de suelo y manejo, vegetación y tipo de residuos, así como la intervención humana son factores que afectan la distribución, estructura y composición de las comunidades (Bardgett y Cook, 1998).

En Guatemala los estudios sobre calidad del suelo, utilizando indicadores biológicos, siguen siendo escasos (Alfaro, 2004 y 2014); sin embargo, se considera necesario su utilidad para evaluar el grado de afectación de las prácticas agrícolas, sobre la diversidad de los organismos del suelo, y en la medida de lo posible ir modificando el manejo con prácticas más sustentables, particularmente en los sistemas de monocultivo que existen en nuestro país.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la incorporación de leguminosas sobre las propiedades biológicas del suelo que determinan su calidad.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los indicadores microbiológicos de carbono de la biomasa microbiana, respiración de la biomasa microbiana, cociente metabólico y microbiano en parcelas con y sin aplicación de abonos verdes en cultivo de maíz.
- Identificar y cuantificar el número de individuos y órdenes de la mesofauna del suelo en parcelas con y sin aplicación de abonos verdes en cultivo de maíz.
- Determinar la factibilidad de implementar métodos para el diagnóstico de las propiedades biológicas relacionadas a la fertilidad del suelo el Laboratorio de Suelos de ICTA.

4 HIPÓTESIS

- Los indicadores microbiológicos de carbono de la biomasa microbiana, respiración de la biomasa microbiana, cociente metabólico y microbiano, son más altos en parcelas de maíz donde se ha incorporado mucuna que en donde no se aplicó esta práctica.
- El número de individuos y órdenes de la mesofauna del suelo es mayor y más diversa en órdenes taxonómicos en parcelas con incorporación de mucuna en cultivo de maíz que en aquellas donde no se aplicó esta práctica.
- Es factible desarrollar un método para el diagnóstico de las propiedades biológicas relacionadas a la fertilidad del suelo en el Laboratorio de suelos de ICTA.

5 METODOLOGÍA

5.1 Localidades

El monitoreo de los indicadores biológicos del suelo se realizó en los experimentos sobre maíz y abonos verdes conducidos por la Disciplina de Suelos del ICTA. Estos se encuentran localizados en el Valle del Polochic, Fray Bartolomé de Las Casas, Alta Verapaz, e Ixcán, Quiché. Se monitorearon las propiedades biológicas del suelo al finalizar la estación lluviosa del año 2020.

5.2 Muestreo, preparación de muestras y análisis de las muestras

El muestreo para análisis de la biomasa microbiana y respiración del suelo fue realizado en el estrato de 0 a 5cm, tomando una muestra compuesta de cuatro submuestras en cada unidad experimental. Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio de análisis de suelo donde se determinó el carbono de la biomasa microbiana, mediante el método de fumigación – extracción (Vance et al., 1987).

En las mismas muestras se procedió a analizar la respiración del suelo, según metodología descrita por Anderson (1982) basada en la cantidad de carbono liberado en la forma de CO₂, a partir de alícuotas de 50 g. Las muestras fueron incubadas en recipientes de vidrio herméticamente cerrados, en ambiente oscuro a temperatura ambiente, durante cinco

días. El CO₂ liberado se fijó en una solución de NaOH 1 M que se colocó en los recipientes y que actuó como trampa para la formación de carbonato de sodio.

Para la mesofauna del suelo, en cada parcela se procedió al muestreo y colecta de suelo utilizando un cuadrado de 25 x 25 cm hasta la profundidad de 5 cm. Se colocó en extractores de fauna del suelo (Berlesse-Tulgren) y luego de una semana se recuperaron los organismos capturados, procediendo a identificarlos según orden taxonómico. Se contaron de acuerdo a los grupos identificados. Para ello se utilizó la metodología descrita por Cabrera-Dávila (2014).

Además, se obtuvieron muestras compuestas en el estrato de 0-20 cm, que fueron trasladadas al laboratorio de análisis de suelos y plantas del ICTA, para su análisis químico, para lo cual se siguieron los protocolos ya establecidos.

5.3 Variables de respuesta

Para realizar los análisis se registraron las siguientes variables de respuesta:

5.3.1 *Propiedades físico-químicas del suelo*

Se analizaron las muestras según las metodologías del laboratorio de Análisis de Suelo del ICTA, determinándose textura, pH, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn (resultados completos en anexos).



Figura 1: Análisis físico-químico del suelo.

5.3.2 *Biomasa microbiana*

Se determinó el carbono que corresponde a los microorganismos del suelo. Los resultados fueron expresados en microgramos de carbono de la biomasa microbiana por gramo de suelo seco.



Figura 2: Estimación de la biomasa microbiana.

5.3.3 *Respiración del suelo*

Se determinó el flujo de CO₂ producido por la respiración microbiana del suelo. Los resultados se expresaron en microgramos de CO₂ liberado por gramo de suelo seco por hora.



Figura 3: Estimación de la respiración del suelo.

5.3.4 *Cociente metabólico*

Se obtuvo de la división entre la respiración del suelo y el carbono de la biomasa microbiana, siendo expresado en microgramos de CO₂/gramo de suelo/hora por mg de carbono de la biomasa microbiana ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mg C-BM}^{-1}$).

5.3.5 *Cociente microbiano*

Se obtuvo de la división entre el carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total, expresado en porcentaje.

5.3.6 *Número de individuos y órdenes de la mesofauna del suelo*

Se extrajeron los artrópodos de la mesofauna en un extractor de fauna tipo Berlesse donde, después de un período de siete días, se procedió al conteo de individuos y a la determinación de los órdenes.



Figura 4: Determinación de número de individuos y órdenes de la mesofauna.

5.4 Manejo del experimento

5.4.1 *Extracción de muestras del suelo*

Se procedió a obtener las muestras de suelos en los lugares donde se sembraron los ensayos de abonos verdes. Se obtuvieron muestras para el análisis biológico en parcelas donde se incorporó mucuna, así como en parcelas testigo, donde no hubo incorporación de la leguminosa; esta muestra consistió en obtener el suelo de un cuadrado de 25 cm * 25 cm en el suelo, extrayendo toda la tierra que se encontraba desde la superficie hasta una profundidad de cinco centímetros. Además, se procedió a obtener muestras compuestas para análisis físico químico, tanto del terreno donde se aplicó tratamiento de abonos verdes, como de donde no se aplicó.



Figura 5: Extracción de muestra biológica de suelo.

5.4.2 Manejo de muestras de suelo

Se procedió a guardar la muestra de suelo en una bolsa de plástico la cual se mantuvo en la sombra, previa identificación. Se llenó una boleta con información correspondiente a la procedencia de la muestra, así como del tratamiento de abonos verdes que se aplicó en el lugar donde la misma fue extraída, entre otros datos de relevancia. El traslado hacía la sede central del ICTA se realizó inmediatamente.



