



**Evaluación de la fauna edáfica en un sistema de caña de azúcar en el municipio de  
Guacarí Valle del Cauca**

**Eyder Andres Murillo Guevara**

**Miguel Ángel Fernández Millán**

**Harold David Acuña Martínez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia -Unad**

**Cead palmira**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente**

**Programa de ingeniería ambiental**

**2018**

**Evaluación de la fauna edáfica en un sistema de caña de azúcar en el municipio de  
Guacarí Valle del Cauca**

**Eyder Andres Murillo Guevara**

**Miguel Ángel Fernández Millán**

**Harold David Acuña Martínez**

**Proyecto de investigación para optar el título de ingenieros ambientales**

**Asesor**

**Milton Cesar Ararat Orozco**

**Ingeniero Agrónomo *Ph. D.***

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia -Unad**

**Cead palmira**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente**

**Programa de ingeniería ambiental**

**2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Octubre del 2018**

## **Agradecimientos**

Agradecemos a todos los que de una u otra forma nos acompañaron en el desarrollo de este trabajo, a nuestro familiares, padres, primos, tíos y tías, a nuestros hermanos y hermanas.

Al Doctor Milton Cesar Ararat Orozco por confiar en nosotros, sin su orientación, consejo y conocimiento no hubiese sido posible llevar a cabo este documento.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad) y al Cead Palmira por abrimos sus puertas, y su grupo de asesores por la formación y las capacitaciones brindadas durante este proceso.

Y a cada una de las personas que hicieron parte de este proceso mil gracias.

## Resumen

El estudio se centró en evaluar la calidad del suelo de un sistema de Caña de Azúcar (SC) en términos de fauna edáfica en el municipio de Guacarí Valle del Cauca, donde también se evaluó dos sistemas no perturbados, en este caso un sistema natural de Guadua (SG) y un sistema de Barbecho (SB). Para el caso de la macrofauna edáfica se realizaron dos muestreos no destructivos, y los parámetros evaluados fueron: la abundancia, el índice de diversidad y equidad de Shannon y el índice de dominancia de Simpson. Mientras para los microorganismos se realizó un muestreo del suelo en los tres sistemas para evaluar la presencia de bacterias de vida libre, hongos, microorganismos solubilizadores de fosforo y microorganismos fijadores asimbióticos de nitrógeno (N<sub>2</sub>). Así mismo se realizaron análisis estadísticos de varianza.

Los resultados obtenidos para el caso de la macrofauna, mostraron que el SG, registró la mayor abundancia y diversidad de individuos, seguido SB y por último el SC, donde los géneros más representativos fueron el Haplotaxida, Himenóptera y Coleóptera. Para el análisis de los microorganismos, los resultados mostraron que el SC, SG y SB, registraron optima presencia de microorganismo totales con poblaciones que superan los más de mil millones de unidades formadoras de colonia (ufc); no obstante, el SG presento la mayor diversidad de géneros entre los sistemas. Finalmente se identificaron diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar por medio de la matriz de Vester, donde se encontró que diferentes prácticas agrícolas, como el uso intensivo de maquinaria pesada, el uso en exceso de agroquímico y la quema de caña en cosecha, tiene efectos en la macrofauna y los microorganismos edáficos del suelo con caña de azúcar.

**Palabras claves:** Edáfica, microorganismos, macrofauna, materia orgánica, bacterias, fosforo, actividad biológica, calidad del suelo.

### **Abstract**

The study focused on evaluating the soil quality of a sugarcane (SC) system in terms of edaphic fauna in the municipality of Guacarí Valle del Cauca, where two undisturbed systems were also evaluated, in this case a natural system of Guadua (SG) and a Fallow system (SB). In the case of the edaphic macrofauna, two non-destructive samplings were carried out, and the parameters evaluated were: abundance, the Shannon diversity and equity index and the Simpson dominance index. While for the microorganisms, soil sampling was carried out in the three systems to evaluate the presence of free-living bacteria, fungi, phosphorus-solubilizing microorganisms and asymmetric nitrogen-fixing microorganisms (N<sub>2</sub>). Likewise, statistical analysis of variance was carried out.

The results obtained for the case of the macrofauna, showed that the SG, recorded the greatest abundance and diversity of individuals, followed SB and finally the SC, where the most representative genera were Haplotaxida, Hymenoptera and Coleoptera. For the analysis of the microorganisms, the results showed that the SC, SG and SB, registered optimum presence of total microorganisms with populations that exceed the more than one million colony forming units (cfu); notwithstanding, the SG presented the greatest diversity of genres among the systems. Finally, different problems associated with the use of soil with sugarcane were identified through Vester's matrix, where it was found that different agricultural practices, such as the intensive use of heavy machinery, the excessive use of agrochemicals and the burning of cane in harvest, has effects on the macrofauna and edaphic microorganisms of the soil with sugarcane.

**Keywords:** Edaphic, microorganisms, macrofauna, organic matter, bacteria, phosphorus, biological activity, soil quality.

## Tabla de contenido

1.	Planteamiento del problema.....	16
2.	Justificación.....	17
3.	Objetivos .....	19
3.1	Objetivo general.....	19
3.2	Objetivos específicos .....	19
4.	Marco conceptual y teórico .....	20
4.1	La fauna del suelo.....	20
4.1.2	Clasificación de la fauna edáfica.....	20
4.1.2.1	Clasificación de la macrofauna edáfica.....	23
4.1.3	Indicadores biológicos relacionados con la calidad y salud del suelo .....	25
4.2	Contexto del sistema de cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca .....	30
4.3	Antecedentes .....	31
5.	Materiales y métodos .....	33
5.1	Materiales y equipos.....	33
5.1.3	Materiales para el muestreo de macrofauna edáfica .....	33
5.1.4	Equipos para el muestreo de macrofauna edáfica .....	34
5.1.5	Materiales y equipos para el muestreo de suelo para el análisis microbiológico. 34	
5.1.6	Materiales y equipos para el análisis de laboratorio de las muestras de suelo para microfauna edáfica.....	34

6. Diseño metodológico.....	35
6.1 Localización y descripción de la zona de estudio.....	37
6.1.1 Descripción de la zona de estudio .....	38
6.1.1.1 Sistema de Caña de Azúcar (SC) .....	38
6.1.1.2 Sistema de Guadua (SG) .....	40
6.1.1.3 Sistema de Barbecho (SB).....	40
6.2 Metodología Fase 1 .....	41
6.2.1 Selección de las parámetros y métodos para evaluar la fauna edáfica de los sistemas de cultivo .....	41
6.2.2 Método de muestreo de suelos para macrofauna edáfica .....	41
6.2.3 Método de muestreo de suelos para la microfauna edáfica.....	46
6.2.4 Métodos de laboratorio para determinar los microorganismos del suelo.....	48
6.3 Metodología fase 2 .....	50
6.3.1 Reconocimiento del sistema de cultivo .....	50
6.3.2 Época de recolección de muestras .....	50
6.4 Metodología fase 3 .....	50
6.5 Análisis de información.....	50
6.5.1 Composición de los microorganismos en las muestras de suelo.....	51
6.5.2 Composición de macrofauna edáfica .....	51
6.5.2.1 Riqueza.....	51

6.5.2.2 Índice de diversidad de Shannon.....	51
6.5.2.3 Índice de equidad de Shannon.....	52
6.5.2.4 Índice de Simpson .....	52
6.5.3 Matriz de Vester .....	53
7. Resultados y discusión .....	57
7.1 Composición de la macrofauna edáfica colectada .....	57
7.1.2 Diversidad en cada sistema de manejo.....	64
7.1.3 Dominancia en cada sistema de manejo.....	65
7.1.4 Equidad en cada sistema de manejo .....	66
7.2 Análisis de la Composición de la microfauna edáfica colectada en el laboratorio para cada una de las muestras de suelo.....	69
7.2.1 Análisis de la presencia de bacterias de vida libre .....	69
7.2.2 Análisis de la presencia de hongos en las muestras de suelo .....	71
7.2.3 Análisis de la presencia de Bacterias Fijadoras asimbióticas de N <sub>2</sub> .....	74
7.2.4 Análisis de la presencia de organismos solubilizadores de fosforo “P” en las muestras de suelo .....	76
7.3 Identificación de diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar .....	79
8. Conclusiones .....	84
9. Recomendaciones.....	85

10. Referencias bibliográficas .....	86
11. Anexos .....	95

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Actividades de la fauna del suelo en el proceso .....	23
<b>Tabla 2.</b> Grupos que componen la macrofauna del suelo.....	24
<b>Tabla 3.</b> Conjunto de indicadores biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo .....	26
<b>Tabla 4.</b> Parámetros y métodos para evaluar la fauna edáfica .....	41
<b>Tabla 5.</b> Sumatoria de individuos de la macrofauna edáfica recolectada para los diferentes sistemas en el muestreo 1 .....	57
<b>Tabla 6.</b> Sumatoria de individuos de la macrofauna edáfica recolectada para los diferentes sistemas en el muestreo 2.....	58
<b>Tabla 7.</b> Índice de Shannon (H'), índice de dominancia de Simpson (D) y equidad (J) de la macrofauna del suelo en los sistemas, para el muestreo 1 y 2 .....	68

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Microorganismos del suelo: diversidad, total descritas y cantidad encontrada en el suelo .....	21
<b>Figura 2.</b> Propiedades biológicas y procesos relacionados con la calidad y sostenibilidad del suelo .....	27
<b>Figura 3.</b> Diseño metodológico desarrollado en fases.....	36
<b>Figura 4.</b> Ubicación del municipio de Guacarí Valle del Cauca .....	37

<b>Figura 5.</b> Ubicación de la finca “El Cairo” con el SC, SB y SG.....	38
<b>Figura 6.</b> Matriz de Vester.....	53
<b>Figura 7.</b> Interpretación de cuadrantes en la matriz de Vester .....	56
<b>Figura 8.</b> Presencia de ordenes en sistema de manejo de caña de azúcar (SC) para el muestreo 1 y 2.....	61
<b>Figura 9.</b> Presencia de ordenes en el Sistema de Guadua (SG) para el muestreo 1y 2 .....	62
<b>Figura 10.</b> Presencia de ordenes en el Sistema de Barbecho (SB) para el muestreo 1 y 2 ..	63
<b>Figura 11.</b> Valores del índice de diversidad de Shannon en los diferentes sistemas para el muestreo 1 y 2.....	65
<b>Figura 12.</b> Valores del índice del Índice de dominancia de Simpson para el Muestreo 1 y 2 .....	66
<b>Figura 13.</b> Índice de Equidad de Shannon para el muestreo 1 y 2 .....	67
<b>Figura 14.</b> Bacterias de vida libre en cada sistema de manejo.....	69
<b>Figura 15.</b> Presencia de hongos saprófitos en las muestras de cada sistema de manejo .....	72
<b>Figura 16.</b> Presencia de Bacterias Fijadoras asimbióticas de N <sub>2</sub> en las muestras de suelo de cada sistema .....	74
<b>Figura 17.</b> Presencia de organismo solubilizadores de P en las muestras de suelo de cada sistema.....	76
<b>Figura 18.</b> Presencia de organismo solubilizadores de fosforo “P” de cada sistema .....	77
<b>Figura 19.</b> Representación gráfica de los resultados de la matriz de Vester .....	80

### Lista de fotos

<b>Foto 1.</b> Apertura del cuadrante del suelo con el empleo de una pala.....	42
<b>Foto 2.</b> Cuadrante de suelo de 25 x 25 x 20 cm.....	42
<b>Foto 3.</b> Recolección de la macrofauna en el campo.....	43
<b>Foto 4.</b> Recolección de larva de coleópteros (familia scarabaeidae) del suelo con la utilización de pinzas pequeñas.....	43
<b>Foto 5.</b> Recolección de la macrofauna del suelo en frascos de plástico .....	44
<b>Foto 6.</b> Extracción e identificación de la macrofauna.....	44
<b>Foto 7.</b> Extracción de lombriz de tierra (género Haplotaxida) .....	45
<b>Foto 8.</b> Recolección e identificación de la macrofauna edáfica.....	45
<b>Foto 9.</b> Muestreo de suelo para microfauna edáfica .....	46
<b>Foto 10.</b> Tubo de extracción para la toma de muestra .....	47
<b>Foto 11.</b> Muestra de suelo para microfauna edáfica y su rotulación .....	47
<b>Foto 12.</b> Solubilizadores de fosforo en la muestra de suelo en el sistema de caña de azúcar .....	78
<b>Foto 13.</b> Solubilizadores de fosforo en la muestra de suelo en el sistema de Guadua.....	79

### Lista de anexos

<b>Anexo 1.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de caña de azúcar .....	95
<b>Anexo 2.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar .....	95
<b>Anexo 3.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de Guadua .....	96

<b>Anexo 4.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de Guadua .....	97
<b>Anexo 5.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de Barbecho .....	97
<b>Anexo 6.</b> Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de Barbecho .....	98
<b>Anexo 7.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 1 del sistema de caña de azúcar.....	98
<b>Anexo 8.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar.....	99
<b>Anexo 9.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar.....	100
<b>Anexo 10.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de Guadua.....	100
<b>Anexo 11.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 1 del sistema de Barbecho.....	101
<b>Anexo 12.</b> Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de Barbecho.....	102
<b>Anexo 13.</b> Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Caña de Azúcar (SC).....	102
<b>Anexo 14.</b> Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Guadua (SG) .....	103

<b>Anexo 15.</b> Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Barbecho (SB).....	103
<b>Anexo 16.</b> Análisis de varianza para el índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo .....	103
<b>Anexo 17.</b> Análisis de varianza para el índice de dominancia de Simpson para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo .....	104
<b>Anexo 18.</b> Análisis de varianza para la equidad de Shannon para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo .....	104
<b>Anexo 19.</b> Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias de vida libre en las muestras de suelo de los sistemas de manejo .....	105
<b>Anexo 20.</b> Análisis de varianza para el análisis de la presencia de hongos en las muestras de suelo de los sistemas de manejo.....	105
<b>Anexo 21.</b> Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias fijadoras asimbióticas de N <sub>2</sub> en las muestras de suelo de los sistemas de manejo.....	105
<b>Anexo 22.</b> Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias fijadoras asimbióticas de N <sub>2</sub> .....	106
<b>Anexo 23.</b> Matriz de Vester para la identificación de problemas asociados al uso del suelo con caña de azúcar .....	106
<b>Anexo 24.</b> Finca el Cairo donde se realizaron los muestreos .....	107
<b>Anexo 25.</b> Sistema de barbecho (SB) .....	107
<b>Anexo 26.</b> Sistema de Caña de azúcar antes de la cosecha.....	108
<b>Anexo 27.</b> Sistema de Guadua (SG) .....	108
<b>Anexo 28.</b> Cuadrante donde extrajo la macrofauna del Sistema de Guadua (SG) .....	109

<b>Anexo 29.</b> Recolección de larva de coleóptero en el Sistema de Guadua (SG).....	109
<b>Anexo 30.</b> Sistema de Guadua (SG) .....	110
<b>Anexo 31.</b> Recolección de lombriz de tierra del Sistema de Guadua (SG) .....	110
<b>Anexo 32.</b> Identificación de macrofauna .....	111

## 1. Planteamiento del problema

Desde la introducción de la caña de azúcar en Colombia y en el Valle del Cauca y con la llegada de la revolución verde en finales de los años 50 del siglo pasado, basada en el desarrollo de cultivos, permitió a la actividad agrícola la intercepción de fertilizantes y plaguicidas que hoy en día continúan generando un efecto negativo para los recursos naturales, causando, además, la pérdida de nutrientes del suelo y afectando su fertilidad (García Suárez & Serrano, 2011). El municipio de Guacarí no fue la excepción en acceder a estas actividades agrícola y económicas, en el señor Modesto Cabal Galindo para el año de 1941 fundó la empresa azucarera Ingenio Pichichi S.A, que contribuyó al desarrollo económico, que, a pesar de ello, generó un impacto negativo desde el área ambiental, generando actividades que han causado entre otras cosas, el decaimiento de árboles frutales y hortalizas y la pérdida de la calidad de los suelos del municipio (Asocaña, 2012).

Actualmente el problema radica en la trascendencia del cultivo de la caña de azúcar sobre el uso del suelo, junto con sus impactos que este a lo largo de los años ha ocasionado en el nivel de degeneración de la calidad del suelo, donde se ha reportado externalidades en el sistema como: compactación, salinización, sodización y pérdida de la materia orgánica del suelo; debido al continuo uso de maquinaria, sistemas de irrigación ineficiente, aplicación de agroquímicos y que de caña en cosecha, que afecta su sostenibilidad (Dávalos E, 2007; Franco, Torres, & Patoja, 2009; Zúñiga, Osorio, Cuero, & Peña, 2011; Cuero, 2012).

Por lo tanto, también se identificarán diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar, así como la calidad del suelo en un sistema de caña de azúcar en el municipio de Guacarí, por medio del análisis y descripción de la fauna edáfica en un sistema de caña de

azúcar, comparado con dos sistemas naturales no intervenidos, como un sistema natural de guaduas y un sistema de barbecho.

## 2. Justificación

El suelo se puede definir como un tipo de un recurso natural no renovable, se trata de un medio dinámico y vivo, que proporciona el sustrato y el sustento a gran variedad organismos y donde se presentan procesos fundamentales de los ecosistemas como los ciclos biogeoquímicos, tales como el ciclo del agua, nitrógeno, carbono, y fósforo. Actualmente la selección y aplicación de sistemas, técnicas e indicadores para reflejar su calidad responden a la necesidad de preservar este medio debido a su deterioro creciente y a su valor para los seres vivos del planeta.

“La calidad del suelo se define como la capacidad continua de este recurso para mantener el crecimiento sano de las plantas y la productividad del ecosistema, lo cual depende de las características químicas, físicas y biológicas del mismo” (Doran & Parkin, 1994).

También con el objetivo de evaluar la calidad o estado de salud de un suelo, se puede considerar a la macrofauna y microfauna edáfica como uno de los componentes biológicos que lo caracterizan. La macrofauna está integrada por organismos pequeños que habitan en el suelo, pero fácilmente detectables, entre estos se encuentran: las lombrices de tierra, las termitas, las hormigas, los milpiés, las cochinillas, las arañas, los ciempiés y otros (Cabrera, 2014). Por otro lado, en la actualidad, ha existido una renovada atención científica de evaluar bioindicadores de calidad del suelo debido a las preocupaciones con la degradación del suelo y la necesidad de una gestión sostenible de los suelos (Shukla, Lal, & Ebinger, 2006).

En este orden de ideas, cultivos como la caña de azúcar, afectan considerablemente la calidad de los suelos, ya que son plantas que son altamente extractora de nutrientes, y requieren elevadas concentraciones de fertilizante y pesticidas. También se ha planteado que, en términos

de seguridad alimentaria, la disponibilidad de alimentos no es problema en Colombia. Sin embargo, el monocultivo de la caña de azúcar acapara grandes extensiones de tierra que traen consigo no solo deterioro ambiental por la degradación de suelos y contaminación de los recursos, sino que significan deterioro de la calidad de vida, aumento de la pobreza rural, asociado con la agricultura tradicional, entre otros, con la consecuente competencia de recursos naturales orientados a la producción de alimentos (Ávila Díaz & Carvajal Escobar, 2014).

Por lo tanto, se plantea la evaluación de la fauna edáfica de un sistema de cultivo de caña de azúcar en el municipio de Guacarí, esto con el objetivo de analizar y evaluar el impacto del cultivo de la caña de azúcar en la calidad de suelo, para esto también se determinará la fauna edáfica en dos cultivos naturales no intervenidos, en este caso un sistema natural de guadua y un terreno de barbecho.

También, por medio de los sistemas de cultivo de la caña de azúcar y los sistemas naturales, se identificarán los impactos generados en la macrofauna del suelo y sobre la cantidad de microorganismo presentes en este sistema, y como se alteran o se benefician la fauna edáfica de acuerdo a los sistemas empleados.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la fauna edáfica un sistema de cultivo de caña de azúcar del municipio de Guacarí Valle del Cauca.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Relacionar algunos microorganismos funcionales del suelo en un sistema de cultivo de caña de azúcar.
- Estimar la abundancia y diversidad de la macrofauna del suelo en un sistema de cultivo de caña de azúcar.
- Realizar la matriz de Vester para identificar diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar.