Figura 6: Manejo e identificación de las muestras.

5.4.3 Análisis físico químico de muestras de suelo

Se procedió a realizar el análisis físico (textura) y químico de las muestras compuestas obtenidas.



Figura 7: Análisis físico-químico de las muestras del suelo.

5.4.4 Extractor de fauna del suelo

Se construyó un extractor de fauna del suelo (basado en un modelo de extractor Berlesse-Tulgren), que consistió de una estantería de madera, con sujetadores de frascos plásticos, y con las bases para colocar focos sobre éstos, y así obligar a los organismos a dirigirse hasta la parte de abajo donde se tenía un frasco con cloroformo, en donde se depositaron los organismos para ser evaluados.



Figura 8: Extractor tipo Berlesse..

5.4.5 Biomasa microbiana

El suelo fue procesado de inmediato al ser recibida la muestra en el laboratorio. Se pesaron 20 gramos de suelo en duplicado, las muestras fueron fumigadas con 1 ml de cloroformo, los frascos fueron cerrados herméticamente, y se dejaron en incubación por 24 horas. De igual manera se colocaron muestras testigo (sin fumigación). Al día siguiente se procedió a analizar el carbono orgánico de las muestras fumigadas y las no fumigadas. Los resultados fueron expresados en microgramos de carbono de la biomasa microbiana por gramo de suelo seco mediante la siguiente expresión: Biomasa del suelo = (carbono fumigado – carbono no fumigado) / Factor de corrección = 0.33 (Vance et al., 1987).



Figura 9: Titulación para obtención de biomasa microbiana.

5.4.6 Respiración microbiana

En frascos de vidrio herméticos se colocaron 50 gramos de suelo fresco. En el interior del frasco se colocó un pequeño recipiente conteniendo 10 ml de NaOH 0.5 normal, el cual sirvió como una trampa para capturar el CO₂ producido por los microorganismos. Los frascos se cerraron herméticamente y se dejaron en incubación por cinco días, al cabo de los cuales se determinó el CO₂ fijado, mediante una valoración del NaOH con ácido clorhídrico 0.5 normal.



Figura 10: Obtención de la respiración del suelo.

5.4.7 Determinación de órdenes y número de individuos por muestra

Se procedió a evaluar los frascos con formaldehído, en el extractor de fauna, y a través de un estereoscopio se procedió a identificar el orden de los organismos presentes.



Figura 11: Contabilización de individuos y determinación de órdenes de mesofauna del suelo.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta la descripción de las muestras y del tratamiento que éstas representaban.

Tabla 1: Identificación de las muestras.

ID	Trat	Agricultor	Loc.	Aldea	Mun.	Dep.
5B	Sin AV	Alexander Tot	El Cacao 1			Alta Verapaz
44	Con AV	Pedro CuculChoc	El Cacao 1			Alta Verapaz
M7	Sin AV	Eduardo Che	Sexilill		Panz ós	Alta Verapaz
M11	Con AV	Eduardo Che	Sexilill	Telemán	Panz ós	Alta Verapaz
6B	Sin AV	José Luis Chamam	El Cacao 1			Alta Verapaz
PG-3 ^a	Con AV	José García Benito		Santa Catarina	Ixcán	Quiché

PG-3C1	Sin AV	José García Benito		Santa Catarina	Ixcán	Quiché
PG-2^a	Con AV	Adelso Juan		Nueva Esperanza	Ixcán	Quiché
PG-3C	Sin AV	Adelso Juan		Nueva Esperanza	Ixcán	Quiché
M4	Con AV	Emilio Cuc		Santa Mónica	Panzós	Alta Verapaz
M12	Sin AV	Emilio Cuc		Santa Mónica	Panzós	Alta Verapaz
M2	Sin AV	Domingo Chup Pop	La Playa		Panzós	Alta Verapaz
M10	Con AV	Domingo Chup Pop	La Playa		Panzós	Alta Verapaz
5^a	Con AV	Alexander Tot	El Cacao 1			Alta Verapaz
4B	Sin AV	Pedro CuculChoc	El Cacao 1			Alta Verapaz
PG-1C	Sin AV	Gersón García Cuyuch		Lorena	Ixcán	Quiché
PG-1^a	Con AV	Gersón García Cuyuch	Lorena	Lorena	Ixcán	Quiché
M1	Con AV	Arturo Gómez Barrios		Cantinjá	Panzós	Alta Verapaz
M14	Sin AV	Arturo Gómez Barrios		Cantinjá	Panzós	Alta Verapaz
6^a	Con AV	José Luis Chamam	El Cacao 1			Alta Verapaz

Mayor información de las muestras se encuentra en el anexo.

6.1 Análisis químico del suelo

En la tabla 2, se presenta un resumen de los análisis químicos realizados en los ensayos de abonos verdes.

Tabla 2: Resultados de los contenidos de pH, P (ppm) y K (meq/100 g) de los suelos con y sin incorporación de abono verde (AV) en cultivo de maíz.

Procedencia	pH		P (ppm)		K (meq/100g)	
	Con AV	Sin AV	Con AV	Sin AV	Con AV	Sin AV
Panzós, Arturo Gomes	7.23	5.28	nd	Nd	0.49	0.39
Panzós, Domingo Chup Pop	6.80	7.9	113	121	0.52	0.36
Panzós, Emilio Cuc	4.68	5.41	nd	64	0.49	0.66
Panzós, Eduardo Che	7.81	7.93	114	121	0.49	0.51
Fray, Pedro Cucul Choc	6.69	6.59	nd	24	0.67	0.78
Fray, Alexander Tot	5.76	5.56	nd	Nd	0.80	0.66
Fray, José Luis Chamam	6.01	5.86	nd	Nd	0.63	0.71
Ixcán, Jose García Benito	5.02	5.35	nd	Nd	0.68	0.65
Ixcán, Gerson García Cuyuch	5.25	4.56	nd	Nd	0.56	0.36
Ixcán, Adelso Juan	7.99	8.07	59	82	0.68	0.60

nd = no detectado

Se observa que el pH del suelo fue variable en muestras con y sin abono verde. En las parcelas con abono verde el pH varió en el rango de 4.68 y 7.99 y, en las parcelas sin abono verde, de 4.56 a 8.07. En las muestras Panzós Arturo Gómez el pH fue más alto en la parcela con abono verde, por aproximadamente 2 unidades de pH, en comparación al suelo sin abono verde; sin embargo, esto no puede ser atribuido al efecto de incorporación del abono verde, sino al hecho de ser parcelas ubicadas en puntos diferentes, manejadas en forma diferente por el agricultor. En las parcelas de Domingo Chup Pop y Emilio Cuc, las parcelas con abono verde presentaron mayor acidez (aproximadamente 1 unidad de pH); sin embargo, en las parcelas de los agricultores restantes, la diferencia en el pH de parcelas con y sin abono verde no fue mayor de una unidad y no se marcó una tendencia que indique que la incorporación de abono verde cause acidificación del suelo. En algunos casos, el pH puede estar levemente más ácido en las parcelas con abono verde.

Es de notar que el contenido de potasio, en general, es alto en estos suelos (rango de suficiencia para maíz entre 0.1 a 0.3 meq/100 g), lo que puede deberse a la naturaleza del suelo en la región, proveniente de rocas sedimentarias. En relación al contenido de P (ppm) se observa una severa deficiencia en la mayoría de suelos, al no haber sido detectado en los análisis. Posiblemente en estos suelos se presente un problema de fijación de P originado por

el tipo de arcilla, lo que debe ser objeto de investigación. Algunos suelos presentaron valores de P extremadamente altos, en tres localidades, en parcelas con y sin abono verde, sin poderse determinar si esto se debe a las prácticas de fertilización.

En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico cuantificados en las muestras de suelo.

Tabla 3: *Porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico del suelo en parcelas con y sin abonos verdes.*

Procedencia	% M.O.		% C.O.	
	Con AV	Sin AV	Con AV	Sin AV
Panzós, Arturo Gomes	4.99	5.28	3.07	3.26
Panzós, Domingo Chup Pop	4.96	3.87	3.07	2.41
Panzós, Emilio Cuc	4.86	5.91	3.01	3.63
Panzós, Eduardo Che	5.11	5.05	3.16	3.12
Fray, Pedro Cucul Choc	5.34	5.52	3.29	3.40
Fray, Alexander Tot	5.29	5.25	3.25	3.24
Fray, José Luis Chamam	5.61	4.48	3.45	2.77
Ixcán, Jose García Benito	5.13	4.68	3.17	2.90
Ixcán, Gerson García Cuyuch	5.57	5.17	3.42	3.19
Ixcán, Adeldo Juan	4.67	5.09	2.87	3.12

El carbono orgánico y en consecuencia la materia orgánica del suelo se encuentra en niveles adecuados (3 a 5 %) aunque solo en tres de los casos (negrita), las parcelas con abono verde presenten arriba de 0.5% de incremento en el contenido de materia orgánica con respecto a las parcelas sin abono verde. El incremento en el contenido de materia orgánica con la siembra de leguminosas como abonos verdes podría ocurrir luego de varios ciclos de incorporación, pero en estos casos se desconoce qué tan frecuente ha sido esta práctica en las parcelas de muestreo o si los resultados obedecen a la variabilidad de los suelos en los sitios de muestreo.

6.2 Biomasa microbiana

En la figura 12 se presentan los resultados de la cuantificación del carbono proveniente de la biomasa microbiana.

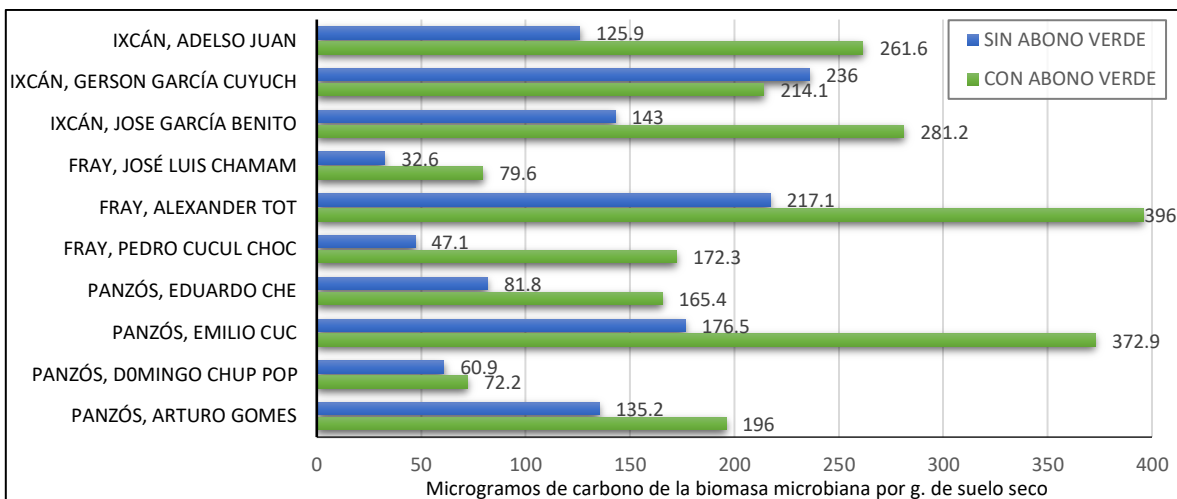


Figura 12 : Carbono de biomasa microbiana.

Al observar la figura 12, es evidente que las parcelas con abono verde presentaron mayor contenido de carbono proveniente de la biomasa microbiana en comparación a las parcelas sin abono verde, con una única excepción ocurrida en la parcela Ixcán, Gerson García Cuyuch, donde los resultados fueron muy similares. Estos resultados son aceptables si se considera que la incorporación de abonos verdes ofrecerá mayor sustrato para la formación de más colonias de microorganismos, independiente de la cantidad de materia orgánica que exista en el suelo. La diversidad de residuos depositados sobre el suelo o incorporados al mismo, permitirá el desarrollo de poblaciones de microorganismos más diversos. Aunque en este trabajo la metodología para estimar la biomasa microbiana no revela que tan diversa es la población de microorganismos, si es posible inferir que la adición de residuos promovió mayor desarrollo microbiano.

Al hacer una estimación del porcentaje de incremento de la biomasa microbiana en las parcelas con abono verde, éste se sitúa entre el 15 al 73 % con respecto a las parcelas donde no se cultivó e incorporó mucuna. Estos valores corresponden a la parcela Panzós, Domingo Chup Pop y a la parcela Fray, Pedro Cucul Choc, respectivamente. Estos resultados reflejan el efecto de la incorporación de materia orgánica sobre las poblaciones de los microorganismos del suelo y su papel en el reciclaje de los nutrientes del suelo.

6.3 Respiración microbiana

En la figura 13 se muestran los resultados del flujo de CO₂ proveniente de la respiración de los microorganismos del suelo.