## **4. Marco conceptual y teórico**

### **4.1 La fauna del suelo**

El suelo es uno de los ecosistemas más diversos y complejos que existen en la naturaleza; en ningún sitio del planeta existe en un pequeño espacio tanta diversidad de vida. En el suelo se desarrollan organismos que se encuentran en permanente interacción y que contribuyen a los ciclos globales que hacen posible la vida en el planeta, son los llamados organismos edáficos, los que en su conjunto mantienen el funcionamiento sustentable de los ecosistemas. Por ejemplo, intervienen en los ciclos de nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica, secuestran carbono y regulan la emisión de gases invernadero, modifican la estructura física del suelo y actúan sobre el régimen del agua y la erosión. En consecuencia, mejoran la eficiencia en la adquisición de nutrientes por parte de las plantas y su estado sanitario (Zerbino & Altier, 2006). La fauna edáfica está constituida mayoritariamente por la microflora (bacterias, algas y hongos), por la microfauna y mesofauna, y por la macrofauna, como es el caso de los lumbrídeos.

#### **4.1.2 Clasificación de la fauna edáfica**

Según la función de la fauna edáfica en el ecosistema y su relación en tamaño, los diferentes individuos dentro de esta clasificación juegan un papel importante en el suelo y se clasifican en:

**Microfauna:** Son los organismos con un ancho de cuerpo menor a 100 micras. Comprende los invertebrados (Protozoo, Nematodo y Rotífera) que viven en el agua libre y películas de agua que recubren las partículas del suelo. El movimiento de estos organismos depende de la textura del suelo, de la disponibilidad de poros y de la distribución del agua. Debido a su pequeño tamaño tienen habilidad limitada para modificar directamente la estructura del suelo y poca capacidad para desarrollar mutualismos significativos. Sin embargo, afectan la disponibilidad de nutrientes a través de sus interacciones con los microorganismos del suelo. Los nematodos son

importantes componentes de este grupo y son los invertebrados más abundantes en muchos suelos (Zerbino & Altier, 2006).

En la microflora del suelo también se incluyen bacterias, hongos y algas, se constituye en indicador fundamental de la calidad de un suelo. Se ha calculado que los microorganismos constituyen cerca de la cuarta parte de la biomasa terrestre, son responsables de la descomposición y transformación de la materia orgánica, incluyendo casi todas las transformaciones del nitrógeno y el carbono. La descomposición de compuestos carbonados como celulosa, hemicelulosa, polisacáridos y lignina provee la energía para organismos heterotróficos responsables de otras transformaciones (fijación simbiótica de nitrógeno, descomposición de aminoácidos y proteínas, mineralización e inmovilización del nitrógeno y transformaciones minerales como P, S, Fe, K, Ca, Mg, Mn, Al, Zn) (Aguirre & Piraneque, 2007). La utilización de los microorganismos del suelo se fundamenta en su alta diversidad molecular y química, la utilización por parte de los mismos de un amplio espectro de fuentes de energía y se encuentran presentes en todos los ecosistemas terrestres (Aguirre & Piraneque, 2007).

**Figura 1.** Microorganismos del suelo: diversidad, total descritas y cantidad encontrada en el suelo



**Fuente:** (Aguirre & Piraneque, 2007)

Mesofauna: Son microartrópodos (ácaros, colémbolos, pequeños insectos, arañas) y pequeños oligoquetos. Tienen un ancho de cuerpo entre 100 micras y 2 mm. Se mueven libremente, constituyendo un grupo muy diverso, con diferentes estrategias de alimentación y funciones en los procesos del suelo. Pueden ser desde bacteriófagos hasta depredadores, pudiendo afectar la velocidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Su efecto sobre la estructura del suelo es limitado, aunque pueden ser importantes en la formación de micro agregados de algunos suelos (Zerbino & Altier, 2006).

Macrofauna: Es el grupo de organismos de mayor tamaño, entre 2 y 20 mm. Lo integran formícidos (hormigas), isópodos (bicho bolita), isóptera (termitas), quilópodos (ciempiés), diplopodos (milpiés), insectos (adultos y larvas), oligoquetos (lombrices) y moluscos (caracoles y babosas). Operan en escalas de tiempo y espacio mucho más grandes que los grupos anteriores. La mayoría de ellos tienen un ciclo biológico largo, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión, así como baja tasa reproductiva. Los hábitos de alimentación varían considerablemente dentro y entre grupos: fitófagos, detritívoros, depredadores y geófagos, entre otros (Zerbino & Altier, 2006).

Entre la importancia de la macrofauna, están las actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo), así como sus actividades metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas), afectan muchos procesos del suelo. Entre éstos, mejoran la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera, modifican sustancialmente la estructura del suelo a través de la formación de microporos y agregados, lo que afecta la tasa de infiltración y de aireación. Estos procesos mejoran las propiedades funcionales del suelo,

promoviendo el crecimiento de las plantas, mejorando la distribución del agua en el perfil y disminuyendo la contaminación ambiental (Zerbino & Altier, 2006).

**Tabla 1.** Actividades de la fauna del suelo en el proceso

<b>Categoría</b>	<b>Ciclado de nutrientes</b>	<b>Estructura del suelo</b>
<b>Microfauna</b>		
Nematodos	-Regulan las poblaciones de bacterias y hongos.	-Pueden afectar la estructura de los agregados mediante sus interacciones con la microflora.
Protozoarios	-Intervienen en el reciclado de nutrientes.	
Ácaros (pequeños)		
<b>Mesofauna</b>		
Ácaros	-Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna.	-Producen pelotas fecales. -Crean bioporos. -Promueven la humificación.
Colémbolos	-Intervienen en el reciclado de nutrientes	
Artrópodos (pequeños)	Fragmentan restos vegetales.	
Enquitrados (lombrices pequeñas)		
<b>Macrofauna</b>		
Lombrices		-Mezclan partículas orgánicas y minerales. -Redistribuyen la materia orgánica y los microorganismos. -Crean bioporos -Promueven la humificación. -Producen pelotas fecales.
Enquitrados (grandes)	-Fragmentan restos vegetales.	
Bicho bolita	-Estimulan la actividad microbiana.	
Diplopodos		
Quilópodo		
Moluscos		
Insecta (larvas y adultos)		

**Fuente:** (Zerbino & Altier, 2006)

#### **4.1.2.1 Clasificación de la macrofauna edáfica**

La macrofauna edáfica se puede clasificar según la función en el suelo:

Geófagos: incluyen las lombrices endógenas y los termes omnívoros que ingieren y se alimentan principalmente de la materia orgánica del suelo a diferentes niveles de humificación y/o de raíces muertas (Melo, 2010).

Fitófagos y rizófagos: se alimentan de plantas vivas (raíces y/o partes aéreas) e incluyen algunos micro y macro-artrópodos y caracoles.

Depredadores: son principalmente carnívoros y se alimentan de otros organismos, incluyendo varias familias de escarabajos, hormigas, ciempiés, arácnidos y escorpiones.

Detritívoros: son descomponedores o desintegradores que se alimentan de material vegetal o animal (carroñeros o necrófagos) en distintos grados de descomposición (detritos). Incluyen varios micro y macro-artrópodos, las lombrices epigeas y anécicas, caracoles y larvas de moscas, entre otros (Melo, 2010).

Omnívoros: en este grupo se incluyen aquellos individuos que comen todo tipo de alimento, tanto de origen vegetal como animal.

Parásitos: son organismo que viven a cuenta de otro e incluyen algunas moscas y nemátodos.

**Tabla 2.** Grupos que componen la macrofauna del suelo

<b>Nombre común</b>	<b>Grupo taxonómico reconocido (Clase**, Orden* o Familia)</b>	<b>Grupo funcional</b>
Lombrices de tierra	Haplotaxida*	Detritívoros e Ingenieros del suelo
Babosas y caracoles	Gastropoda**	Detritívoros
Cochinillas	Isópoda*	Depredadores
Milpiés	Diplopoda**	Detritívoros
Ciempiés	Chilopoda**	Depredadores
Arañas patonas	Araneae*	Depredadores
Falsos escorpiones	Pseudoscorpionida*	Depredadores
Cucarachas	Insecta**-Dictióptera*	Detritívoros
		Herbívoros
		Omnívoros
Escarabajos	Insecta**-Coleóptera*	Detritívoros
		Herbívoros
		Depredadores
Tijeretas	Insecta**-Dermáptera*	Detritívoros
		Depredadores
Moscas y mosquitos	Insecta**-Díptera*	Detritívoros

Chinches y salta hojas	Insecta**-Hemíptera*	Depredadores
Hormigas	Insecta**- Himenóptera*-Formicidae	Herbívoros Omnívoros, Depredadores e Ingenieros del suelo
Termitas o comejenes	Insecta**-Isóptera*	Detritívoros e Ingenieros del suelo
Mariposas y orugas	Insecta**-Lepidóptera*	Herbívoros
Grillos y saltamontes	Insecta**-Ortóptera*	Herbívoros

**Fuente:** (Cabrera, 2014)

#### 4.1.3 Indicadores biológicos relacionados con la calidad y salud del suelo

En el suelo viven una serie de organismos; los animales o fauna edáfica ejercen una función importante con respecto al ciclo de nutrientes. Estos organismos también afectan la evolución de los suelos participando de la mezcla de partículas orgánicas y minerales, en la formación de poros y agregados por materia fecal, por estas razones los organismos son considerados un factor formador del suelo (Gliessman, 2002; Lopez, 2005).

Los bioindicadores son propiedades o procesos biológicos dentro del componente del suelo de un ecosistema que permiten o indican el estado del ecosistema (Doran & Parkin, 1994). La calidad del suelo se puede definir como la capacidad del suelo de realizar su función, dentro de los límites de un ecosistema y prácticas de manejo, para sostener la productividad, mantener la calidad ambiental y promover la salud humana, animal y de las plantas (Doran & Parkin, 1994)

Mientras que la salud se puede definir como “La continua capacidad del suelo de realizar su función como un sistema vivo, dentro de unos límites de ecosistema y uso de la tierra, para sostener la productividad biológica, promover la calidad de los ambientes aire y agua y mantener la salud de plantas, animales y hombre” (Aguirre & Piraneque, 2007).

**Tabla 3.** Conjunto de indicadores biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo

<b>Propiedad</b>	<b>Relación con la condición y función del suelo</b>	<b>Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación</b>
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.	Kg de N o C ha <sup>-1</sup> relativo al C y N total o CO <sub>2</sub> producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.	Kg de C ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N.	Kg de N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo al contenido de C y N total

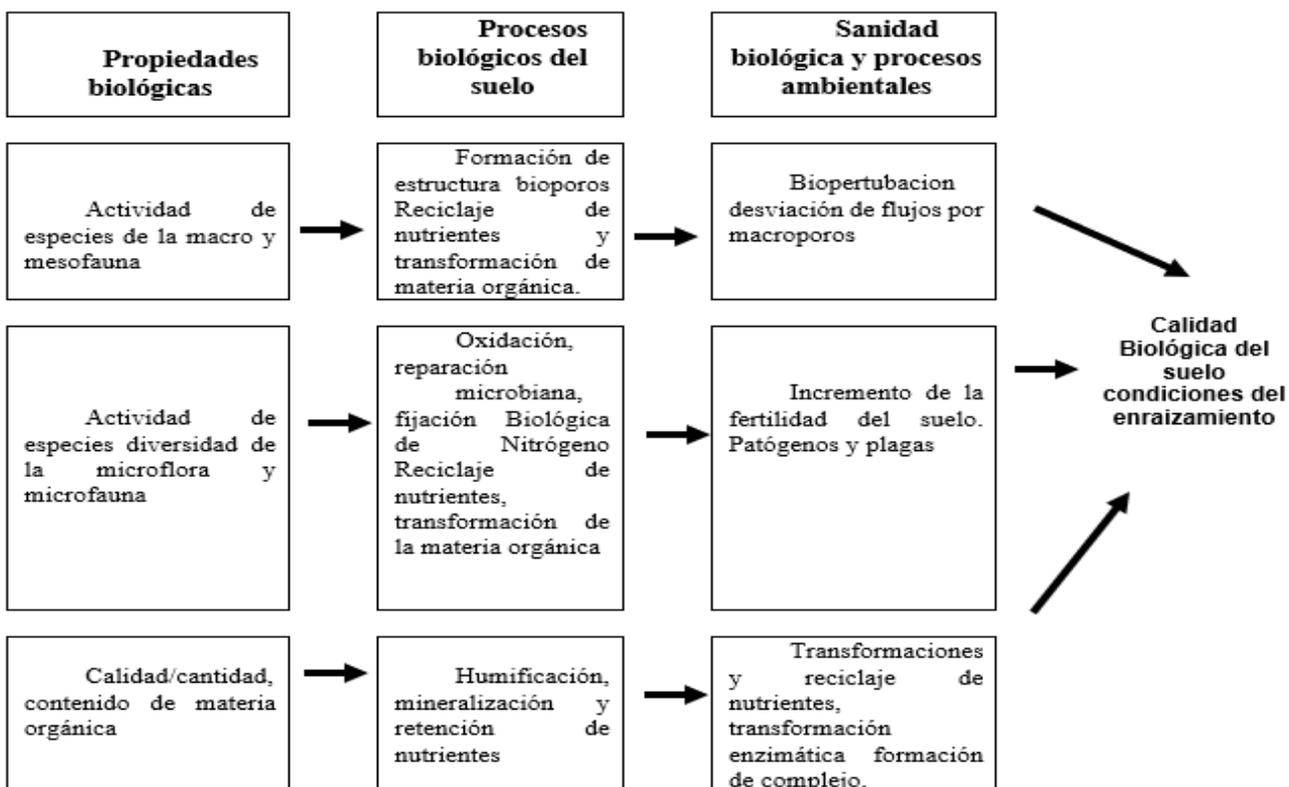
**Fuente:** (Aguirre & Piraneque, 2007)

Con respecto al ciclo de nutrientes la mesofauna y macrofauna edáfica: primero consumen materia orgánica y la simplifican o fraccionan, después mezclan el suelo y aumentan la porosidad mejorando las condiciones para la mineralización de la materia orgánica, siguiente aumentan la disponibilidad de nutrientes con material fecal y controlan las poblaciones de microorganismos (Perez, 2010; Lopez, 2005).

En cuanto a la macrofauna como biodicador de la calidad y salud del suelo, su importancia radica en su actividad, estos organismos fragmentan y redistribuyen residuos orgánicos, incrementan la actividad microbiana, favorecen la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera y mejoran la estructura del suelo (Aguirre & Piraneque, 2007). También la presencia de lombrices nos sirve como indicador de baja o alta aplicación de agroquímicos, debido a que son muy sensibles a estas sustancias (Perez, 2010). La población de lombrices y su actividad es un buen indicador de la salud/calidad del suelo, con

efectos sobre la estructura, fertilidad, reciclaje de nutrientes y la penetración de raíces (Aguirre & Piraneque, 2007). Entre los parámetros que se pueden evaluar se encuentran: Abundancia, número de individuos, biomasa, composición de la comunidad (edad, especie y actividad)

**Figura 2.** Propiedades biológicas y procesos relacionados con la calidad y sostenibilidad del suelo



**Fuente:** (Aguirre & Piraneque, 2007)

Por su parte, la microfauna edáfica contribuye a la mineralización de la materia orgánica, cumpliendo una función importante, pues de ella depende parte de la oferta de sales minerales y nutrientes asimilables por la planta. Influyen también en la humificación de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por *Azotobacter*, *Clostridium* y simbiosis entre leguminosas y *Rhizobium.f.* lo que resulta esencial, pues el N puede ser un factor limitante para el crecimiento

de las plantas. Por ello la importancia de los microorganismos, ya que estos organismos participan de ciclos de nutrientes de varios elementos como: C, N, S, P, Ca, Fe, Mn, entre otros (Perez, 2010; Lopez, 2005).

Adicionalmente los microorganismos al ser muy sensibles a perturbaciones resultantes del manejo del suelo; son un excelente indicador (Vandermeer, 2011).

Entre los parámetros de calidad del suelo para la microfauna edáfica se puede tener en cuenta:

Bacterias de vida libre: Expresa el número de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Es un indicador que refleja la población potencial de las bacterias en un determinado suelo, especialmente aquellas que ocupan diferentes nichos o hábitats en forma saprofítica. La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña, y otros, 2006). El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua; y entre las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg. También es importante tomar en cuenta los factores que pueden afectar negativamente las poblaciones de bacterias,

sustancias contaminantes en el suelo, así como la aplicación de agroquímicos (Acuña, y otros, 2006).

**Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre:** Son microorganismos capaces de reducir el nitrógeno atmosférico, incorporándolo al ambiente del suelo (Uribe, 1999). Dentro de este grupo se encuentran: Bacterias de los géneros *Azotobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, etc., su importancia radica en su capacidad para fijar el nitrógeno en el suelo y nutrirlo, lo cual también es un indicador de la calidad de un suelo.

**Organismo solubilizadores del fósforo:** La presencia en el suelo de un gran depósito de este elemento que no puede ser utilizado por las plantas pone de manifiesto la importancia del papel de los microorganismos en la conversión del fósforo orgánico como elemento combinado en los restos vegetales y en la materia orgánica del suelo, a formas inorgánicas aprovechables por las plantas. Este proceso se desarrolla mediante enzimas que separan al fósforo de los sustratos orgánicos y que se denominan fosfatasa. Como regla general una sola fosfatasa puede actuar en muchos sustratos diferentes y con esta actividad los microorganismos pueden aportar a las plantas entre el 30-60% de sus necesidades de fósforo. Los microorganismos que actúan en la solubilización ocupan el 10% de la población del suelo. Algunos géneros son: *Pseudomonas putida*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus subtilis*, *Thiobacillus*, *Penicillium bilaji*, *Aspergillus niger* ( Asociación Vida Sana, 2015).

**Hongos:** Es un indicador que refleja la población potencial de los hongos en un determinado suelo (unidades formadoras de colonias por gramo del sustrato), especialmente aquellos que ocupan diferentes nichos o hábitats en forma saprofítica. La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo, por esto se les conoce como descomponedores primarios que mediante su metabolismo

libera gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas, para así obtener su fuente energética y alimenticia. Además, liberan al medio proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces, una protección al ataque de fitopatógenos y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña, y otros, 2006).

#### **4.2 Contexto del sistema de cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca**

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esta región hay 225.560 hectáreas sembradas en caña para azúcar, de las cuales, el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el restante 75% a más de 2.750 cultivadores de caña. En el caso del departamento del Valle del Cauca, hay 176.244 hectáreas sembradas de caña de azúcar (Procaña, 2014).

Dichos cultivadores abastecen a 13 ingenios de la región (Cabaña, Carmelita, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Risaralda, Sancarlos, Tumaco, Ríopaila-Castilla, Incauca y Providencia) (Asocaña, 2018).

Desde 2005, cinco de los trece ingenios tienen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda). Gracias al clima privilegiado de la región, y al contrario de lo que sucede en el resto del mundo (con excepción de Hawaii y el norte de Perú), se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año. (Asocaña, 2018).

### 4.3 Antecedentes

Como antecedentes de la evaluación de la fauna edáfica como indicador de la calidad del suelo en cultivos como la caña de azúcar, se encuentra la evaluación de la macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar, el estudio se realizó en la región central del estado de Veracruz en México en año 2009, debido a que se presentó un cambio de uso del suelo dinámico y consistente de plantaciones de mango (*Mangifera indica* L.) a caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en los últimos 10 años; es decir, se pasó de una agricultura de bajo o nulo uso de agroquímicos como la practicada en huertas de mango a una de altos niveles de insumos sintéticos con el cultivo de caña de azúcar, con impactos negativos posiblemente en la calidad del suelo (Lang Ovalle, y otros, 2010). En este estudio se determinó, que la mayor frecuencia de invertebrados se presentó en mango (40%) y fue menor en orden descendente en caña persistente (37%) y caña reciente (24%). Es decir, que mango tuvo 1.67 veces más invertebrados que caña reciente y 1.08 veces más que caña persistente. Esto indicó que el uso de suelo o tipo de agroecosistema afecta significativamente la incidencia y abundancia de macrofauna edáfica, especialmente en cuanto a lombrices, termitas y miriápodos (Lang Ovalle, y otros, 2010). Por su parte de acuerdo al estudio, la abundancia de lombrices fue significativamente menor en el cultivo de caña, debido probablemente a un mayor laboreo del ,suelo y uso de agroquímicos para el control de plagas de suelo y malezas, y posiblemente por su relativa poca movilidad; no así como lo hicieron los otros grupos de mayor movilidad, como hormigas y termitas (Lang Ovalle, y otros, 2010).