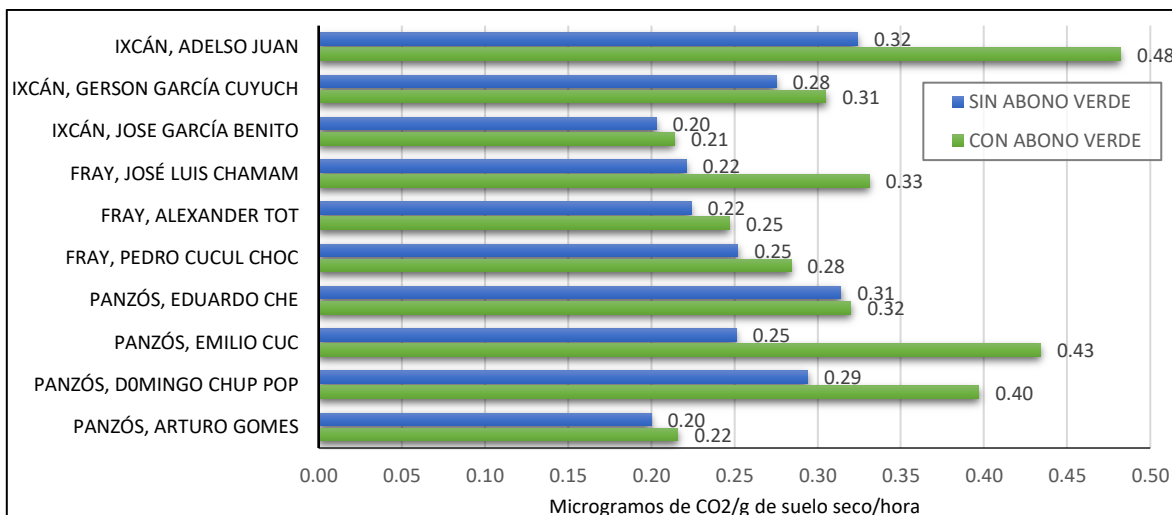


Figura 13: Respiración microbiana.

Mostrando valores que varían en el rango de 0.21 a 0.48 microgramos de CO₂ por gramo de suelo seco por hora para las parcelas con abono verde y de 0.20 a 0.32 en las parcelas sin abonos.

El significado de esto está relacionado con la actividad descomponedora de los microorganismos del suelo, sobre los residuos orgánicos. En las muestras analizadas, donde hubo incorporación o mulch de abono verde se detectó un mayor flujo de CO₂, en comparación con las parcelas sin abono verde, resultados que coinciden con la cantidad de carbono de la biomasa microbiana detectada.

6.4 Cociente metabólico

En la figura 14 se muestra el cociente metabólico que expresa la producción de CO₂ por unidad de carbono de la biomasa microbiana. Coeficientes metabólicos altos se relacionan con una situación de estrés (falta de agua o deficiencia de oxígeno, por ejemplo) en la cual la biomasa microbiana en lugar de producir más tejido microbiano (formar más colonias) gasta más energía en su respiración y por tanto se eleva la producción de CO₂.

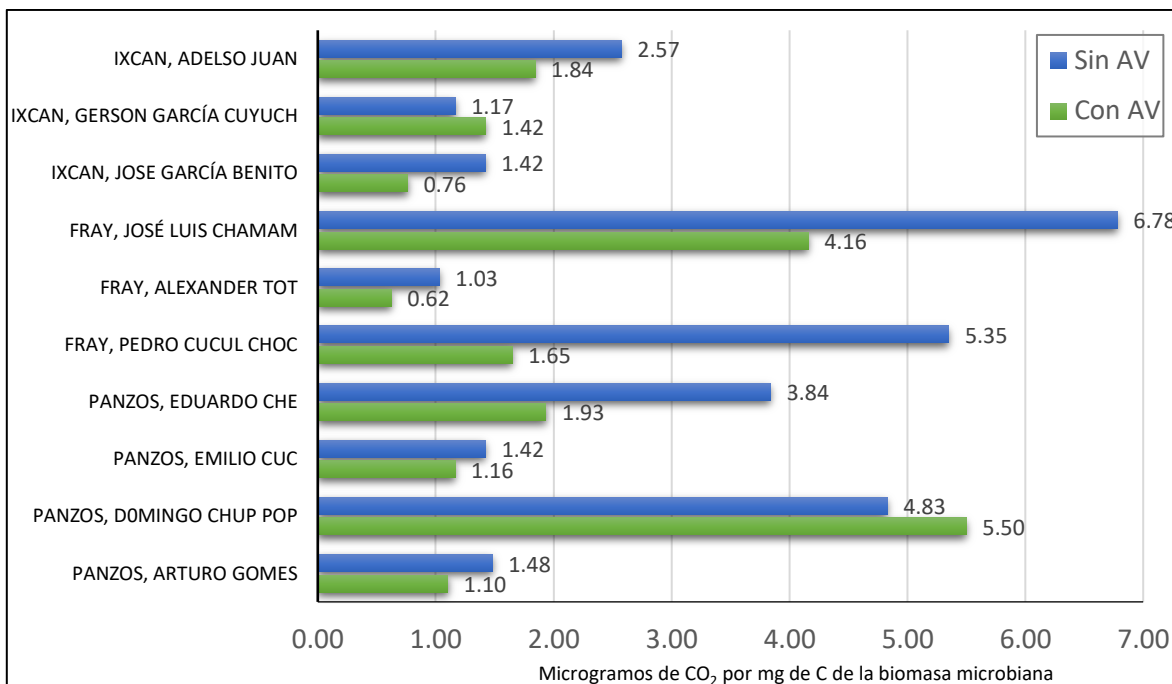


Figura 14: Cociente metabólico

Comparativamente vemos en la figura 14 que en la mayoría de parcelas sin abono verde el cociente metabólico se mantiene más elevado que en aquellas donde hubo incorporación de mucuna. Esto ocurrió en 8 de los 10 pares de parcelas analizadas

6.5 Cociente microbiano

El cociente microbiano refleja un porcentaje de carbono de los microorganismos en el carbono orgánico total. Valores de cociente microbiano debajo de 2 pueden ser considerados críticos, es decir, hay muy poca biomasa microbiana que actúa descomponiendo residuos. En la figura 15 se presentan los valores de cociente microbiano encontrados en parcelas con y sin abonos verdes.

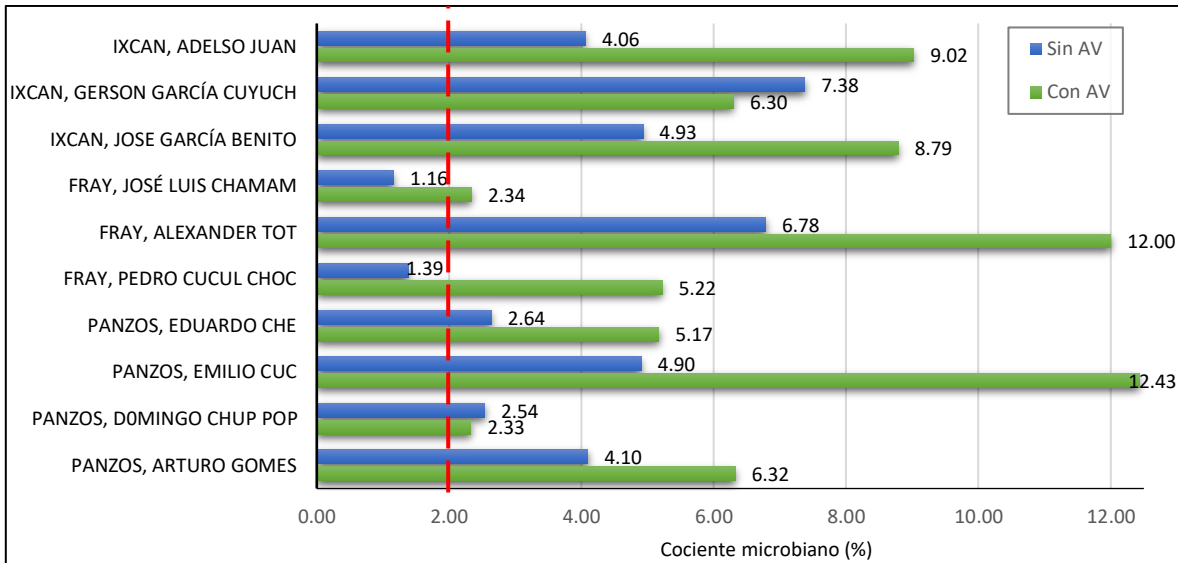


Figura 15: Cociente microbiano.

En general existe mayor contribución de la biomasa microbiana al contenido de carbono orgánico del suelo, en parcelas con incorporación de mucuna en comparación con las parcelas donde no existió aplicación, con excepción de las parcelas Ixcán Gerson García Cuyuch y Panzós Domingo Chup Pop.

6.6 Mesofauna del suelo

En la figura 16 se muestran los resultados del número de individuos y órdenes de artrópodos componentes de la mesofauna del suelo, en muestras de suelo. Los datos corresponden al área de muestreo de 25 x 25 cm, de 0 a 5 cm de profundidad.

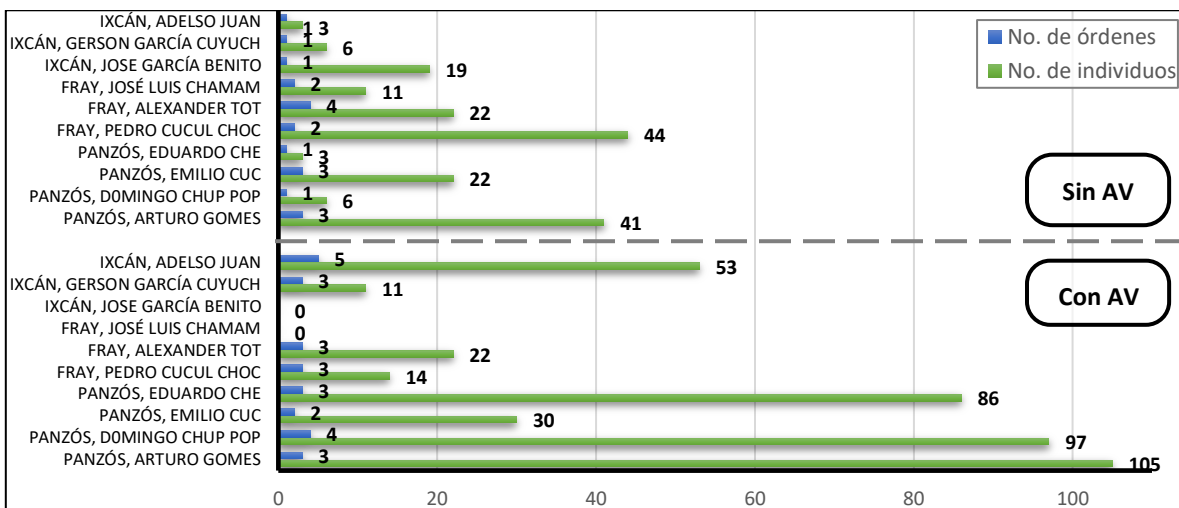


Figura 16: Cantidad de órdenes y de individuos en la mesofauna del suelo.

El número máximo de individuos de la mesofauna fue de 105, en la parcela con abono verde de Panzós, Arturo Gómez, con importante diferencia en relación a la parcela sin abono verde. Esta tendencia se observó en siete localidades. En dos parcelas con abono verde no se recuperaron individuos de la mesofauna en el extractor tipo Berlesse.

El mayor número de órdenes de artrópodos fue detectado en la parcela con abono verde Ixcán, Adelso Juan; sin embargo, es notoria la falta de diversidad de especies en todas las muestras colectadas, esto se puede observar en la Figura 17, y en los anexos se muestra una gráfica de esta distribución.

Tabla 4: Órdenes y diversidad de individuos.

Procedencia	Ácaros	Larvas de Coleópteros	Colémbolos	Himénopteros	Coleópteros	Nemátodos	Tisanópodos	Isópteros
Sin Abonos Verdes								
Ixcán, Adelso Juan	3							
Ixcán, Gerson García Cuyuch		6						
Ixcán, José García Benito				19				
Fray, José Luis Chamam	8	3						
Fray, Alexander Tot	14		3	3			3	
Fray, Pedro Cucul Choc	33		11					
Panzós, Eduardo Che	3							
Panzós, Emilio Cuc	17	3				6		
Panzós, Domingo Chup Chop		6						
Panzós, Arturo Gómez Barrios	33	3				6		
Con Abonos Verdes								
Ixcán, Adelso Juan	41	3		3	3	3		
Ixcán, Gerson García Cuyuch	6		3	3				

Ixcán, José García Benito				
Fray, José Luis Chamam				
Fray, Alexander Tot	17	3	3	
Fray, Pedro Cucul Choc	8			3 3
Panzós, Eduardo Che	53	30	3	
Panzós, Emilio Cuc	28		3	
Panzós, Domingo Chup Chop	19		55	
Panzós, Arturo Gómez Barrios	97	3	6	

Los individuos de mayor ocurrencia o presencia en las muestras, fueron de los órdenes Himenópteros, Ácaros y Colémbolos, siendo los ácaros los predominantes en la mayoría de las muestras.