En conclusión, el estudio determinó que el cambio de uso de suelo de mango a caña de azúcar afectó la abundancia y diversidad de macrofauna edáfica y factores fisicoquímicos del

suelo como indicadores de calidad del suelo, que permiten comprender el efecto de las decisiones como el cambio de suelo y uso de agroquímicos en la agricultura.

También se cuenta con la experiencia sobre la evaluación de la macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana, allí se realizaron estudios sobre la composición de la macrofauna edáfica asociada con los arreglos agroforestales ubicados en el Centro de Investigaciones Macagual Cesar Augusto Estrada González, Amazonia, Caquetá, Colombia. El experimento se dispuso en un diseño completo al azar bifactorial con cuatro tratamientos (arreglos agroforestales: AB = abarco – *Cariniana pyriformis* Miers; CH = caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. ; CP = caucho–*parica Schizolobium amazonicum* Huber; UV = uvito *Genipa Americana* L.) y dos épocas (máxima y mínima precipitación) y cuatro repeticiones en parcelas divididas (Suárez Salazar, Duran Bautista, & Rosas Patiño, 2015). Para explorar las relaciones entre los órdenes de macrofauna, se realizó un análisis de componentes principales y se evaluó el efecto de los arreglos agroforestales con una prueba de Monte Carlo. Los resultados mostraron que la densidad de la macrofauna fue mayor en el periodo de máxima precipitación (1129 individuos) en comparación con el de mínima (598 individuos). Los arreglos agroforestales influyen sobre la presencia o ausencia de algunos grupos taxonómicos ( $P < 0.05$ ) como Homoptera (Insecta) y Raphidioptera (Insecta); además los UV y AB pueden favorecer a la macrofauna del estrés por sequía. (Suárez Salazar, Duran Bautista, & Rosas Patiño, 2015).

Se han realizado otros estudios, donde se ha determinado el efecto del uso del suelo sobre las poblaciones de hongos solubilizadores de fosfato (HSF) y bacterias fijadoras biológicas de nitrógeno (BFN), como el estudio realizado en el páramo de Guerrero (Cundinamarca), donde se evaluó el efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias,

diazotróficas aislando y caracterizando especies de estos grupos bajo cuatro condiciones de uso diferentes: cultivos de papa ‘Parda Pastusa’ (p), cultivo de papa ‘Pastusa Suprema’ (s), suelos cultivados con papa actualmente en descanso (d) y suelos de bosque (b) (Moratto, Martínez, Valencia, & Sánchez, 2005) . Los resultados del estudio mostraron que grupos funcionales de microorganismos, como son los hongos solubilizadores de fosfato (HSF) y las bacterias fijadoras biológicas de nitrógeno (BFN), pueden ser susceptibles a las perturbaciones que ocurren con el cambio en el uso del suelo.

## **5. Materiales y métodos**

El proyecto se realizó en el municipio de Guacarí, corregimiento Guabitas finca “El Cairo” en el año 2018 en el mes de julio, que se adelantó con la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la UNAD, CEAD Palmira.

### **5.1 Materiales y equipos**

#### **5.1.3 Materiales para el muestreo de macrofauna edáfica**

- Pala
- Machete
- Bolsas plásticas 14 x 20 cm.
- Tijeras
- Pinzas
- Frascas de plástico
- Cuaderno de apuntes
- Formol al 4%

- Alcohol al 70 %

#### **5.1.4 Equipos para el muestreo de macrofauna edáfica**

- Balanza de precisión digital
- Cámara fotográfica
- Potenciómetro
- Calculadora
- Computadora
- Impresora

#### **5.1.5 Materiales y equipos para el muestreo de suelo para el análisis microbiológico**

- Nevera de icopor
- Pala
- Tubo de PVC para la extracción de muestras de suelo
- Decámetro.
- Cinta de etiquetar.
- Bolsas plásticas

#### **5.1.6 Materiales y equipos para el análisis de laboratorio de las muestras de suelo para microfauna edáfica**

- Tres muestras de suelo (1 kg) de cada sistema
- Frascos de dilución
- Cajas Petri
- Pipetas de 10, 5 y de un ml

- Solución salina estéril: Winogradsky

- Medios de cultivo:

**ESGA** (extracto de suelo – glucosa – agar) Para bacterias y hongos

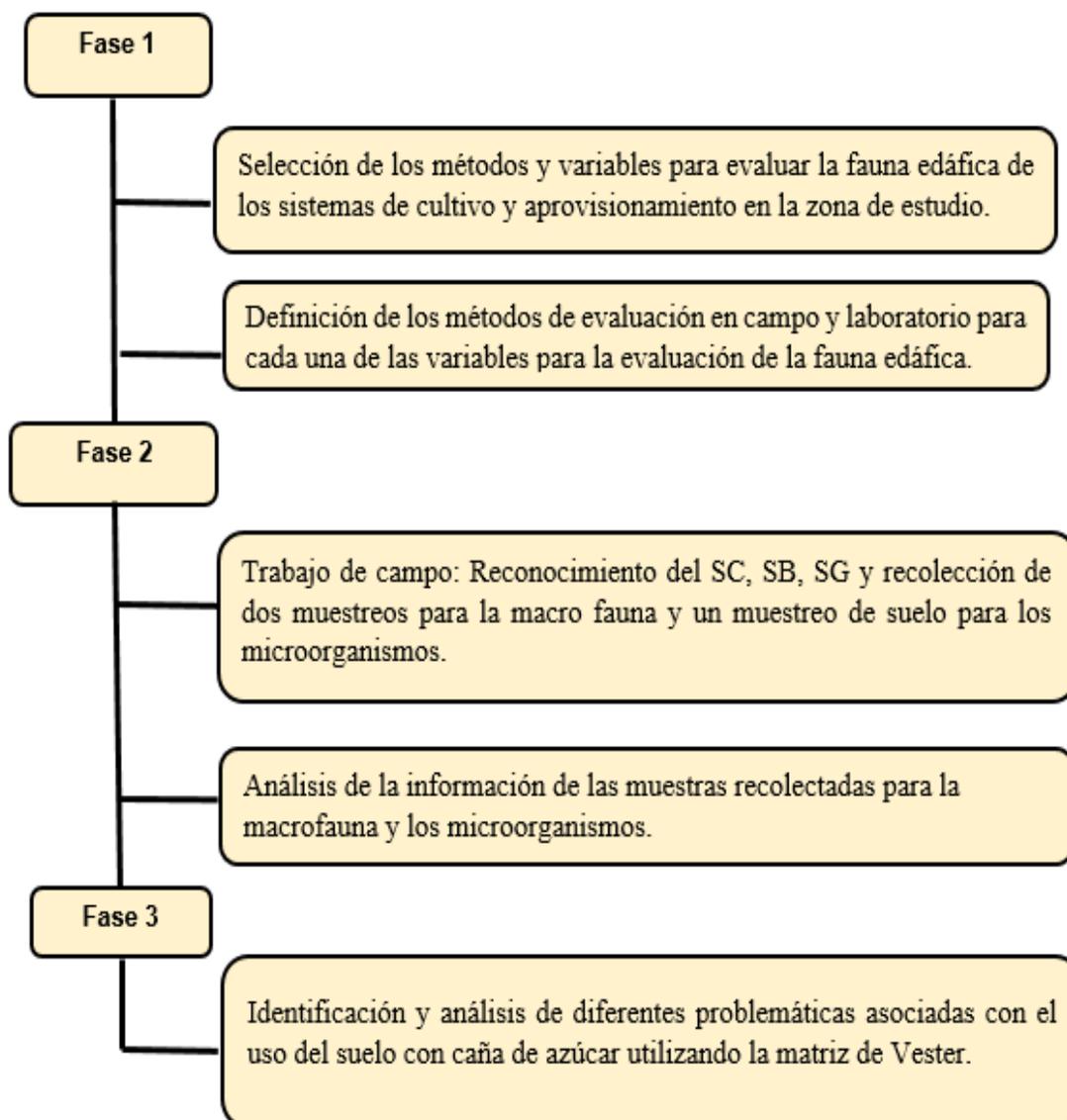
**ASHBY**: para bacterias fijadoras de N<sub>2</sub> asimbióticas

**PVK** + Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: para bacterias solubilizadores de “P” inorgánico

- Incubadora
- Máquina y vasos de dispersión de suelo
- Microscopio
- Cámara de flujo laminar
- Autoclave

## 6. Diseño metodológico

Se organizó un proceso metodológico basado en tres fases, con el propósito de definir el planteamiento teórico de las variables de respuesta seleccionadas y las determinaciones técnicas en campo y laboratorio.

**Figura 3.** Diseño metodológico desarrollado en fases

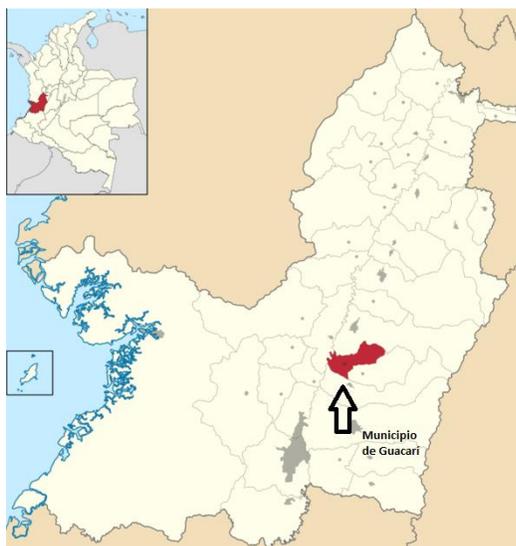
**Fuente:** Autores

### 6.1 Localización y descripción de la zona de estudio

El Sistema de Caña de Azúcar (SC), Sistema de Guadua (SG) y Barbecho (SB) para la evaluación de la macrofauna edáfica y análisis de microorganismo de estos suelos, se realizó en el municipio de Guacarí Valle del Cauca, corregimiento de Guabitas.

Este municipio se encuentra situado en la parte central del departamento, al borde de la carretera Panamericana, la mayor parte del territorio es plano o ligeramente ondulado, hacia el oriente se encuentra la zona montañosa que corresponde a la cordillera Central y sus tierras están regadas por los ríos Cauca, Guabas, Sonso y Zabaletas, además de otras corrientes menores; está situado geográficamente a  $3^{\circ}45'53''$  de latitud norte y  $76^{\circ}19'56''$  de longitud oeste. Limita por el Norte con: Guadalajara de Buga, Sur: Cerrito, por el Oriente con: Ginebra; por el Occidente con Yotoco, sirviéndole de límite el río Cauca. Tiene una extensión total de  $167\text{Km}^2$ , la extensión urbana es de  $2\text{ km}^2$  y la extensión rural de  $165\text{ km}^2$ , con una altitud en la cabecera municipal de  $900\text{ m.s.n.m}$ ; una temperatura media de  $23\text{ C}^{\circ}$  y humedad relativa del ambiente cercana al 74% (Alcaldía Municipal de Guacarí en Valle Del Cauca , 2018).

**Figura 4.** Ubicación del municipio de Guacarí Valle del Cauca

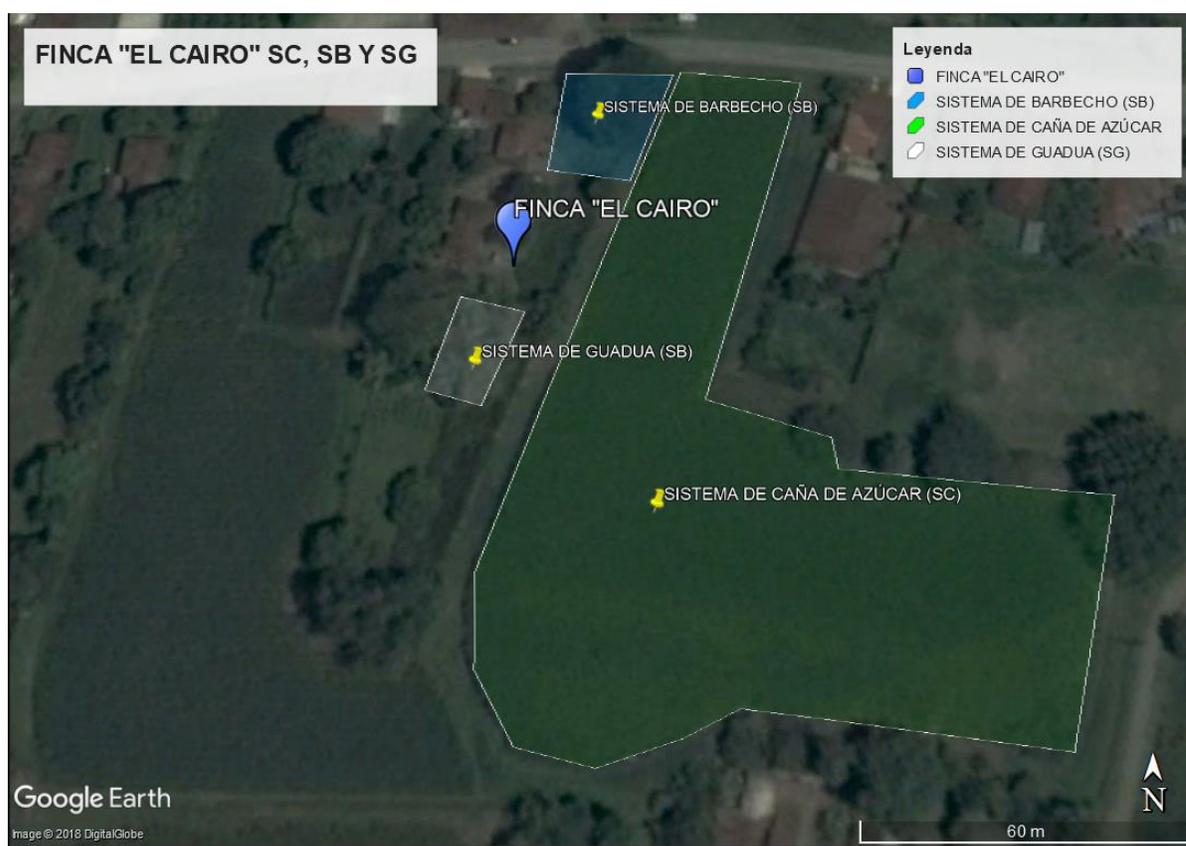


**Fuente:** (Wikipedia, 2011)

### 6.1.1 Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio es el corregimiento de Guabitas, en la finca “El Cairo”, la ubicación geográfica de la finca es  $3^{\circ}45'34.69$  de latitud norte y de  $76^{\circ}18'53.30$  de longitud oeste. En esta finca se encuentra el Sistema de Caña de azúcar (SC), el Sistema de Guadua (SG) y el Sistema de Barbecho (SB) (Figura 5).

**Figura 5.** Ubicación de la finca “El Cairo” con el SC, SB y SG



**Fuente:** (GoogleEarth, 2018)

#### 6.1.1.1 Sistema de Caña de Azúcar (SC)

Este sistema de caña de azúcar actualmente pertenece al ingenio Providencia; se trata de un terreno de aproximadamente 0.91 hectáreas. Según las personas que ocupan ahora el sector, antes de que se sembrara la caña de azúcar, aproximadamente hace 15 años, era un terreno con gran

abundancia de grama o lo que generalmente se conoce como pasto trenza, donde se llevaban a cabo prácticas recreativas la mayor parte del tiempo, como por ejemplo el juego de futbol y actividades de esparcimiento al aire libre, donde también se utilizaba en mayor medida como suelo de uso ganadero, donde las reses permanecía todos los días en este sector, una parte de este terreno se disponía para la siembra de algodón, por consiguiente se llevaban a cabo prácticas laborales ya que se disponía de cierta cantidad de jornaleros para la cosecha (Francisco , 2018).

Se debe tener en cuenta que había árboles frutales como mango, guama, guayaba y limón, tan solo algunos años atrás; donde los aldeaños se abastecían de este tipo de alimentos para su rutina diaria. En la actualidad se utiliza para la siembra del monocultivo de la caña de azúcar, donde se cosecha una vez al año en los meses de octubre y noviembre, sin embargo, en este año se adelantó la etapa de cosecha, ya que se presentaron casos de quemas accidentales en el cultivo, por ende se vieron en la tarea de sustraer el cultivo, por lo general el ingenio también realiza quemas de forma superficial antes de cosechar la caña, para que se agilice esta tarea, cabe destacar que se utiliza maquinaria pesada como tractores y el trabajo manual por parte de los corteros de caña (Francisco , 2018).

Como parte de las actividades agrícolas del Sistema de Caña (SC), a los tres meses de haber cosechado se aplican abonos al terreno tales como: Uría, Kcl, sulfato de amonio, azufre etc. Se hacen fumigaciones con herbicidas cada que lo consideran necesario, dependiendo de las características en que se encuentre la caña. Por su parte, el agua que se utiliza en este cultivo de caña es la del rio Guabitas y donde la compuerta se encuentra a 300 metros; no se utiliza riego por goteo ni tampoco por aspersión, si no el riego por gravedad, donde se construyen trinchos y se deposita el efluente en el cultivo, debido a estas desviaciones del curso hídrico que hace el ingenio Providencia (Francisco , 2018).

Según los testimonios de los residentes del lugar antes de que se asentara el monocultivo de la caña de azúcar, había una mayor cantidad de caudal en el río Guabitas, se deduce de esto que el cultivo de la caña ha acaparado gran parte del efluente.

#### **6.1.1.2 Sistema de Guadua (SG)**

Se trata de un sistema natural de guadua angustifolia. El sistema tiene alrededor de 290 M<sup>2</sup>. Según los residentes actuales de este sector siempre ha existido un guadual en esta zona, el tratamiento que se le da es básico por parte de los que conviven en la finca el Cairo, donde hacen limpieza, sin embargo, la intervención es prácticamente nula.

#### **6.1.1.3 Sistema de Barbecho (SB)**

Se trata de un terreno de aproximadamente 575 M<sup>2</sup>. En este terreno hace 50 años había una casa estilo colonial de los primeros dueños de la finca “El Cairo”, el cual fue del señor Adriano Torres, desde ese entonces no se ha vuelto a edificar ninguna estructura ni tampoco se ha sembrado ningún tipo de cultivo, teniendo una actividad de crecimiento espontánea, y se poda a cada 4 o 5 meses, siendo la maleza un factor predominante en esta zona específica (Francisco , 2018).

Algunas especies de plantas identificadas en este sistema fueron:

- *Amaranthus palmeri*
- *Parthenium Hysterophorus*
- *Paspalum notatum*
- *Panicum maximum*

Todas estas especies de plantas son de rápido crecimiento en este sistema como maleza.

## 6.2 Metodología Fase 1

### 6.2.1 Selección de los parámetros y métodos para evaluar la fauna edáfica de los sistemas de cultivo

De acuerdo a los objetivos planteados, la disponibilidad de recursos y las características de los terrenos, se definieron los siguientes parámetros y métodos para evaluar la fauna edáfica resumidos en la tabla 3.

**Tabla 4.** Parámetros y métodos para evaluar la fauna edáfica

Fauna edáfica a evaluar	Terrenos	Métodos y parámetros
<b>Macrofauna edáfica</b>	Cultivo de caña de azúcar (SC), Sistemas de Barbecho (SB) y Guadua (SG).	Determinación del índice de diversidad de Simpson, índice de diversidad y equidad de Shannon y análisis de varianza.
<b>Microfauna edáfica</b>	Cultivo de caña de azúcar (SC), Sistemas de Barbecho (SB) y Guadua (SG).	Determinación de los microorganismos totales, solubilizadores de fosforo y fijadores asimbióticos de nitrógeno (N) y análisis de varianza.