7 CONCLUSIONES

- La utilización de abonos verdes dio como resultado incremento de la biomasa microbiana, la respiración del suelo y de los indicadores de actividad metabólica microbiana en parcelas donde se incorporó mucuna como abono verde, en comparación con aquellas donde no se utilizó la leguminosa..
- La utilización de abonos verdes dio como resultado incremento en el número de individuos y de órdenes taxonómicos de la mesofauna en parcelas donde se incorporó mucuna como abono verde, en comparación con aquellas donde no se utilizó la leguminosa. No se encontró una relación entre los indicadores biológicos y las características químicas del suelo en parcelas con y sin abonos verdes.
- Es factible aplicar los métodos empleados en este estudio como herramientas para el análisis biológico del suelo debido a su bajo costo, practicidad, tiempo de análisis y recursos disponibles en el Laboratorio de Suelos de ICTA.

8 RECOMENDACIONES

- Continuar las evaluaciones del efecto de los abonos verdes sobre la calidad del suelo, particularmente en áreas sujetas a degradación y pérdida de fertilidad, con el propósito a mejorar la productividad y sostenibilidad del suelo, así como incrementar la biodiversidad de áreas erosionadas.
- Utilizar las metodologías ya existentes que fueron empleadas en este estudio para generar información acerca del estado de calidad del suelo en las áreas productoras de granos básicos en Guatemala.

9 BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, E., M. Carrasco, O. León, E. Martínez, P. Silva, G. Castillo, I. Ahumada, G. Borie, y S. Gonzáles. 2005. Criterios de Calidad de Suelo Agrícola. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 205 p.

Alfaro, M. A. (2004). *Materia orgánica e indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais de café*. Tese Doutora em Ciências. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

Alfaro, M.A.(2014). *Calidad del suelo bajo dos sistemas de cosecha en áreas de aplicación de vinaza*. Informe de Consultoría Ingenio Pantaleón. Santa Lucía Cotz., Escuintla.

Acosta, Y. y Paolini, J. (2006). Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6 (2) 180 – 187.

Anderson, T. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:285-293.

Anderson, T.H.; Domsch, K.H. (1993) The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. ***Soil Biology & Biochemistry***, (25): 393-395.

Bardgett, R.; Cook, R. 1998. Functional aspect of soil animal diversity in agricultural grassland. *Applied Soil Ecology* 10:263-276

Bautista, C. A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. (2004). Ecosistemas 2004/2 (URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>) La calidad del suelo y sus indicadores.

Bremer, E., and K. Ellert. (2004). Soil quality indicators: A review with implications for agricultural ecosystems in Alberta. Alberta Environmentally Sustainable Agriculture. Soil Quality Program. Alberta Agricultura, Food and Rural Development. Symbio AG Consulting. Lethbridge, Alberta. Canada. 32 p.

Brown, G .; C. Fragoso; I. Barois; P. Rojas; J.C. Patrón; J . Bueno; A. Moreno; P. Lavelle; V. Ordaz y C. Rodríguez. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna

edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*, Número especial 1: 79-110.

Cabrera-Dávila, G. de la C. (2014). Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba. <https://www.rufford.org/files/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf>. Consultado el 13 de septiembre de 2017.

Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. & Pierce, F.J. (1997). 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.

Cattelan, A. J.; Vidor, C. (1990). Flutuacoes na biomassa, atividade e populacao microbiana do solo, em funcao de variacoes ambientais. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, (14):133-142.

Dilly, O. & Munch, J.C. (1998). Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. *Biol Fertil Soils* 27, 374–379. <https://doi.org/10.1007/s003740050446>

Dilly, O. (2005) *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*: 123-138, Springer, Berlin Heidelberg.

Doran, J.W. & Parkin, T. B. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

Doran, J. W., & Parkin. T. B. (1996) Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J. W., and A. Jones J. (eds). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication Number 49. Soil Science Society of America, INC. Madison. Wisconsin. USA. pp: 25-37.

Ghaemi, M., A. R. Astaraei, H. Emami, M. Nassiri M., and S. H. Sanaeinejad. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 14: 987-1004.

Jassal, R., T. Black, T. Cai, K. Morgenstern, Z. Li, D. Gauymont-Guay y Z. Nestic. (2007). Components of ecosystems respiration and an estimate of net primary productivity of an intermediate-aged Douglas-Fir stand. *Agric. For. Meteorol.* 144: 44-57.

Jenkinson, D. S., & Ladd, J. N. (1981). Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover. In E. A. Paul, & J. N. Ladd (Ed.), *Soil Biochemistry*

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.

Larson, W. E., and F. J. Pierce. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. International Board for Soil Resources and Management (IBSRAM) Proc.12 (2). Bangkok, Thailand. pp: 175-203.

Lowdermilk, W.C. (1953). *Conquest of the Land Through Seven Thousand Years*. Agriculture Information Bulletin N° 99, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. & McSweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.

Roscoe, R.; Mercante, F.M.; Mendes, I.C.; Reis Junior, F.B.; Santos, J.C.F.; Hungria, M. (2006). Biomassa microbiana do solo: Fração mais ativa da matéria orgânica. IN: Roscoe, R. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares*. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 304 p.

Silva, E.E.; Azevedo, P.H.S.; De-Polli, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo.V. (2007) A method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry.* 8:209-213.

Singh, S.; Ghoshal, N. & Singh, K.P. (2007). Variations in soil microbial biomass and crop roots due to differing resource quality in a tropical dryland agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 39:76-86.

SQI-Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

Tótola, M.R.; Chaer, G.M. (2002) Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: Alvarez Venegas, V.H.; Schaefer, C.E.G.R.;

Barros, N.F. de; Mello, J.W.V. Costa, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

Vance, E. D., Brookes, P. C., Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 19(6):703-707.

Wang, W.; Brusseau M.&Artiola, F. (1997). The use of calcium to facilitate desorption and removal of cadmium and nickel in subsurface soils. *J. Contam. Hydrol.* 25(3-4):325 – 336.

10 ANEXOS

Tabla 5: Localización de los puntos de muestreo.