**Fuente:** Autores

### 6.2.2 Método de muestreo de suelos para macrofauna edáfica

Para realizar el muestreo de la macrofauna edáfica el procedimiento consistió en abrir en el área experimental tres cuadrantes de suelo (tres submuestras) por terreno, de 25 x 25 cm hasta la profundidad de 20 cm (Anderson & Ingram, 1993) con el empleo de una pala y con el mismo distanciamiento entre cuadrantes, de más de 5 m, pero no más de 20 m (Foto 1 y 2).

**Foto 1.** Apertura del cuadrante del suelo con el empleo de una pala



**Fuente:** Autores

**Foto 2.** Cuadrante de suelo de 25 x 25 x 20 cm.



**Fuente:** Autores

Posteriormente se extrajo por cuadrante el contenido de suelo y se depositaron en una manta de plástico (Foto 3), luego los individuos provenientes de las muestras de suelo fueron extraídos manualmente con la utilización de pinzas pequeñas (Foto 4), y fueron depositados en frascos de plástico con tapas (Foto 5), con su respectiva etiqueta por terreno, en formaldehído al 4% para conservar las lombrices de tierra y alcohol etílico al 70% para preservar el resto de los organismos para su proceso de preservación.

**Foto 3.** Recolección de la macrofauna en el campo



**Fuente:** Autores

**Foto 4.** Recolección de larva de coleópteros (familia scarabaeidae) del suelo con la utilización de pinzas pequeñas



**Fuente:** Autores

**Foto 5.** Recolección de la macrofauna del suelo en frascos de plástico



**Fuente:** Autores

Posteriormente, en un sitio condicionado, la macrofauna fue contada e identificada hasta el nivel taxonómico de Orden (Foto 6, 7 y 8).

**Foto 6.** Extracción e identificación de la macrofauna



**Fuente:** Autores

**Foto 7.** Extracción de lombriz de tierra (género Haplotaxida)



**Fuente:** Autores

**Foto 8.** Recolección e identificación de la macrofauna edáfica



**Fuente:** Autores

### 6.2.3 Método de muestreo de suelos para la microfauna edáfica

El muestreo de suelos para determinar la macrofauna edáfica se llevó a cabo para cada sistema (SC, SB, SG), se realizó el muestreo en zigzag hasta cubrir todo el área de cada terreno, se utilizó un tubo para tomar las muestras hasta una profundidad de 20cm (Foto 9 y 10), se tomaron 10 submuestras por lote, los cuales se juntaron, se homogenizaron bien hasta completar 1000 gramos, después se depositaron las muestras en bolsas plásticas nueva, se sellaron y se etiqueto cada muestra según el tipo de terreno o manejo del suelo (Foto 11). Posterior, se depositaron las muestras en una hielera de icopor, para mantener fresca las muestras, así evitar la pérdida de húmeda y modificaciones de la temperatura. Finalmente, en menos de 24 horas se entregó las muestras al laboratorio.

**Foto 9.** Muestreo de suelo para microfauna edáfica



**Fuente:** Autores

**Foto 10.** Tubo de extracción para la toma de muestra



**Fuente:** Autores

**Foto 11.** Muestra de suelo para microfauna edáfica y su rotulación



**Fuente:** Autores

#### **6.2.4 Métodos de laboratorio para determinar los microorganismos del suelo**

La determinación de las unidades formadoras de colonias microbianas de los suelos, se realiza, con base en la metodología desarrollada por Winogradsky, la cual consiste en la preparación de una solución salina en diluciones seriadas de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-9}$  y el conteo se hace en cajas de Petri conteniendo el respectivo medio de cultivo selectivo (Extracto de suelo- glucosa-agar ESGA). Tomando tres repeticiones por dilución.

Para el recuento de las unidades formadoras de colonias microbianas (UFC), se procede de la siguiente forma: Inicialmente se prepara los diferentes medios de cultivo y se auto clavan a  $121^{\circ}\text{C}$  15 lb de presión por puada cuadrada durante 15 minutos. Una vez preparados los medios y con temperaturas de más o menos  $50^{\circ}$  y las de Petri estériles, en la cámara de flujo laminar se dispone una película del respectivo medio y se deja enfriar.

Seguidamente, se prepara las diluciones de las muestras de suelo a evaluar, en la solución salina (dilución de Winogradsky) en tubos de ensayo con 9 ml de la solución, para lo cual previamente se ha dispuesto en nevera un volumen de agua destilada estéril (200ml) en un vaso de dispersión de suelo.

Procedimiento: Se pesa 20g de la muestra de suelo, se adiciona al vaso de dispersión de suelo con el agua 200 ml (fría) y así se tiene la dilución  $10^{-1}$ , se agita con la maquina durante 5 minutos. Luego en la cámara o con mecheros de alcohol, se transfiere a la siguiente dilución 1 ml de  $10^{-1}$  para obtener  $10^{-2}$  y sucesivamente hasta llegar a  $10^{-9}$ .

Ya con las diluciones listas, se procede a inocular cada dilución en las cajas de Petri que contienen la película del medio de cultivo.

Bacterias de vida libre: Recuento de las unidades formadoras de colonias bacterianas (ufcb). El recuento de las unidades formadoras de colonias bacterianas, se realiza inoculando las

diluciones desde  $10^{-4}$  hasta  $10^{-9}$ , por cada dilución se inocula tres repeticiones es decir (tres cajas de Petri), adicionando 1 ml de la dilución agitando previamente el tubo de ensayo, finalizado el proceso, se procede adicionar una segunda capa del medio de cultivo, el cual debe estar en baño maría a una temperatura de 30 a  $35^{\circ}\text{C}$ , teniendo en cuenta de mover la caja de Petri al momento del vaciado para homogenizar el inoculo.

Luego se rotulan las cajas y se disponen en la incubadora a  $28^{\circ}\text{C}$  por un periodo de tiempo entre 24 y 48 horas. Cumplido este tiempo se procede al respectivo recuento. Nota: solo se tiene en cuenta las unidades experimentales que estén en un rango entre 0 y 100 ufc.

Hongos: Recuento de las unidades formadoras de colonias fungosas (ufcf). El procedimiento para el recuento de hongos del suelo presenta unos leves cambios consistentes en: la inoculación de las diluciones en las cajas de Petri se hace desde  $10^{-4}$  a  $10^{-7}$ , su periodo de incubación a la misma temperatura, es de 5 a 7 días y la lectura se hace en las unidades experimentales entre el rango de 0 a 30 ufcf. El medio de cultivo es ESGA, pero al momento de la inoculación se le adiciona gotas de ácido láctico al 25%, para modificar el pH y evitar el crecimiento de bacterias.

Bacterias asimbióticas fijadoras de  $\text{N}_2$ : Recuento de las unidades formadoras de colonias (ufc). Se procede igual a los demás procesos, se inoculan las diluciones entre  $10^{-4}$  y  $10^{-7}$ , el periodo de incubación es de 7 días a  $28^{\circ}\text{C}$ , para el conteo de las unidades es necesario colocar las cajas en contra luz ya que las colonias de este grupo son translucidas. El medio de cultivo para evaluar este grupo de microorganismos se denomina ASHBY.

Bacterias solubilizadores de fosforo. Recuento de unidades formadoras de colonias.

Se procede igual a los demás procesos, se inoculan las diluciones entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$  el periodo de incubación se estima en 72 horas a  $28^{\circ}\text{C}$ , para el recuento se tiene en cuenta las colonias que formen un halo transparente en su entorno.

## **6.3 Metodología fase 2**

### **6.3.1 Reconocimiento del sistema de cultivo**

Se realizó una descripción de las características de cada terreno, el Sistema de Caña de Azúcar (SC), y los Sistemas de Guadual (SG) y Barbecho (SB).

### **6.3.2 Época de recolección de muestras**

Para la toma de muestras de la macrofauna edáfica se realizaron dos muestras en el mismo mes, durante un periodo de lluvia del mes de junio del 2018, donde se tomaron tres submuestras por sistema de manejo. Para la toma de muestras para el análisis de la microfauna edáfica se realizó también muestras durante el mismo periodo de la toma de muestra de la macrofauna edáfica, para el caso del SC este se encontraba en el periodo de siembra.

## **6.4 Metodología fase 3**

Se identificaron diferentes problemáticas asociadas con el uso del suelo con caña de azúcar, en el cual se aplicó la matriz de Vester como técnica de investigación, para asociar los problemas identificados, así como jerarquizarlos e interpretarlos según su nivel de causalidad de uno sobre otro.

## **6.5 Análisis de información**

La información se analizó usando matrices y graficas de Excel. Para el análisis de la microfauna edáfica, se realizaron graficas de Excel, análisis estadísticos comparativos. Para la macrofauna edáfica en los diferentes tratamientos, se usaron los índices de diversidad de Shannon, de equidad y dominancia de Simpson para los individuos identificado. También la información recopilada de las distintas variables se sometió a análisis de varianza (ANOVA) mediante un diseño completamente al azar (CAA), con un nivel  $P= 0,05$ . Por último, se utilizó la

matriz de Vester para identificar diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar.

### **6.5.1 Composición de los microorganismos en las muestras de suelo**

Se analizó y describió el cambio en la composición de los microorganismos del suelo, en los tres sistemas de manejo; con bases al contenido colectado que se colonizo en el laboratorio de bacterias de vida libre, hongos, solubilizadores de fosforo y fijadores asimbioticos de nitrógeno.

### **6.5.2 Composición de macrofauna edáfica**

Se realizó un listado de los órdenes, de la macrofauna edáfica que colecto en los sistemas (SC, SB, SG) y se analizó y describió el cambio en la composición de la macrofauna edáfica en los 2 muestreos, con base también en los índices de diversidad, dominancia y equidad.

#### **6.5.2.1 Riqueza**

Este expresa el número de especies de una comunidad, en este caso morfotipos, que son taxa separados por diferencias morfológicas (Oliver & Beattie, 1996).

#### **6.5.2.2 Índice de diversidad de Shannon**

En este índice la diversidad se ve afectado por el número de especies y su equidad. Supone que todas las especies son colectadas al azar y se representan en la muestra. Su valor se encuentra entre 1.5 y 3.5 (Magurran, 1989; Ramirez, 1999).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

- S corresponde al número de especies (la riqueza de especies)

- $p_i$  es la proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (la abundancia relativa de la especie  $i$ ):  $n_i/N$   $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$
- $N$  es el número de todos los individuos de todas las especies

Así, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia) (Magurran, 1989).

### **6.5.2.3 Índice de equidad de Shannon**

Este índice nos permite cuantificar qué tanto se desvía la diversidad estimada del máximo teórico (cuando todas las especies son igual de abundantes) (Magurran, 1989). Sus ediciones tendrán un valor, que se encuentra entre cero y uno. Cero (0) cuando hay dominancia total de una especie y uno (1) cuando todas las especies tienen el mismo número de individuos (Magurran, 1989).

$$E = H' / H \text{ máx.} = H' / \ln S$$

$E$  = índice de equidad

$S$  = número de especies de la muestra

$H'$  = índice de diversidad

$H'$  = máximo teórico del índice de diversidad

### **6.5.2.4 Índice de Simpson**

Se trata de un índice probabilístico, una medida de concentración que determina la probabilidad de extraer individuos de una misma especie, es decir, qué tan dominante es una especie. Éste índice es muy dependiente de las especies más abundantes (Ramirez, 1999). Su fórmula es:

$$D = \Sigma (n_i(n_i-1) / (N(N-1)))$$

D= índice de dominancia

$n_i$  = número de individuos de la especie  $i$

N = número total de individuos

### 6.5.3 Matriz de Vester

La matriz de Vester es una técnica que fue desarrollada por el alemán Frederic Vester y aplicada con éxito en diversos campos. Es una herramienta que facilita la identificación y la determinación de las causas y consecuencias en una situación problemática. En términos generales se trata de una matriz con un arreglo de filas (o hileras) y columnas, que por convención toma a las primeras, a nivel horizontal y las segundas, lógicamente a nivel vertical. En la matriz se ubican los problemas detectados tanto por filas como por columnas en un mismo orden previamente identificado (Figura 6).

**Figura 6.** Matriz de Vester

<b>PROBLEMAS</b>	<b>Problema 1</b>	<b>Problema...</b>	<b>Problema n</b>	<b>Total de activos</b>
<b>Problema 1</b>				
<b>Problema...</b>				
<b>Problema n</b>				
<b>Total de pasivos</b>				<b>Gran total</b>

**Fuente:** Autores

La metodología de la matriz y su interpretación es la siguiente:

Primero se identifican todos los problemas actuantes (esta lista puede realizarse por tormenta de ideas u otro método de trabajo en grupos que permita generar la mayor cantidad posible de los mismos) se procederá a:

1. Reducción del listado, para lo cual se puede utilizar la técnica de consenso u otra de manera que se identifiquen los más relevantes entre todos los identificados.
2. Asignación de una identificación alfabética o numérica sucesiva para facilitar el trabajo en la matriz.
3. Conformar la matriz ubicando los problemas por filas y columnas siguiendo el mismo orden.
4. Asignar una valoración de orden categórico al grado de causalidad que merece cada problema con cada uno de los demás, siguiendo las siguientes pautas:

No es causa 0

Es causa indirecta 1

Es causa medianamente directa 2

Es causa muy directa 3

Por otro lado, el llenado de la matriz con los valores señalados obedece al siguiente planteamiento: ¿Qué grado de causalidad tiene el problema 1 sobre el 2?, sobre el 3? sobre el n-ésimo, hasta completar cada fila en forma sucesiva y llenar toda la matriz (Chiimbila, 2009).

Las celdas correspondientes a la diagonal de la matriz se quedan vacías puesto que no se puede relacionar la causalidad de un problema consigo mismo.

La valoración dada a la relación entre un problema con el otro se obtiene del consenso de los criterios del grupo de expertos que está participando.

2. Calcular los totales por filas y columnas. La suma de los totales por filas conduce al total de los activos que se corresponden con la apreciación del grado de causalidad de cada problema sobre los restantes. La suma de cada columna conduce al total de los pasivos que se interpreta como el grado de causalidad de todos los problemas sobre el problema particular analizado es decir su nivel como consecuencia o efecto (Chiimbila, 2009).

3. El paso a seguir es lograr una clasificación de los problemas de acuerdo a las características de causa efecto de cada uno de ellos. Para ello se deben seguir los siguientes pasos:

Construir un eje de coordenadas donde en el eje X se situarán los valores de los activos y en el eje Y el de los pasivos.

Se toma el mayor valor del total de activos y se divide entre dos, lo mismo con los pasivos. A partir de los valores resultantes se trazan sobre los ejes anteriores líneas paralelas al eje X si se trata de los pasivos y al eje Y si se trata de los activos. Lo anterior facilita un trazado de dos ejes representados por las perpendiculares trazadas desde de los ejes originales, que permite la representación de 4 cuadrantes, ubicando sobre ellos a cada uno de los problemas bajo análisis (Chiimbila, 2009).

La ubicación espacial de los problemas en la figura correspondiente facilita la siguiente clasificación:

**Cuadrante I** (superior derecho) Problemas críticos.

**Cuadrante II** (superior izquierdo) Problemas pasivos.

**Cuadrante III** (inferior izquierdo) Problemas indiferentes.

**Cuadrante IV** (inferior derecho) Problemas activos.

**Interpretación de cada cuadrante.**

**Figura 7.** Interpretación de cuadrantes en la matriz de Vester

<p><b>CUADRANTE 2: PASIVOS.</b></p> <p>Problemas de total pasivo alto y total activo bajo.</p> <p>Se entienden como problemas sin gran influencia causal sobre los demás pero que son causados por la mayoría.</p> <p>Se utilizan como indicadores de cambio y de eficiencia de la intervención de problemas activos.</p>	<p><b>CUADRANTE 1: CRÍTICOS.</b></p> <p>Problemas de total activo total pasivo altos.</p> <p>Se entienden como problemas de gran causalidad que a su vez son causados por la mayoría de lo demás,</p> <p>Requieren gran cuidado en su análisis y manejo ya que de su intervención dependen en gran medida lo resultados finales.</p>
<p><b>CUADRANTE: INDEFERENTES.</b></p> <p>Problemas de total activos y total pasivos bajos.</p> <p>Son problemas de baja influencia causal además que no son causados por la mayoría de los demás.</p> <p>Son problemas de baja prioridad dentro del sistema analizado.</p>	<p><b>CUADRANTE 4: ACTIVOS</b></p> <p>Problemas de total de activos alto y total pasivo bajo.</p> <p>Son problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes pero que no son causados por otros.</p> <p>Son problemas claves ya que son causa primaria del problema central y por ende requieren atención y manejo crucial.</p>

**Fuente:** (Chiimbila, 2009)

## 7. Resultados y discusión

### 7.1 Composición de la macrofauna edáfica colectada

**Tabla 5.** Sumatoria de individuos de la macrofauna edáfica recolectada para los diferentes sistemas en el muestreo 1

Órdenes	Número de individuos en cada sistema					
	Sistema de Caña (SC)	%	Sistema de Guadua (SG)	%	Sistema de Barbecho (SB)	%
<b>Coleóptera</b>	4	<b>10,26</b>	18	<b>14,40</b>	13	<b>15,48</b>
<b>Haplotaxida</b>	17	<b>43,59</b>	36	<b>28,80</b>	23	<b>27,38</b>
<b>Dermáptera</b>	3	<b>7,69</b>	6	<b>4,80</b>	1	<b>1,19</b>
<b>Hemíptera</b>			5	<b>4,00</b>	3	<b>3,57</b>
<b>Himenóptera</b>	10	<b>25,64</b>	27	<b>21,60</b>	28	<b>33,33</b>
<b>Ortóptera</b>	2	<b>5,13</b>	2	<b>1,60</b>	1	<b>1,19</b>
<b>Lepidóptera</b>			3	<b>2,40</b>	2	<b>2,38</b>
<b>Gastropoda</b>			1	<b>0,80</b>	0	
<b>Isóptera</b>			17	<b>13,60</b>	3	<b>3,57</b>
<b>Isópoda</b>	2	<b>5,13</b>	6	<b>4,80</b>	2	<b>2,38</b>
<b>Miriápodos</b>	1	<b>2,56</b>	4	<b>3,20</b>	8	<b>9,52</b>
<b>TOTAL</b>	39	<b>100</b>	125	<b>100</b>	84	<b>100</b>

Fuente: Autores

En la tabla 5, se observa que para el muestreo 1, el Sistema de Guadua (SG) y Barbecho (SB), presentaron la mayor cantidad de individuos que corresponde a las Órdenes de

Haplotaxida, Coleóptera e Himenóptera, así mismo se registraron el mayor número de individuos en total, con 125 organismos identificados para el SG y 84 individuos para el SB; con respecto al SC, el número de individuos identificados fue menor con 39 organismo, donde los órdenes más abundantes fueron Haplotaxida, Himenóptera y Coleóptera.