ID	Latitud	Longitud	Alt.	Fecha de Incorp.	Fecha de Muestreo	Rend.	Rend. de cultivo
5B	555231	1762246	158	feb-20	30/09		
44	555369	1701956	151	ene-20	30/09		
M7	15.3336111	-89.7338888888888	24		06/10		4qq/441 m ²
M11	15.3336111	-89.7338888888888	24	15-nov	06/10	masomemos4.5 lb/m ²	5qq/441 m ²
6B	555126	1762285	151	ene-20	30/09		
PG-3A	15.990942	-90.735565	185	06/07/2019			
PG-3C1	15.990673	-90.735447	192	06/07/2019			
PG-2A	16.005213	-90.704057	157	20/11/2019	07/11		
PG-3C	16.0051	-90.704215	158	20/11/2019	07/10		
M4	15.36916667	-89.6669444444444	18	06/10	06-10	más de 6.8 kg/m ²	7qq/441 m ²
M12	15.3691666	-89.6680555555555	25		06/11		3qq/441 m ²
M2	15.3866666	-89.6311111111111	12		06/10		2qq/441 m ²
M10	15.3863888	-89.6302777777777	12	04/10	06/10	masomemos3.6 lb/m ²	
5^a	555225	1762206	156	feb-20	30/09		
4B	555355	1761963	145	ene-20	30/09		
PG-1C	15.989559	-90.813853	205	03/07/2019	07/10		
PG-1A	15.989844	-90.813888	190	03/07/2019	07/10		
M1	15.3044444	-89.7466666666666	39	06/10	06/10	2.2 lb/m ²	

M14	15.30444 444	- 89.746111111 111	39		06/10
6A	555116	1762276	146	ene-20	30/09

Tabla 6: Resultados del análisis físico-químico del suelo.

ID	Tra t	Procedencia	Id. La b	me q K	me q Ca	me q Mg	me qN a	pp m P	pp m Cu	pp m Zn	pp m Fe	pp m Mn
m 3	Co n AV	Panzós, Domingo Chup Chop	101 020	0.5	9.9	9.0	0.5	11 3	4	9.4	182	18.5
m 5	Sin AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	101 120	0.4	6.1	3.7	0.9	0	0.8 5	0.6 5	12. 25	24.2
m 6	Co n AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	101 220	0.5	12. 4	10. 5	0.6	0	1.9	2.2	39. 5	42.2 5
m 8	Sin AV	Panzós, Eduardo Che	101 320	0.5	15. 0	11. 0	1.0	12 0.6 5	4.7	7.8 5	137 .5	18.5
m 9	Sin AV	Panzós, Emilio Cuc	101 420	0.7	5.6	7.2	0.9	64	6.3	20. 6	375	40.8
m 13	Co n AV	Panzós, Eduardo Che	101 520	0.5	14. 4	11. 1	0.6	11 4	5	8.0 5	153	26.7 5
m 15	Co n AV	Panzós, Emilio Cuc	101 620	0.5	3.2	5.6	0.9	0	2.1	5.6 5	92. 5	9.7
m 16	Sin AV	Panzós, Domingo Chup Chop	101 720	0.4	9.8	9.4	0.7	12 1.5	4.3 5	11. 975	206	14
1a	Co n AV	Fray, Pedro Cucul Choc	102 420	0.7	33. 0	11. 3	1.2	0	4	5.6	67. 75	37.5
1b	Sin AV	Fray, Pedro Cucul Choc	102 520	0.8	36. 2	10. 8	0.9	24	3.1 5	9.6	71. 5	44.2 5
1d	Sin AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	102 620	0.4	1.3	0.3	0.9	0	1.3 5	0.3 5	70	17.4 5
2a	Co n AV	Fray, Alexander Tot	102 720	0.8	26. 4	11. 9	0.9	0	2.4 5	4.9	68. 25	21.2
2b	Sin AV	Fray, Alexander Tot	102 820	0.7	20. 1	11. 1	1.1	0	2.7 5	3.2 5	56. 25	24
3a	Co n AV	Fray, José Luis Chamam	102 920	0.6	29. 5	10. 2	1.1	0	2.2	3.5 5	71. 25	23.3

ID	Tra t	Procedencia	Id. La b	me q K	me q Ca	me q Mg	me qN a	pp m P	pp m Cu	pp m Zn	pp m Fe	pp m Mn
3b	Sin AV	Fray, José Luis Chamam	103 020	0.7	22. 5	11. 3	1.1	0	2.7 5	1.1 5	51. 25	18.4 5
pg - 1b	Co n AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	103 720	0.6	3.3	1.2	1.0	0	1	2.5	56. 75	19.7
pg - 2b	Co n AV	Ixcán, Adolfo Juan	103 820	0.7	42. 3	5.8	0.9	59	2.3	9.7	31	41.3 5
pg - 3b	Co n AV	Ixcán, José García Benito	103 920	0.7	1.0	0.5	0.9	0	3.5	1	13	11.2
pg - 2d	Sin AV	Ixcán, Adolfo Juan	104 020	0.6	42. 2	6.1	0.9	82	3.1 5	8.9 5	47. 25	21
pg - 3d	Sin AV	Ixcán, José García Benito	104 120	0.7	2.6	1.5	1.0	0	0.9 5	3.0 5	30. 25	14.8 3
		Agua *		2.8	1.2	3.4	7.5	0	0	0	0	0
* Datos de Agua todos van en ppm												

Tabla 7: Resultados físico-químicos del suelo (continuación).

ID	Trat	Procedencia	CI C	% M.O	% C.O	p H	Arcil la	Lim o	Are na
m3	Con AV	Panzós, Domingo Chup Chop	6.0	5.0	3.1	6. 8	12	30	58
m5	Sin AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	11. 5	5.3	3.3	5. 3	22	19	59
m6	Con AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	8.3	5.0	3.1	7. 2	21	19	60
m8	Sin AV	Panzós, Eduardo Che	7.5	5.0	3.1	7. 9	19	29	52
m9	Sin AV	Panzós, Emilio Cuc	11. 0	5.9	3.6	5. 4	16	22	62
m13	Con AV	Panzós, Eduardo Che	4.8	5.1	3.2	7. 8	19	12	69
m15	Con AV	Panzós, Emilio Cuc	7.5	4.9	3.0	4. 7	15	25	60
m16	Sin AV	Panzós, Domingo Chup Chop	4.0	3.9	2.4	7. 9	11	37	52
1a	Con AV	Fray, Pedro Cucul Choc	23. 0	5.3	3.3	6. 7	29	12	59
1b	Sin AV	Fray, Pedro Cucul Choc	24. 0	5.5	3.4	6. 6	13	11	76

1d	Sin AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	8.0	5.2	3.2	4.6	12	11	77
2a	Con AV	Fray, Alexander Tot	21.5	5.3	3.3	5.8	28	12	60
2b	Sin AV	Fray, Alexander Tot	23.0	5.2	3.2	5.6	24	14	62
3a	Con AV	Fray, José Luis Chamam	20.0	5.6	3.4	6.0	28	12	60
3b	Sin AV	Fray, José Luis Chamam	19.0	4.5	2.8	5.9	32	14	54
pg-1b	Con AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	6.5	5.6	3.4	5.3	12	6	82
pg-2b	Con AV	Ixcán, Adeldo Juan	9.5	4.7	2.9	8.0	24	25	51
pg-3b	Con AV	Ixcán, José García Benito	4.5	5.1	3.2	5.0	19	7	74
pg-2d	Sin AV	Ixcán, Adeldo Juan	6.0	5.1	3.1	8.1	28	24	48
pg-3d	Sin AV	Ixcán, José García Benito	8.0	4.7	2.9	5.4	17	7	76

Tabla 8: Clase textural de los suelos.