**Tabla 6.** Sumatoria de individuos de la macrofauna edáfica recolectada para los diferentes sistemas en el muestreo 2

Órdenes	Número de individuos en cada sistema					
	Caña de azúcar sistema (SC)	%	Sistema de Guadual (SG)	%	Sistema de Barbecho (SB)	%
<b>Coleóptera</b>	3	<b>10,71</b>	20	<b>15,63</b>	11	<b>12,22</b>
<b>Haplotaxida</b>	13	<b>46,43</b>	30	<b>23,44</b>	30	<b>33,33</b>
<b>Dermáptera</b>	1	<b>3,57</b>	8	<b>6,25</b>	0	
<b>Hemíptera</b>	0		3	<b>2,34</b>	2	<b>2,22</b>
<b>Himenóptera</b>	7	<b>25,00</b>	30	<b>23,44</b>	36	<b>40,00</b>
<b>Ortóptera</b>	1	<b>3,57</b>	1	<b>0,78</b>	0	
<b>Lepidóptera</b>	0		5	<b>3,91</b>	4	<b>4,44</b>
<b>Gastropoda</b>	0		0		0	
<b>Isóptera</b>	0		20	<b>15,63</b>	1	<b>1,11</b>
<b>Isópoda</b>	0		5	<b>3,91</b>	1	<b>1,11</b>
<b>Miriápodos</b>	3	<b>10,71</b>	6	<b>4,69</b>	5	<b>5,56</b>
<b>TOTAL</b>	28	<b>100</b>	128	<b>100</b>	90	<b>100</b>

Fuente: Autores

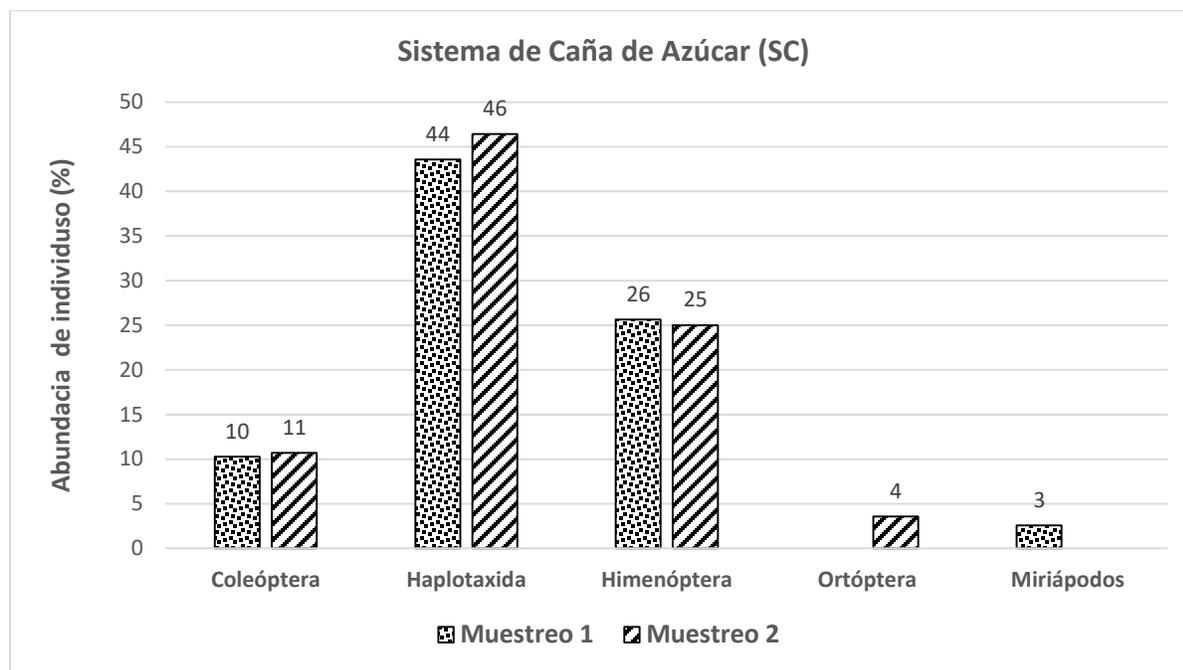
En la tabla 6, se observa también que para el muestreo 2, el cual se realizó en la misma semana del muestreo 1, el Sistema de Caña (SC) y el Sistema Barbecho (SB), igualmente presentaron la mayor cantidad de individuos que corresponde en su mayoría a los órdenes de Haplotaxida (lombriz de tierra), Coleóptera e Himenóptera (hormigas), así mismo se registraron el mayor número de individuos en total, con 128 organismos identificados para el SG y 90 individuos para el SB; con respecto al Sistema de Caña de Azúcar (SC), el número de individuos identificados fue mucho menor con 28 organismo, donde los órdenes más abundantes solo fueron Haplotaxida, Himenóptera y Coleóptera igualmente.

Se pudo evidenciar, que tanto para el muestreo 1 y 2, cuyo análisis de varianza entre sistemas no se registró variaciones en la media ( $P > 0.005$ ), el SC, registro la menor abundancia de individuos, comparado con los sistema SG y SB, donde se registró mayor abundancia de individuos, esto se contrasta que para la agricultura intensiva, monocultivos y aplicación de agroquímicos, como en este cultivo de caña de azúcar, estos elementos promueven la reducción de la macrofauna del suelo (Paul, y otros, 2010); También se presentó baja presencia de lombrices de tierra y hormigas en el SC, debido probablemente a un mayor laboreo del suelo (arado, subsoleo, aplicación de fertilizantes y control mecánico de hierbas y uso de agroquímicos para el control de plagas de suelo y malezas) (Paul, y otros, 2010), y posiblemente por su relativa poca movilidad comparado con el SG y SB, donde se registró 2,3 veces más individuos del género Haplotaxida y 5 veces más del género Himenóptera y baja presencia de miriápodos; indicando también que las lombrices, miriápodos y otros invertebrados son sensibles a efectos tóxicos de químicos agrícolas (Paoletti, Favretto, Stinner, Purrington, & Bater, 1991); Igualmente se sabe que el uso del suelo o tipo de agroecosistema afecta significativamente la incidencia y

abundancia de macrofauna edáfica, especialmente en cuanto a lombrices, termitas y miriápodos . La presencia y mayor abundancia de lombrices en SG y SB, constituyen la principal referencia de mayor calidad del suelo (Fragoso, y otros, 1997). También estos porcentajes son un indicador de gran importancia e interés (lombrices de tierra) y se pueden usar como indicadores de la calidad del suelo (Decaens, Lavelle, Jiménez, & Scheneidmald, 1998).

Se pudo identificar, además, la presencia del género coleóptero en los tres sistemas, esto se explica debido a que este orden tiene gran capacidad de adaptación a diversos ambientes y sus largos ciclos de vida en algunas especies, posibilitan su presencia durante todo el año (Navarrete & Newton, 1996). También se explica la menor abundancia de macro invertebrados en el Sistema de Caña de Azúcar (SC), en general, debido a que se utiliza labranza convencional, donde se ha sabido que la labranza es uno de los factores perturbadores de la vida del suelo y se ha conocido que las prácticas de manejo de suelo y los diferentes tipos de labranza afectan la estructura del mismo y consecuentemente las poblaciones de la macrofauna edáfica (Wardle, 1995; Marín & Feijoo, 2005; Ararat, Aristizaba, & Mósquera, 2002). Estos resultados son también parecidos a los obtenidos por (Lang Ovalle, y otros, 2010) donde se reportó que los cambios del uso del suelo a caña de azúcar, afectan la abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica y su efecto funcional sobre las propiedades del suelo. También se sabe, que la agricultura intensiva y monocultivos como la caña de azúcar, donde se aplican agroquímicos, se ha establecido que estos elementos promueven la reducción de la macrofauna del suelo (Brévault, Bikay, Maldas, & Naudin, 2007). Por tanto, cuando se evita disturbar la primera capa de suelo, conlleva a un constante o estabilidad de la diversidad edáfica (Ararat, Aristizaba, & Mósquera, 2002).

**Figura 8.** Presencia de ordenes en sistema de manejo de caña de azúcar (SC) para el muestreo 1 y 2



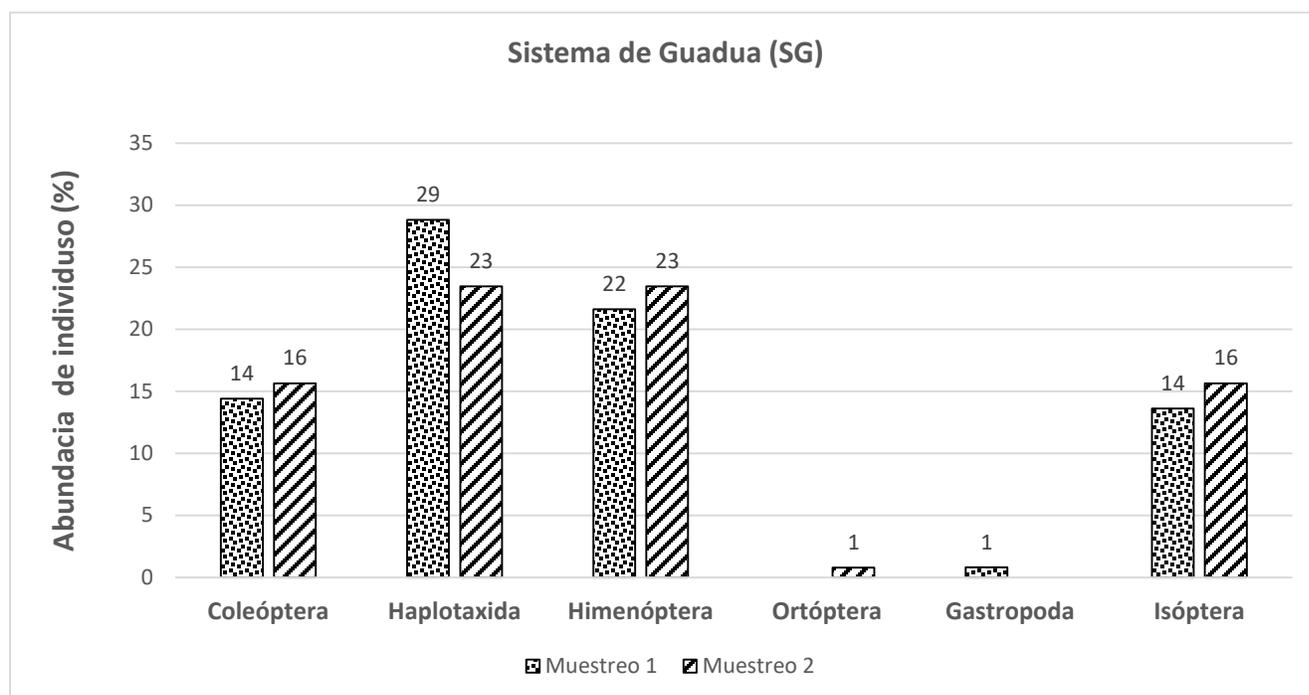
**Fuente:** Autores

En la figura 8, en el SC para muestreo 1, la mayor cantidad de organismo corresponde a los órdenes Haplotaxida (lombriz de tierra) (44%), Himenóptera (26%), Coleóptera (10%), mientras que la menor cantidad corresponde al orden Miriápodos (8%). Para muestreo 2, igualmente la mayor cantidad de organismo corresponde a los órdenes Haplotaxida (46%), Himenóptera (hormigas) (25%), Coleóptera (11%) y la menor cantidad de individuos corresponde al orden Ortóptera (3,57%). La media entre muestreos no presento diferencia ( $P > 0.05$ ).

Estos valores nos indica que tanto para el muestreo 1 y 2 (SC), la mayor cantidad de individuos lo registraron los órdenes Haplotaxida (lombriz de tierra), Himenóptera (hormigas) y Coleópteros (escarabajos y larvas de escarabajos), esto se relaciona con otras investigaciones, donde en cuanto a biomasa, las lombrices de tierra y las hormigas, predomina en mayor

porcentaje en este tipo de suelos agrícolas (Paul, y otros, 2010). La presencia de hormigas en este sistema puede emplearse como bioindicadores de sustentabilidad del suelo, ya que las especies existentes en caña son depredadoras y contribuyen a la regulación de otras poblaciones y porque sus nidos contribuyen a mejorar la estructura de los suelos (Lobry de Bruyn, 1999).

**Figura 9.** Presencia de ordenes en el Sistema de Guadua (SG) para el muestreo 1 y 2

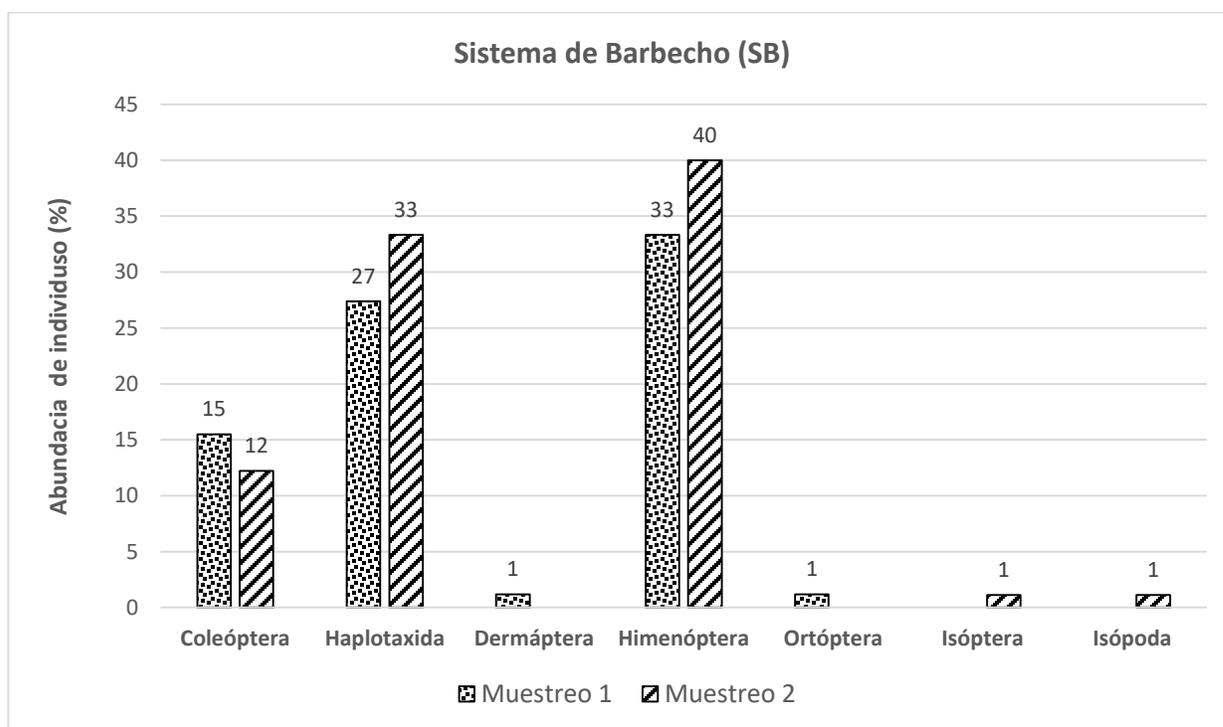


**Fuente:** Autores

En el Sistema de Guadua (SG) (Figura 9), en el muestreo 1, la mayor cantidad de organismo corresponde a los órdenes Haplotaxida (lombriz de tierra) (29%), Himenóptera (22%), Coleóptera (14%) e Isóptera (14%) y el género con menos individuos fue el Gastropoda (1%). Mientras que para muestreo 2, los géneros con más individuos fueron igualmente Haplotaxida (23%), Himenóptera (23%), Coleóptera (16%) e Isóptera (16%), la menor cantidad de individuo correspondió al orden de Ortóptera (1%). El análisis de varianza entre el muestreo 1 y 2 no presento diferencias ( $P > 0.05$ ). Tanto para el muestreo 1 y 2 en el SG, se puede considerar la

importancia y la presencia de los macro organismos del suelo, ya que los organismos que habitan el suelo desempeñan un papel importante ya que contribuyen al mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Su presencia o ausencia sirve como indicador de la calidad y salud del suelo (Coral, 1998). También la abundancia de lombrices en este sistema ayuda a activar la transformación de sustancias orgánicas é inorgánicas y promueven la formación de macro agregados estables. Al construir galerías desarrollan macro poros estables y continuos, mejoran el intercambio gaseoso, aumentan la tasa de infiltración y mejoran el potencial del suelo. Además, la abundancia de lombrices en este tipo de sistema y su actividad es un buen indicador de la salud/calidad del suelo, con efectos sobre la estructura, fertilidad, reciclaje de nutrientes y la penetración de raíces (Aguirre & Piraneque, 2007).

**Figura 10.** Presencia de ordenes en el Sistema de Barbecho (SB) para el muestreo 1 y 2



**Fuente:** Autores

El Sistema de Barbecho (SB), para muestreo 1, la mayor cantidad de organismo corresponde a los órdenes Himenóptera (33%), Haplotaxida (27%), Coleóptera (15%) y la menor cantidad de individuo corresponde al orden de Ortóptera y Dermáptera (1%). Mientras que para muestreo 2, la mayor cantidad de organismo corresponde al igual que el muestreo 1 a los órdenes Himenóptera (44%), Haplotaxida (33%), Coleóptera (12%) y la menor cantidad de individuos correspondió al orden de isópoda e isóptera (1%) (Figura 10). La presencia del género Himenóptera (hormigas) en este sistema es indicadora de buena calidad del suelo, siendo también importantes para la sustentabilidad de este tipo de suelo (Lobry de Bruyn, 1999) al igual que la presencia de lombrices es un excelente bioindicador de calidad y salud de este suelo. La media entre el muestreo 1 y 2 para el SB fue igual ( $P > 0.05$ ).

### **7.1.2 Diversidad en cada sistema de manejo**

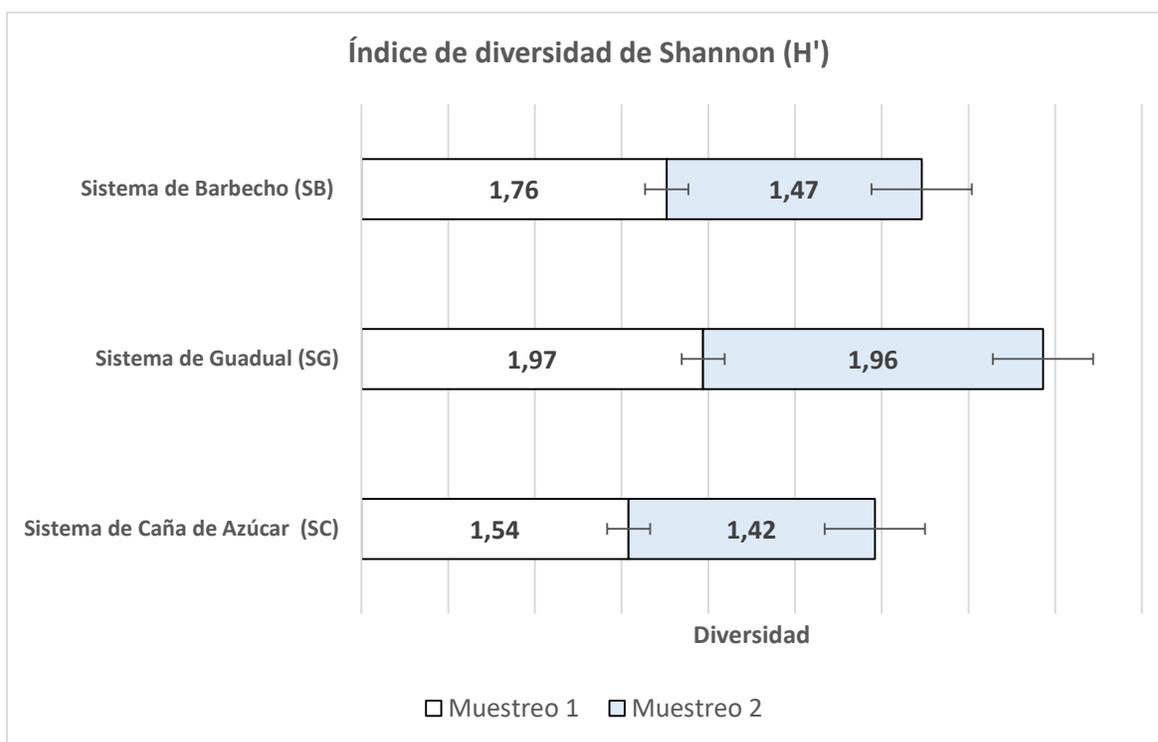
La diversidad de cada sistema de manejo nos proporcionaría una excelente manera para poder, en especial para el Sistema de Caña de Azúcar (SC), detectar el efecto de este cultivo en la macrofauna edáfica, comparado con dos sistemas sin intervenir (SG y SB).

En el muestreo 1 y 2 (Figura 11) el SG presento la mayor diversidad con respecto al valor del índice de diversidad de Shannon, que fue ( $H' = 1.97$ ) para el muestreo 1 y ( $H' = 1.96$ ) para el muestreo 2, seguido por el SB en el muestreo 1 ( $H' = 1.76$ ) y ( $H' = 1.47$ ) para el muestreo 2; esto indica, que una mayor diversidad de organismos tanto para el SG y el SB, Según Odum (1989) representan cadenas alimenticias más largas, así como mayores posibilidades de control de la retroalimentación negativa, que reduce las oscilaciones y, por consiguiente, aumenta la estabilidad del sistema y por ende la calidad del suelo.

Mientras que el SC, registro la menor diversidad ( $H' = 1.54$ ) para el muestreo 1, mientras que para el muestreo 2 fue de ( $H' = 1.42$ ). Esto nos señala que los valores de diversidad para el

cultivo de caña fueron menores comparados con los SG y SB, esto también muestra que el SC presentó una menor estabilidad y equilibrio en este sistema en cuanto a macrofauna. Por otro lado, dichos valores no presentaron diferencias significativas entre sus medias ( $P > 0.05$ ).

**Figura 11.** Valores del índice de diversidad de Shannon en los diferentes sistemas para el muestreo 1 y 2



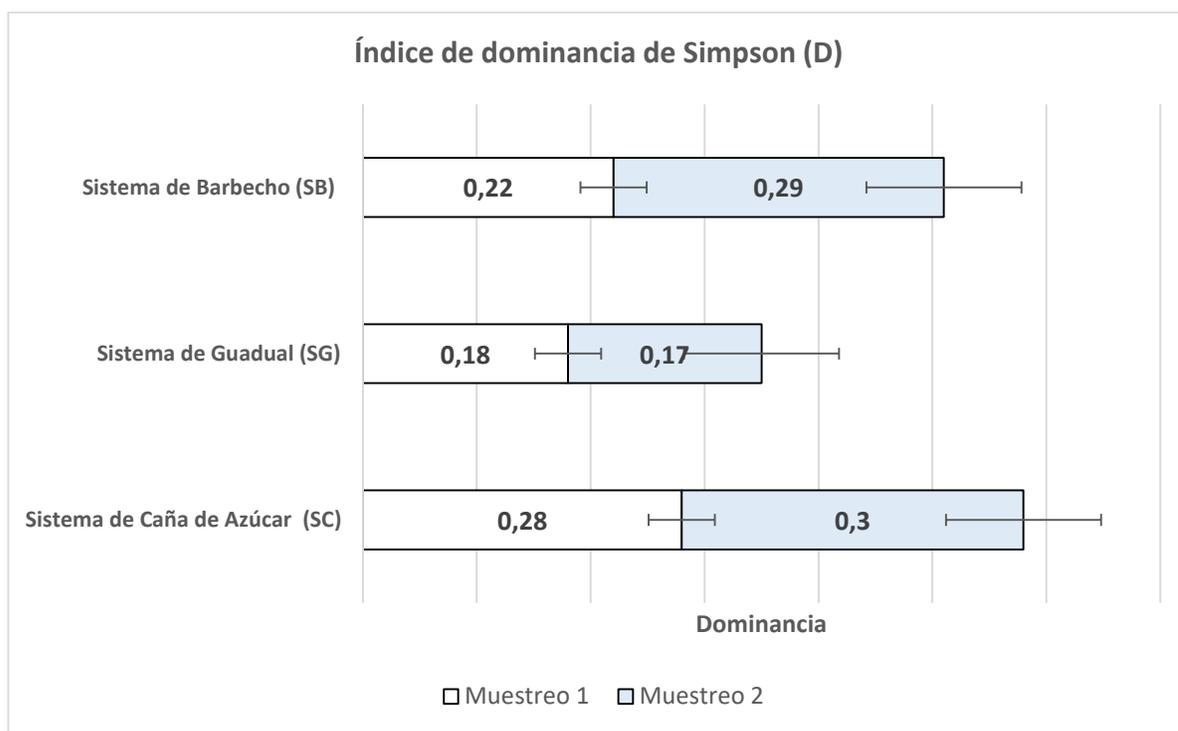
**Fuente:** Autores

### 7.1.3 Dominancia en cada sistema de manejo

El valor del índice de dominancia de Simpson, el mayor valor lo registro el SC para el muestreo 2 ( $D=0,30$ ), y para el muestreo 1 fue igual de alto ( $D=0,28$ ); esto nos indica, que estos tipos de sistemas de monocultivo, como el de caña de azúcar, en el cual se suministra un único sustrato de alimento, propicia el desarrollo de determinados grupos faunísticos en detrimento de otros (Assad, 1997). Por su parte, el SB registro una dominancia de ( $D=0,22$ ) para el primer

muestreo y de ( $D=0,29$ ) para el segundo. Mientras que el SG registro el menor valor ( $D=0,18$ ) y ( $D=0,17$ ) para el muestreo 1 y 2 respectivamente; esto significa mayor distribución de las especies y equilibrio de la macrofauna encontrada en este sistema de manejo (SG), en contraste con el SC (Figura 12). La media entre los muestreos 1 y 2 de cada sistema fue igual ( $P>0.05$ ).

**Figura 12.** Valores del índice del Índice de dominancia de Simpson para el Muestreo 1 y 2



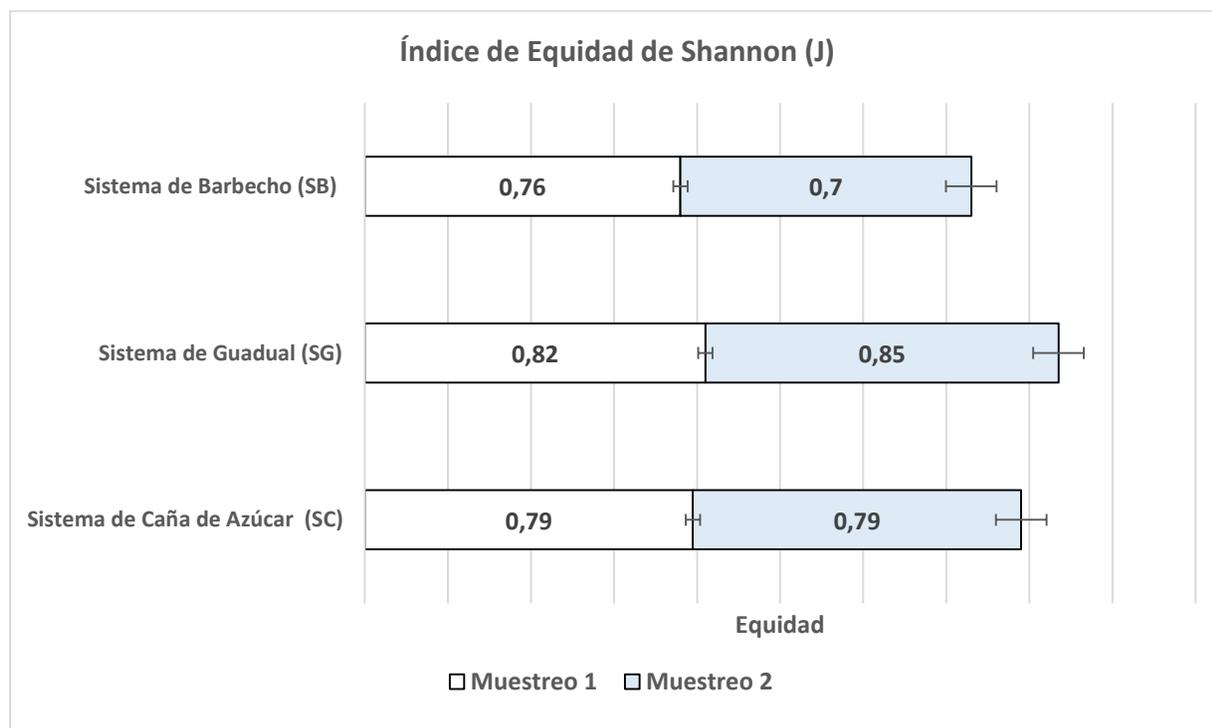
**Fuente:** Autores

#### 7.1.4 Equidad en cada sistema de manejo

El mayor valor de índice de equidad de Shannon, lo registro el Sistema de Guadua (SG) ( $J=0,82$ ) para el muestreo 1 y ( $J=0,70$ ) para el muestreo 2 (Figura 13); lo cual significa alta equidad, mostrando que este sistema, contiene una macrofauna más equilibrada y estable. Estos valores a su vez están correlacionados con los índices de diversidad, lo que indica a su vez una mejor estabilidad de este suelo en cuanto a macrofauna edáfica. Por su parte el SC registro

( $J=0,79$ ) y ( $J=0,79$ ) para cada muestreo, siendo el segundo sistema con el valor más alto de equidad; mientras que el menor valor de equidad lo registro el SB ( $J=0,76$ ) y ( $J=0,70$ ) para cada muestreo, esto se puede explicar para este sistema debido en que en los primeros estados de la sucesión, caracterizados por la presencia de especies pioneras que se establecen y se convierten en dominantes. Después, con el tiempo el mejoramiento de las condiciones del hábitat permitirá que lleguen otras especies y que haya más equitatividad (Majer, 2007). La media entre el muestreo 1 y 2 de cada sistema fue igual ( $P>0.05$ ).

**Figura 13.** Índice de Equidad de Shannon para el muestreo 1 y 2



**Fuente:** Autores

Esto valores también demuestran que la diversidad, dominancia y equidad están estrechamente relacionados, cuando la diversidad disminuya aumentará el índice de dominancia y cuando haya mayor diversidad, los valores de equidad, indicarán poblaciones más equilibradas (Castro Moreno, 2009).

En la tabla 7, se puede ver el resumen de los valores obtenidos del índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ), índice de dominancia de Simpson ( $D$ ) y el índice de equidad ( $J$ ), de la macrofauna edáfica para cada uno de los sistemas, en los muestreos 1 y 2.

**Tabla 7.** Índice de Shannon ( $H'$ ), índice de dominancia de Simpson ( $D$ ) y equidad ( $J$ ) de la macrofauna del suelo en los sistemas, para el muestreo 1 y 2

Sistemas de manejo	Muestreo 1			Muestreo 2		
	$H'$	$D$	$J$	$H'$	$D$	$J$
Sistema de caña de azúcar (SC)	1,54	0,28	0,79	1,42	0,30	0,79
Sistema de Guadua (SG)	1,97	0,18	0,82	1,96	0,17	0,85
Sistema de Barbecho (SB)	1,76	0,22	0,76	1,47	0,29	0,70

**Fuente:** Autores

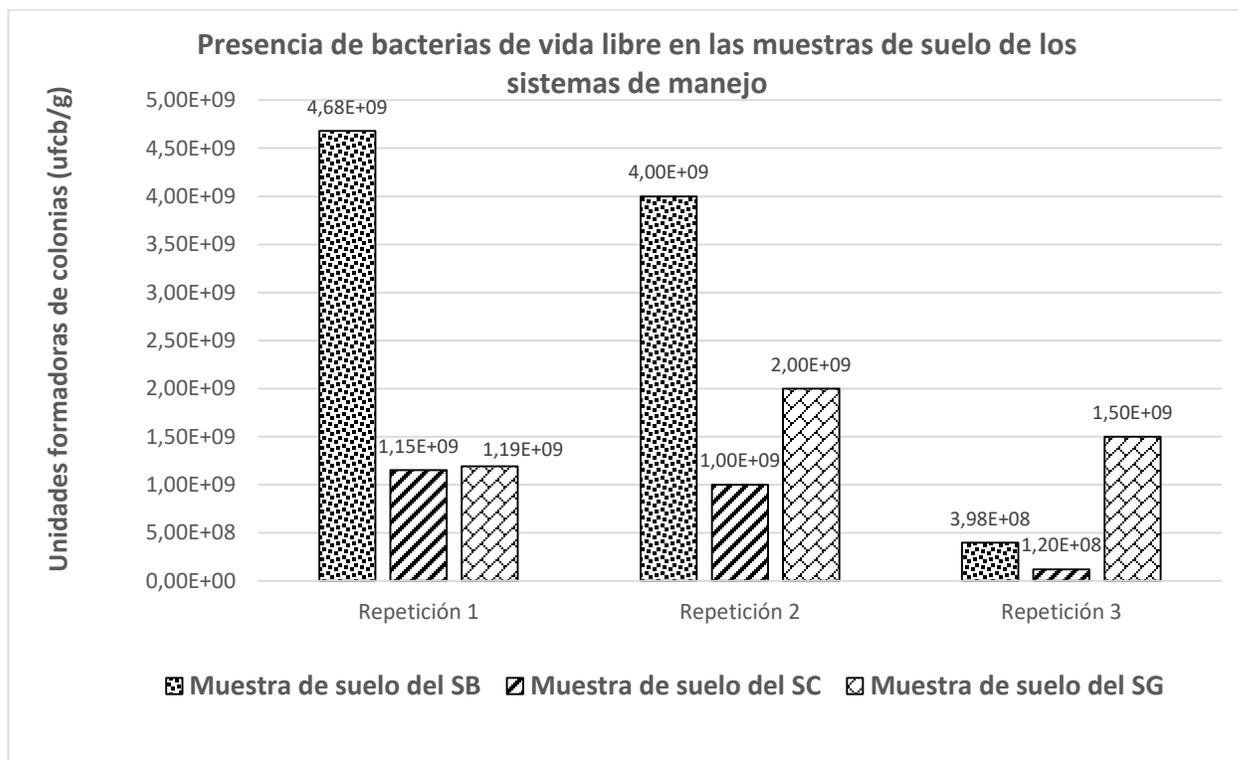
## 7.2 Análisis de la Composición de la microfauna edáfica colectada en el laboratorio para cada una de las muestras de suelo

### 7.2.1 Análisis de la presencia de bacterias de vida libre

En la figura 14 se puede ver el resultado obtenido en análisis de laboratorio en cuanto a la presencia de bacteria de vida libre en las muestras de suelo en cada sistema de manejo; se realizaron tres repeticiones por sistema de manejo.

Los resultados arrojaron que tanto el Sistema de Caña (SC), y los Sistemas de Barbecho (SB) y Guadua (SG), registraron un gran número de unidades formadoras de colonia, superando los 1000 millones de ufcg/gramo de suelo en cada uno de los sistemas.

**Figura 14.** Bacterias de vida libre en cada sistema de manejo



**Fuente:** Autores

La cantidad de microorganismos presentes en un gramo de suelo puede variar entre 10<sup>7</sup> y 10<sup>9</sup> células (Torsvik, 2002), lo que indica también, que hay una muy buena actividad microbiana en cada uno de los sistemas de manejo. No obstante, el SC reporto menor cantidad de bacteria de vida libre, mientras que el SB y SG reportaron mayor presencia de bacterias, esto se puede explicar, debido a que el SG tiende tener mayores poblaciones microbianas, siendo esto influenciado por la estabilidad del sistema en el tiempo, en cuanto a condiciones existentes de sombra y humedad, lo que permite una mejor adaptación y estabilidad de las poblaciones microbianas, a diferencia de los sistemas de cultivos que están expuestos a cambios inducidos que perturban la estabilidad como sistemas de cultivos múltiples y de actividades constantes (Aguila Alcantara, Marrero Pérez, Hernández Arbolález, & Ruiz González, 2016).

Estos resultados también se contrastan con lo reportado por Rubio (2011) donde las poblaciones microbianas responden a diferentes sistemas de manejo como consecuencia de las perturbaciones que conllevan las labores de cultivo y en consecuencia la estructura de la comunidad microbiana debe reajustarse de acuerdo con las limitaciones resultantes y las relaciones de competencia entre los microorganismos del suelo.

No obstante, en general se puede considerar optima la presencia de bacterias de vida libre en los tres sistemas (SC, SB, SG), ya que estos microorganismos forman parte del “pool” de la materia orgánica y cumple una función muy importante en el humus, ya que interviene en los procesos de mineralización de nutrientes (Duchafour, 1984). Por su parte, esta presencia de bacterias, hacen que sean clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico; por ello, algunos autores afirman que estos microorganismos y su actividad en el suelo puede ser empleada como índice de comparación entre sistemas naturales o como indicador de las

variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo (Doran J. , 1994).

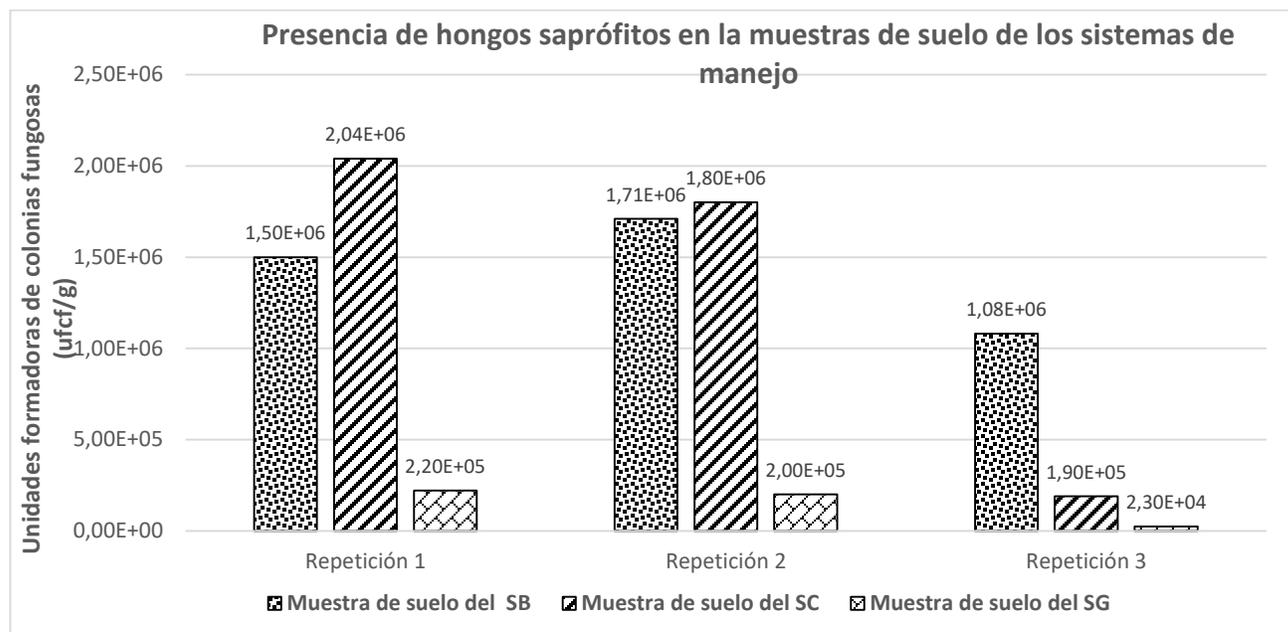
También se obtuvo en el análisis de laboratorio, que para el SB se estimó la presencia de 10 géneros de bacterias, mientras que para el SC se consideró 6 géneros, con dominancia de bacterias tipo *Bacillus*, mientras que el SG presentó la mayor diversidad de microorganismo, con 15 géneros, señalando que el SG, presenta un nivel de equilibrio más estable con respecto a las demás muestras de suelo evaluadas.

Esto resultado nos indican que la presencia de bacterias de vida libre en los diferentes sistemas son de gran importancia para la sustentabilidad del suelo, ya que estas participan en los procesos de descomposición de residuos, formación de agregados, interacciones con plantas y otros microorganismos (Uribe, 1999); la presencia también de bacterias como los actinomicetos son también un bioindicador de calidad del suelo, ya que este tipo de bacterias ayudan a degradar muchas sustancias complejas incluyendo celulosa, lignina y quitina, y son responsable del “olor a tierra” y colaboran a aumentar la estructura del suelo (Uribe, 1999).

Por su parte, el análisis de varianza no se presentaron diferencias significativas entre sistemas ( $P>0.05$ ).

### **7.2.2 Análisis de la presencia de hongos en las muestras de suelo**

En la figura 15, se puede ver los resultados obtenidos en cuanto a hongos en cada sistema, en unidades formadoras de colonia fungosas por gramo de suelo (ufcf/g), donde el SC y SB registraron mayor cantidad de unidades que el SG, no obstante, el SG registro valores altos de hongos. En el análisis de varianza no se presentaron diferencias significativas entre sistemas ( $P>0.05$ ).

**Figura 15.** Presencia de hongos saprófitos en las muestras de cada sistema de manejo

**Fuente:** Autores

Se puede notar que los valores de colonias de bacterias en los suelos (Figura 14) resultaron ser mayores que los de hongos, probablemente porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación necesaria para la biota del suelo. A su vez, esto debería estar relacionado con el grado de acidez y el material orgánico en el medio, sin embargo, los resultados de estos parámetros no guardan relaciones significativas, lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrientes añadidos por los fertilizantes, ya que la materia orgánica posiblemente presente un carácter recalcitrante que merma la labor microbiana en los procesos de mineralización (Acuña, y otros, 2006). Igualmente, en los tres sistemas se registró óptima presencia de hongos, lo cual indica buena calidad del suelo, que, para el caso del SC, estos resultados son importantes, ya que la alta presencia y actividad de estos microorganismo favorecen entre otras cosas, la estructura del suelo, al unir las partículas para formar agregados estables (Uribe, 1999). Así mismo, los beneficios de los hongos para los

cultivos como en el caso del cultivo de caña de azúcar, se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces, una protección al ataque de fitopatógenos y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña, y otros, 2006).

Se determinó también, en el análisis de laboratorio, que, para el SB, se registró unas poblaciones representadas en 9 géneros del suelo, todos considerados de hábito saprofítico. Entre los géneros más representativos se tiene: *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp, *Rhizopus* sp, *Fusarium* sp\*, *Curvularia* sp, Micelio sterilia, y otros tipos basidiomycetes. Mientras que en el SC se reportó la menor diversidad 6 géneros, *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp, Micelio sterilia, *Rhizopus* sp, un organismo similar a *Rhizoctonia* sp y el resto del grupo de los Basidiomycetes. Igualmente, estos organismos están reportados como saprófitos, es decir, se desarrollan sobre materia orgánica muerta y así se refleja en la mayoría de los estudios llevados a cabo sobre la presencia de hongos en el suelo; sin embargo esta baja diversidad se puede explicar debido a que las diferentes prácticas agrícolas, el tipo de plantas que se cultivan, la fertilización y los tratamientos con pesticidas y herbicidas tienen un marcado efecto en la diversidad de las comunidades microbianas de suelos (El Fantroussi, Verschuer, & Verstraete, 1999)

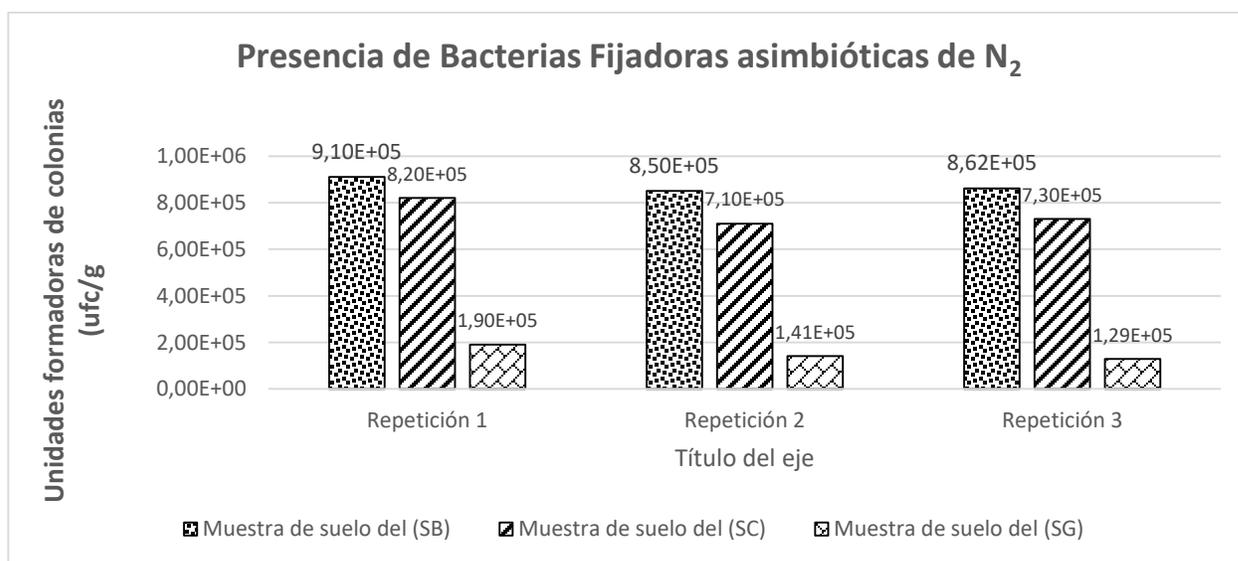
El SG, resulto siendo el sistema más diverso, ya que reporto la presencia de 13 géneros, que están presentes todos los ya reportados en los otros suelos evaluados, además los géneros *Geotrichum*, *Verticillium* y *Paecilomyces* igualmente son saprófitos, esto se relaciona con varios estudios donde se han demostrado que la diversidad fúngica del suelo se relaciona con la disminución de la incidencia de enfermedades (Manici & Caputo, 2010) favoreciendo la presencia y desarrollo de antagonistas y estimulando el sistema de defensa de las plantas, reafirmando los estudios que contemplaban su potencial como agentes de control biológico sobre otros hongos, nematodos y artrópodos (Alexopoulos, Mims, & Blackwell, 1996). Esto resultados

también nos indican que el SG registro mayor diversidad de microorganismo indicando a diferencia del SC y SB, mayor estabilidad y equilibrio en el sistema, con poblaciones más estables.

### 7.2.3 Análisis de la presencia de Bacterias Fijadoras asimbióticas de N<sub>2</sub>

En la figura 16, se puede ver los resultados obtenidos en cuanto a la presencia de bacterias fijadoras asimbióticas de N<sub>2</sub> o bacterias de vida libre fijadoras N<sub>2</sub>, en unidades formadoras de colonia en unidades formadoras de colonia (ufcu/g), en cada sistema, con tres repeticiones, donde el análisis estadístico, no mostro diferencias significativas, entre sistemas ( $P > 0.005$ ). Se determinó que la muestra del Sistema de Barbecho (SB) registro la mayor cantidad de este tipo de bacterias, seguido de Sistema de Caña de Azúcar (SC) y el Sistema de (SG). El sistema de Caña de Azúcar (SC) registro buena presencia de este este recurso biológico, a pesar de corresponder a un sistema con alto uso de insumo químicos.

**Figura 16.** Presencia de Bacterias Fijadoras asimbióticas de N<sub>2</sub> en las muestras de suelo de cada sistema



**Fuente:** Autores

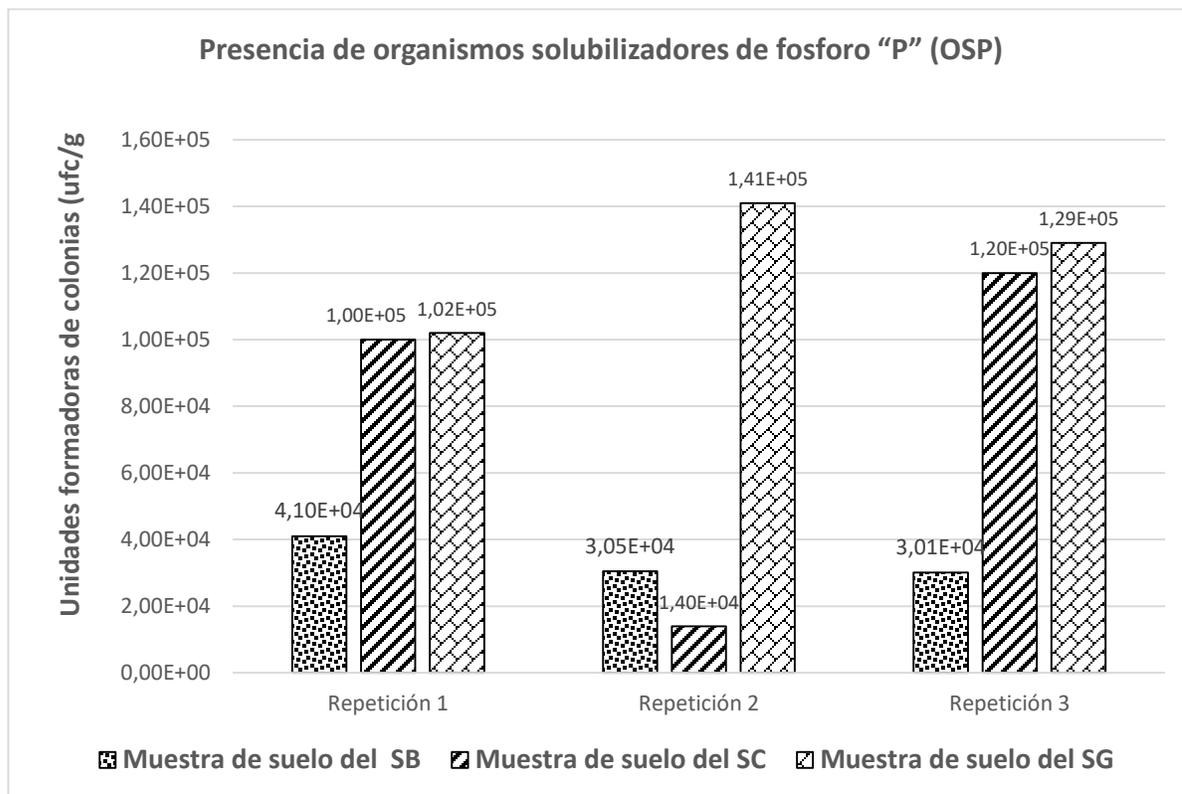
La óptima presencia de las BFN, en estos sistemas se debe a que tienen condiciones favorables para estos microorganismos, con suelos que tienden a la neutralidad, lo que ayuda a su desarrollo y presencia; estos resultados se correlacionan con investigaciones como la de (Cardona & Sánchez de Prager, 1998), donde se analizaron la presencia de BFN en suelos del Valle del Cauca, y se presenta uso intensivo de agroquímico, como en el de la caña de azúcar, donde igualmente hubo altas poblaciones de este tipo de bacterias.

Se ha establecido que las cantidades de nitrógeno fijadas por estos organismos son, en general, poco importantes y son insuficientes para permitir el desarrollo de una agricultura y las producciones son débiles, debido a que para realizar esta reacción precisan mucha energía y utilizan la energía proveniente de materia orgánica (Asociación Vida Sana, 2015). No obstante, la amplia distribución de las bacterias asimbióticas y su participación en la síntesis de sustancias biológicamente activas, son la base de su gran importancia (Fernández & Novo, 1988) además una mayor cantidad de microorganismos fijadores en el medio se corresponderá con una mayor fijación de nitrógeno, lo que a su vez dan señal de un suelo sustentable, lo cual indica que estos suelos presentan cantidades adecuadas de bacterias asimbióticas de nitrógeno. Por otro lado, se estableció que estas bacterias contribuyen gratuitamente entre 22 y 56 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Aproximadamente el 50% del nitrógeno necesaria para las plantas, reduce los requerimientos de fertilizantes industriales y por tanto disminuye los costos de producción agrícola (Cardona & Sánchez de Prager, 1998), en este caso para el Sistema de Caña de Azúcar (SC).

También, las aplicaciones de algunos productos orgánicos podrían potencializar la presencia de BFN debido a las características enzimáticas, como lo explican Montenegro & Ararat (2015), quienes sugieren establecer estudios complementarios a nivel molecular.

## 7.2.4 Análisis de la presencia de organismos solubilizadores de fosforo “P” en las muestras de suelo

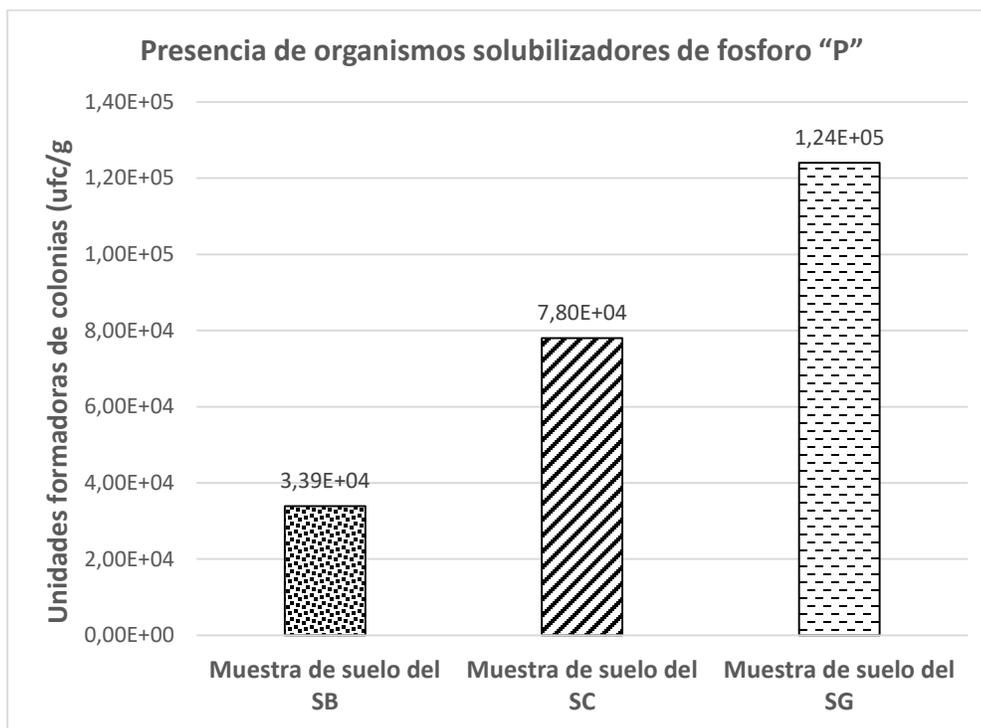
**Figura 17.** Presencia de organismo solubilizadores de P en las muestras de suelo de cada sistema



**Fuente:** Autores

En la figura 17, se puede evidenciar que el sistema de manejo, que obtuvo la mayor presencia de organismo solubilizadores de fosforo “P” fue el SG, registrando el mayor número en cada repetición, igualmente el promedio entre repeticiones (Figura 18), este sistema represento la mayor cantidad de este tipo de organismo, esto probablemente se deba a la presencia de gran cantidad microorganismo capaces de solubilizar el fosforo en este sistema, como el caso del género *Bacillus* sp, un género que se caracteriza por ser potencialmente solubilizadores de fosfato, así como a la alta presencia de materia orgánica y biomasa de microorganismo (Figura 22).

**Figura 18.** Presencia de organismo solubilizadores de fosforo “P” de cada sistema



**Fuente:** Autores

Mientras que el SC fue el segundo sistema en registrar mayor cantidad de microorganismos solubilizadores de P, seguido del SB, mientras que el análisis estadístico entre los sistemas, no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.005$ ).

Para el SC hay estudios donde se ha reportado, que, en monocultivos de caña de azúcar, el uso tecnológico de agroinsumos y labranza mecanizada, al parecer tiene efecto sobre la reducción en el número de especies de bacterias con alta capacidad de solubilización de fosforo (CSF) (Sanclemente Oscar, Yacumal, & Patiño, 2017).

No obstante, se puede afirmar, que en los tres sistemas, la presencia de organismos solubilizadores de fosforo “P” es relativamente óptima; esto concuerda con otras investigaciones, donde los organismos solubilizadores de fósforo se encuentran ampliamente distribuidos en gran diversidad de suelos y cultivos agrícolas, sólo que algunos muestran mayor actividad que otros

(Velázquez Gurrola & Ramoz Alegría, 2015). También estos resultados se asemejan a la investigación realizada por (Sanclemente Oscar, Yacumal , & Patiño, 2017), donde se evaluaron la solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres agroecosistemas (Sistema de caña de azúcar, sistema de pastos y un sistema de guadua) del Valle del Cauca (Colombia), donde se encontró que los tres sistemas albergaron especies bacterianas solubilizadores de fosfatos en el suelo.

Se según Patiño y Sanclemente (2014), resaltan la importancia de identificar microorganismos nativos con alta CSF en suelo, para el posterior desarrollo de alternativas de fertilización fosfórica basada en bioinsumos. Este tipo de alternativas, lograrían repoblar el suelo con microorganismos benéficos con capacidad de solubilización de fosforo

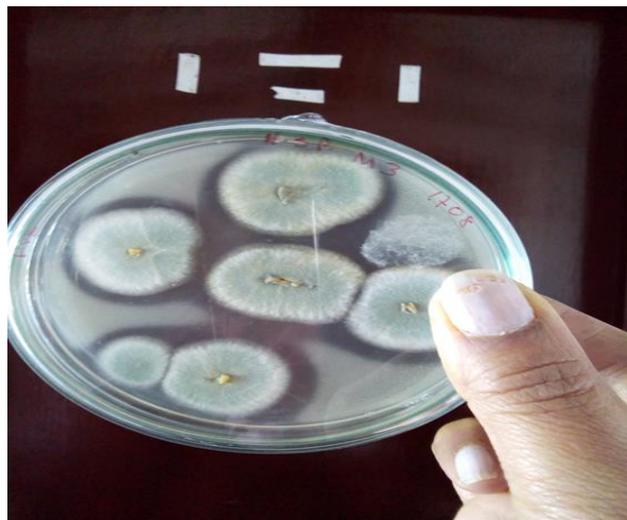
Por ello la importancia de los microorganismos solubilizadores de fosforo, ya que un inadecuado suplemento de P disponible para la nutrición de los cultivos, en distinto grado de severidad, conllevaría a graves repercusiones en los niveles de productividad y rendimiento (Awasthi, Tewari, & Naiyar, 2011)

**Foto 12.** Solubilizadores de fosforo en la muestra de suelo en el sistema de caña de azúcar



**Fuente:** (Gallo Valdes, 2018)

**Foto 13.** Solubilizadores de fosforo en la muestra de suelo en el sistema de Guadua



**Fuente:** (Gallo Valdes, 2018)

### **7.3 Identificación de diferentes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar**

Como resultado del trabajo de investigación y análisis del sistema de cultivo de caña de azúcar, se identificaron las siguientes problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar:

1. Uso de maquina pesada y labranza convencional
2. Aplicación de agroquímicos
3. Quema de caña en cosecha
4. Perdida de la materia orgánica del suelo
5. Compactación del suelo
6. Salinización del suelo
7. Perdida de la fertilidad del suelo
8. Baja estabilidad de la estructura del suelo

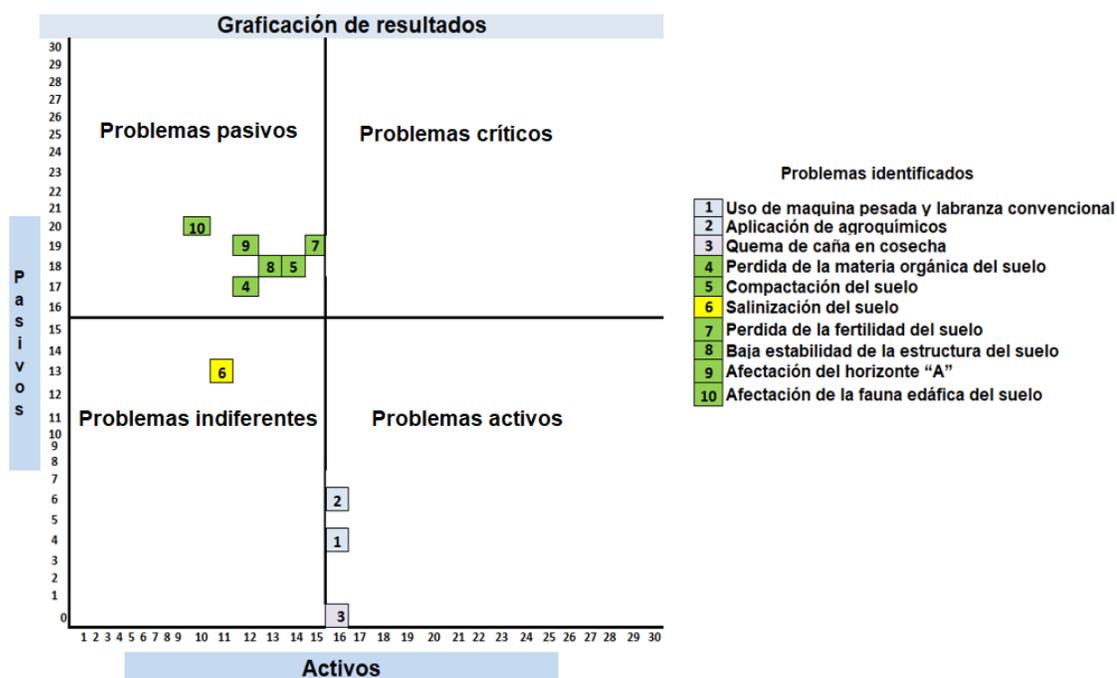
9. Afectación del horizonte "A"
10. Afectación de la fauna edáfica del suelo

Con la matriz de Vester se clasificaron los problemas de acuerdo al tipo de relaciones para determinar quién es causa y quién es efecto.

En la figura 19 se muestra su representación gráfica, con la caracterización de los problemas, donde se considera la mediana como el centro de gravedad para el total activo y pasivo, dividido en cuatro cuadrantes que representan cada tipo de problema.

Se puede notar que no se identificaron problemas críticos abordar, pero se pudo identificar una serie de problema activos, es decir aquellos con valores de la influencia/causa (a solucionar con inmediatez), entre estos resultaron: el uso de maquinaria pesada y labranza convencional, la aplicación de agroquímicos y la quema de caña en cosecha.

**Figura 19.** Representación gráfica de los resultados de la matriz de Vester



**Fuente:** Autores

El uso de la maquinaria pesada y labranza convencional está relacionado con mucho de las problemáticas del uso de suelo con caña de azúcar, entre estos estas los problemas pasivos o de efecto, y con graves consecuencia sobre la calidad del suelo, como la compactación. Según González, Iglesias, & Herrera (2009) plantean que la compactación es provocada por la maquinaria agrícola, por la presión que ejerce sobre el suelo, el peso sobre los sistemas de rodaje, el número de pases, la velocidad de desplazamiento, el patinaje y la realización de labores agrícolas en condiciones inapropiadas de humedad. Por su parte, el otro problema activo como el de la quema de caña de azúcar, se reportan estudios que resaltan los efectos que provoca la quema de la caña o el retiro de los residuos de la cosecha de las plantaciones, señalando que se afecta la fertilidad del suelo y el potencial productivo del sistema a largo plazo (Torres, 2006). Se ha indicado también que la quema de la caña de azúcar deteriora la estabilidad de agregados (Fogliata, Eiderman J, & Matiussi R.E, 1968) y disminuye las poblaciones microbianas y la diversidad biológica (Delgadillo, 1994)

Por su parte Chaves Solera (1999) menciona que la quema es una práctica ecológicamente indeseable pero necesaria en el esquema de manejo actual de plantaciones comerciales de caña de azúcar, que induce pérdidas importantes de nitrógeno por volatilización, producto de la incineración del material orgánico.

Por su parte el uso de agroquímicos se ha reportado sus efectos en el suelo, entre estos efectos esta la disminución de la fauna edáfica (Brévault, Bikay, Maldes, & Naudin, 2007) así como los también los efectos de los agroquímicos en la estructura y calidad de estos suelos.

Se identificaron 5 problemas pasivos o de dependencia/efecto, los cuales fueron la pérdida orgánica de suelo, compactación del suelo, la pérdida de la fertilidad del suelo, la baja estabilidad de la estructura del suelo, afectación del horizonte "A", y la afectación de la fauna edáfica del

suelo. Todas estas problemáticas están relacionadas con sus actores causales, es decir, los problemas activos identificados, como la labranza, la quema de caña en cosecha y uso de agroquímicos, que causan estos problemas en el suelo. Por un lado la compactación del suelo en los cultivos de caña de azúcar viene siendo uno de los problemas en este tipo de actividad agraria, especialmente por ser una de las consecuencias de diferentes actividades realizadas en el manejo de este tipo de suelo y que en consecuencia conlleva al deterioro del suelo; se ha afirmado que la compactación del suelo provoca el aumento de la densidad aparente, de la resistencia mecánica y disminuye la porosidad del mismo (Taboada & Micucii, 2009). De esta forma, favorece la formación de capas compactadas que dificultan la penetración y proliferación de las raíces (Nunes, Bonfim, & Da silva, 2016) con el consiguiente deterioro de los rendimientos agrícolas (Vieira, Albuquerque, & Da costa, 2012). Por otro lado, la baja estabilidad estructural del suelo y la afectación del horizonte “A” del suelo, se ha establecido que, para cultivos de caña de azúcar, estas características son muy sensibles (Zerega Mendez, 2017) especialmente con las prácticas de laboreo que compactan el suelo, que además de esto, consecuentemente afectan la fertilidad y la vida suelo.

Como problema indiferente, la salinización del suelo es también una situación de importancia a mención, ya que se estableció que el uso excesivo de fertilizantes que sobrepasan las necesidades de los cultivos, como ciertos casos del cultivo de caña de azúcar, provoca que se acumulen sales en el suelo y en mantos acuíferos, desequilibrando el contenido normal y produciendo toxicidad (Fazla Uribe, 2015), lo cual hace recaer al problema de la salinización como un problema de orden pasivo y de importancia a tener en cuenta.

De estas problemáticas asociadas al uso del suelo con caña de azúcar se ha afirmado también que el uso intensivo de estos suelos y las constantes prácticas de laboreo en condiciones

de altos contenidos de humedad ocasionan problemas de degradación física en la estabilidad estructural, la organización del espacio poroso y la densidad en la capa arable, características que pueden dificultar a las plantas la utilización de agua y nutrientes del suelo, y originar cambios en el régimen de humedad, la fertilidad y la eficiencia del riego (Greenland & Szabolcs, 1994).

## 8. Conclusiones

Se determinó que SG y el SB, obtuvieron la mayor abundancia de macro invertebrados, donde los géneros más representativos fueron el Haplotaxida, Himenóptera y Coleóptera. Mientras que el SC presento menor abundancia; indicando que los suelo intervenidos con agricultura intensiva, como en este tipo de monocultivos, reducen la macrofauna y por ende afectando la calidad del suelo.

El SG presentó mayor diversidad y equidad, según el índice de Shannon (H'), mostrando mejor estabilidad y equilibrio en este sistema, mientras que el SC, fue el menos diverso, con poblaciones menos estables.

Se encontró que los tres sistemas (SC, SB y SG), registró una óptima actividad microorganismos, superando los mil millones de unidades formadoras de colonia (ufc) para el caso de las bacterias de vida libre.

El SG fue el más diverso en cuando a microorganismo, donde para el caso de hongos, se registró 13 géneros, y 15 géneros para las bacterias de vida libre, mientras que el SC, obtuvo menor diversidad de microorganismo, con solo 6 géneros identificado para el caso de hongos y 6 para bacterias; indicando que las diferentes prácticas agrícolas pueden afectar la diversidad de poblaciones microbianas.

Se determino que existen diferentes actividades con el uso del suelo con caña de azúcar, donde actividades como la maquinaria pesada, la labranza y el uso de agroquímicos tienen distintos grados de afectación en la calidad el suelo y la fauna edáfica.

## **9. Recomendaciones**

Se recomienda realizar evaluaciones de la fauna edáfica en distintas fases fenológicas del sistema de cultivo.

Realizar trabajos de investigación que se relacionen con otros indicadores de calidad del suelo (Actividad enzimática, biomasa microbiana, humedad del suelo, índice de estabilidad de agregados, disponibilidad de nutrientes etc.).

## 10. Referencias bibliográficas

- Asociación Vida Sana. (2015). *Microorganismos del suelo y biofertilización*. Obtenido de [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=CROPS-FOR-BETTER-SOIL\\_formation-5.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=CROPS-FOR-BETTER-SOIL_formation-5.pdf)
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., . . . Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y la salud de los suelos. *XVII Reunión internacional de la Asociación para la Cooperación en investigaciones sobre Banano*, (págs. 222-233). Santa Catarina.
- Aguila Alcantara, E., Marrero Pérez, Hernández Arboléaz, H. P., & Ruiz González, Y. (2016). Efecto del uso del suelo sobre su calidad en áreas de la Finca “Baños de Marrero”. *Centro Agrícola*, 42(2), 14-22.
- Aguirre, E. S., & Piraneque, N. V. (2007). *Modulo de microbiología de suelos de la Unad*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/139814195/Modulo-Microbiologia-Suelos>
- Alcaldía Municipal de Guacarí en Valle Del Cauca . (2018). *Nuestro Municipio*. Obtenido de <http://www.guacari-valle.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Alexopoulos, Mims, & Blackwell. (1996). *Introductory Mycology*. 978-0-471-52229-4 880.
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods* (Second Edition ed.). Reino Unido: CAB International.
- Ararat, M., Aristizaba, A., & Mósquera, P. (2002). Efecto de cinco manejos agroecológicos de un Andisol (Typic Dystrandept) sobre la macrofauna en el municipio de Piendamó, departamento del Cauca, Colombia.. *Acta Agronómica*, 51(3-4), 121-129.
- Asocaña. (2012). *Reseña histórica del Ingenio Pichichí*. Obtenido de <http://www.asocana.org/publico/ingenios/historias.aspx?SCid=131>

- Asocaña. (2018). *El Sector Azucarero colombiano en la actualidad*. Obtenido de <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Assad. (1997). Fauna do solo. *EMBRAPA-CPAC*, 363-443.
- Ávila Díaz, Á., & Carvajal Escobar, Y. (2014). *Agrocombustibles y soberanía alimentaria en Colombia*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n1/v24n1a4.pdf>
- Awasthi, Tewari, & Naiyar. (2011). between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. *International Research Journal of Microbiology*, 2, 484-503.
- Brévault, T., Bikay, S., Maldes, J., & Naudin, K. (2007). Impact of a no-till with mulch soil management. *Soil*, 140-149.
- Cabrera, G. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. Obtenido de <https://www.rufford.org/files/Manual%20Práctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf>
- Cardona , S., & Sánchez de Prager, M. (1998). Bacterias de vida libre Fijadoras de N<sub>2</sub> en dos suelos del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 48(3), 43-54. Obtenido de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/viewFile/48011/49219](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/viewFile/48011/49219)
- Castro Moreno, S. M. (2009). *Evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica en el área experimental de la cantera*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11916/CastroMorenoSantiagoMiguel2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chavez Solera, M. (1999). *El nitrógeno, fósforo y potasio en la caña de azúcar. Liga agrícola industrial de la caña de azúcar dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar*. San José: DIECA.
- Chiimbila, J. C. (2009). *Aplicación de la matriz de Vester*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos72/aplicacion-matriz-vester/aplicacion-matriz-vester2.shtml>
- Coral. (1998). Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del lago Guamués, Pasto, Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Cuero, R. (2012). Hacia un sistema complementario de producción más limpia en suelos degradados por salinidad. *Revista Ambiente y Sostenibilidad*, 2, 59-68.
- Dávalos E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? *Revista Desarrollo y Sociedad*, 117-164.
- Decaens, Lavelle, Jiménez, & Scheneidmald. (1998). La macrofauna del suelo en sistemas de producción Agrícola: respuestas a las perturbaciones y perspectivas de manejo. Un caso de estudio en los Llanos Orientales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 28, 262-268.
- Delgadillo, O. (1994). *Informe de pasantía*. Universidad de Tolima, Ibagué.
- Doran, J., & Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality. *Soil Science Society of America*, 3-21.
- Doran, J. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, USA: Soil Science Society of America.
- Duchafour, P. (1984). *Edafogénesis y clasificación*. Barcelona: Carballas.

- El Fantroussi,, Verschuere, & Verstraete. (1999). Effect of phenylurea herbicides on soil microbial communities estimated by análisis of 16s rRNA gene fingerprints and community-level physiological profiles. *Appl. Environ. Microbiol*, 65, 982-988.
- Fazla Uribe. (2015). *Manejo de suelos salinos*. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/manejo-de-suelos-salinos/>
- Fernández, C., & Novo, R. (1988). *Vida microbiana en el suelo* (Vol. II). Cuba: Pueblo y Educación.
- Fogliata, F., Eiderman J, & Matiussi R.E. (1968). Effects of lrash bumrng on the temperatura and m1crot11al populat1on ol the soil. *Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists*, (págs. 721-732). Taiwan.
- Fragoso, C., Brown, G., Patrón, J., Blanchart, E., Lavelle, P., Pashanasi, B., . . . Kumar, T. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Soil Ecol*, 6, 17-35.
- Francisco , P. (2 de Agosto de 2018). Historia de la Finca "El Cairo" del corregimiento de Guabitas municipio de Guacarí. (M. A. Fernandez Millan, Entrevistador)
- Franco, R., Torres, J., & Patoja, J. (2009). Impacto de la siembra a 1.75 m en la productividad de la caña de azúcar en el ingenio Mayaguez. *Memoria VIII congreso de la asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúca*, 298-302.
- Gallo Valdes, P. I. (2018). *Solubilizadores de fosforo*. Palmira: Fungicol SAS .
- Garcia Suarez, D., & Serrano, H. (2011). *La revolución verde y sus consecuencias*. Obtenido de <https://tecnoagro.com.mx/revista/2011/no-72/la-revolucion-verde-y-sus-consecuencias/>
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

- González, Iglesias, & Herrera. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57-63.
- GoogleEarth. (2018). Finca "El Cairo".
- Greenland, & Szabolcs. (1994). *Soil resilience ce and sustainable land use*. Wallingford, Oxon, UK: CAB International.
- Lang Ovalle, F. P., Pérez Vásquez, A., Martínez Dávila, J. P., Platas Rosado, D. E., Ojeda Enciso, L. A., & González Acuña, I. J. (2010). Macrofauna Edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 29, 169-177.
- Lavelle, P., Spain, A., Blanchart, E., Martin, A., & Martin, S. (1992). The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics: Myths and Science of Soils of the Tropics. *SSSA Special Publication*, 157-185.
- Lobry de Bruyn. (1999). Ants as bioindicators of soil function. *Agric. Ecosyst. Environ*, 74, 425-441.
- Lopez, A. J. (2005). *Manual de Edafología*. Obtenido de <http://www.scribd.com/doc/51630897/46/Calculo-de-la-porosidad>
- Magurran, E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición* (Primera Edición ed.). Barcelona, España: Ediciones Vedra.
- Majer. (2007). Invertebrates and the Restoration of a Forest Ecosystem: 30 Years of Research following Bauxite Mining in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15(4), 104-115.
- Manici, & Caputo. (2010). Soil Fungal communities as indicators for replaining new peach orchads in intensively cultivated areas. *European Journal of Agronomy*, 33, 188-196.
- Marín, E. P., & Feijoo, A. (2005). Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 297-310.

- Melo, M. (2010). *Evaluación de la macrofauna edáfica en parcelas experimentales enmendadas por biosólidos en diferente proporción en el aula ambiental de Soratama Loc. Usaquen Bogotá D.C.* Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8498/tesis458.pdf?sequence=1>
- Montenegro Gómez, S. P., Ararat, M., & Betancur, J. F. (2015). Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 83-89.
- Moratto, C., Martínez, L., Valencia, H., & Sánchez, J. (2005). Efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias diazotróficas en el páramo de Guerrero (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 299-309.
- Navarrete, & Newton. (1996). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México:.
- Nunes, Bonfim, & Da silva. (2016). Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(4), 357-363.
- Odum. (1989). *Ecología* (Tercera ed.). La habana, Cuba.
- Oliver, & Beattie. (1996). Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation Biology*, 10, 99-109.
- Paoletti, M., Favretto, Stinner, Purrington, & Bater. (1991). Invertebrates as bioindicators of soil use. *Environ*, 32, 341-362.
- Patillo, C., & Sanclemente, O. (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *En revista Entramado*, 10(2), 288-297.

- Paul, F., Pérez, A., Martínez, J., Platas, D., Ojeda, L., & González, I. (2010). Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 167-177.
- Perez, M. (2010). *Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de Cultivos*. Bogota: Corporación Ambiental Empresarial.
- Procaña. (2014). *Conformación del sector de la caña de azúcar*. Obtenido de [http://www.procana.org/new/images/content/botones-articulos/Presentacion\\_del\\_Sector\\_de\\_la\\_Cana.pdf](http://www.procana.org/new/images/content/botones-articulos/Presentacion_del_Sector_de_la_Cana.pdf)
- Ramirez, A. (1999). *Ecología Aplicada: Diseño Análisis Estadístico*. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Rubio, L. (2011). *Influencia de los sistemas agrícolas convencional y tradicional sobre indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo Pardo Mullido Carbonatado. Tesis para aspirar al Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central "Marta Abreu"*. Santa Clara, Cuba.
- Sancllemente Oscar, Yacumal , V., & Patiño, C. (2017). Solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres agroecosistemas del Valle del Cauca (Colombia). *Revista Temas Agrarios*, 22(2), 61-69.
- Shukla, Lal, & Ebinger. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Res*, 194-204.
- Suárez Salazar, J. C., Duran Bautista, E. H., & Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3), 214-220. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033>
- Taboada, & Micucii. (2009). Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del Suelo*, 27(2), 147-157.

- Torres, A. (2006). Manejo del cultivo en condiciones de caña verde. Cali, Colombia.
- Torsvik, V. (2002). Magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science*, 296, 6- 1064.
- Uribe, L. (1999). *Uso de indicadores microbiológico del suelo: Ventajas y limitaciones* .  
Obtenido de [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_039.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_039.pdf)
- Vandermeer, J. (2011). *The Ecology of Agroecosystems*. Massachusetts, USA: Jones and Barlett Publishers.
- Velázquez Gurrola, A., & Ramoz Alegría, M. (2015). *Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación*. Obtenido de [http://www.avocadosource.com/WAC8/Section\\_07/VelazquezGurrolaA2015.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_07/VelazquezGurrolaA2015.pdf)
- Vieira, Albuquerque, & Da costa. (2012). Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1733-1744.
- Wardle, D. (1995). Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage. *Adv.Ecol*, 105-159.
- Wikipedia. (2011). *Mapa del Municipio de Guacarí, Valle del Cauca (Colombia)*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Guacarí#/media/File:Colombia\\_-\\_Valle\\_del\\_Cauca\\_-\\_Guacarí.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Guacarí#/media/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_Guacarí.svg)
- Zerbino, S., & Altier, N. (2006). *La biodiversidad del suelo*. Obtenido de <http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20Contigo/Suplementos%20Expo%20P rado/Inia%202006%20suplemento%20tecnologico.pdf>
- Zerega Mendez, L. O. (2017). *Limitantes de suelo más comunes que se pueden visualizar en campo*. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/manual-campo-identificar-controlar-t40944.htm>

Zúñiga, O., Osorio, J., Cuero, R., & Peña, J. (2011). Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de lo Suelo Degradados por Salinidad. *Rev.Fav.Nal.Agri*, 64(1), 5769-5779.

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de caña de azúcar

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	4	0,102564103	2,277267285	0,233565875	0,233565875
Haplotaxida	17	0,435897436	0,830348302	0,361946696	0,361946696
Dermáptera	3	0,076923077	2,564949357	0,197303797	0,197303797
Himenóptera	10	0,256410256	1,360976553	0,348968347	0,348968347
Ortóptera	2	0,051282051	2,970414466	0,152328947	0,152328947
Isópoda	2	0,051282051	2,970414466	0,152328947	0,152328947
Miriápodos	1	0,025641026	3,663561646	0,093937478	0,093937478
Suma	39				1,540380087

**Anexo 2.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	3	0,107142857	-2,233592222	0,239313452	0,239313452
Haplotaxida	13	0,464285714	-0,767255153	0,356225607	0,356225607
Dermáptera	1	0,035714286	-3,33220451	0,119007304	0,119007304
Himenóptera	7	0,25	-1,386294361	-0,34657359	0,34657359

Ortóptera	1	0,03571428 6	-3,33220451	- 0,11900730 4	0,119007304
Miriápodos	3	0,10714285 7	-2,233592222	- 0,23931345 2	0,239313452
Suma	28				1,419440709

**Anexo 3.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de Guadua

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	20	0,15625	-1,85629799	- 0,290046561	0,290046561
Haplotaxida	30	0,234375	-1,450832882	- 0,340038957	0,340038957
Dermáptera	8	0,0625	-2,772588722	- 0,173286795	0,173286795
Hemíptera	3	0,0234375	-3,753417975	- 0,087970734	0,087970734
Himenóptera	30	0,234375	-1,450832882	- 0,340038957	0,340038957
Ortóptera	1	0,0078125	-4,852030264	- 0,037906486	0,037906486
Lepidóptera	5	0,0390625	-3,242592351	- 0,126663764	0,126663764
Isóptera	20	0,15625	-1,85629799	- 0,290046561	0,290046561
Isópoda	5	0,0390625	-3,242592351	- 0,126663764	0,126663764
Miriápodos	6	0,046875	-3,060270795	- 0,143450194	0,143450194
Suma	128				1,956112772

**Anexo 4.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de Guadua

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	18	0,144	-1,937941979	0,279063645	0,279063645
Haplotaxida	36	0,288	-1,244794799	0,358500902	0,358500902
Dermáptera	6	0,048	-3,036554268	0,145