ID	Trat	Procedencia	Clase textural
m3	Con AV	Panzós, Domingo Chup Chop	Franco arenoso
m5	Sin AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	Franco arcillo arenoso
m6	Con AV	Panzós, Arturo Gómez Barrios	Franco arcillo arenoso
m8	Sin AV	Panzós, Eduardo Che	Límite entre franco arenoso y Franco
m9	Sin AV	Panzós, Emilio Cuc	Franco arenoso
m13	Con AV	Panzós, Eduardo Che	Franco arenoso
m15	Con AV	Panzós, Emilio Cuc	Franco arenoso
m16	Sin AV	Panzós, Domingo Chup Chop	Límite entre franco arenoso y Franco
1a	Con AV	Fray, Pedro Cucul Choc	Franco arcillo arenoso
1b	Sin AV	Fray, Pedro Cucul Choc	Franco arenoso
1d	Sin AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	Franco arenoso
2a	Con AV	Fray, Alexander Tot	Franco arcillo arenoso
2b	Sin AV	Fray, Alexander Tot	Franco arcillo arenoso

3a	Con AV	Fray, José Luis Chamam	Franco arcillo arenoso
3b	Sin AV	Fray, José Luis Chamam	Franco arcillo arenoso
pg-1b	Con AV	Ixcán, Gerson García Cuyuch	Límite entre arena franca y franco arenoso
pg-2b	Con AV	Ixcán, Adolfo Juan	Franco arcillo arenoso
pg-3b	Con AV	Ixcán, José García Benito	Franco arenoso
pg-2d	Sin AV	Ixcán, Adolfo Juan	Franco arcillo arenoso
pg-3d	Sin AV	Ixcán, José García Benito	Franco arenoso

Tabla 9: Carbono de la biomasa microbiana en parcelas con y sin abono verde.

Procedencia	Microgramos de carbono de la biomasa microbiana por gramo de suelo seco	
	Con abono verde	Sin abono verde
Panzós, Arturo Gomes	196	135
Panzós, Domingo Chup Pop	72	61
Panzós, Emilio Cuc	373	177
Panzós, Eduardo Che	165	82
Fray, Pedro Cucul Choc	172	47
Fray, Alexander Tot	396	217
Fray, José Luis Chamam	80	33
Ixcán, Jose García Benito	281	143
Ixcán, Gerson García Cuyuch	214	236
Ixcán, Adolfo Juan	262	126

Tabla 10: *Flujo de carbono proveniente de la respiración de microorganismos del suelo, en parcelas con y sin abonos verdes.*

Procedencia	Respiración de suelo (Microgramos de CO ₂ /g de suelo seco/hora)	
	Con Abono verde	Sin abono verde
Panzós, Arturo Gomes	0.216	0.200
Panzós, Domingo Chup Pop	0.397	0.294
Panzós, Emilio Cuc	0.434	0.251
Panzós, Eduardo Che	0.320	0.314
Fray, Pedro Cucul Choc	0.284	0.252
Fray, Alexander Tot	0.247	0.224
Fray, José Luis Chamam	0.331	0.221
Ixcán, Jose García Benito	0.214	0.203
Ixcán, Gerson García Cuyuch	0.305	0.275
Ixcán, Adolfo Juan	0.482	0.324

Tabla 11: *Número de individuos y de órdenes de la mesofauna del suelo.*

Procedencia	Número de individuos		Número de órdenes	
	Con AV	Sin AV	Con AV	Sin AV
Panzós, Arturo Gomes	105	41	3	3
Panzós, Domingo Chup Pop	97	6	4	1
Panzós, Emilio Cuc	30	22	2	3
Panzós, Eduardo Che	86	3	3	1
Fray, Pedro Cucul Choc	14	44	3	2
Fray, Alexander Tot	22	22	3	4
Fray, José Luis Chamam	0	11	0	2
Ixcán, Jose García Benito	0	19	0	1
Ixcán, Gerson García Cuyuch	11	6	3	1
Ixcán, Adolfo Juan	53	3	5	1

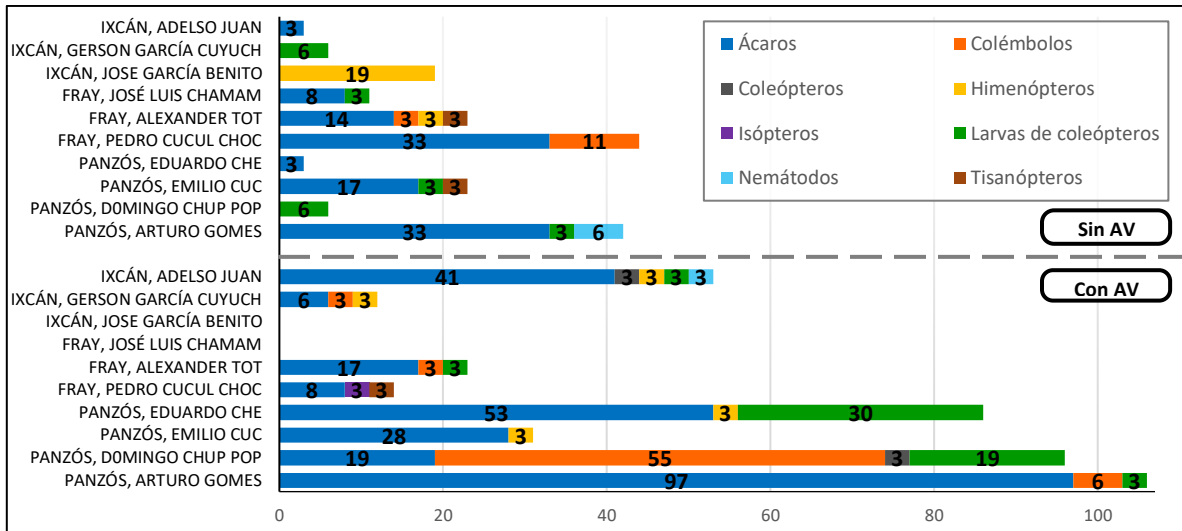


Figura 17: Diversidad de órdenes y cantidad de individuos.



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria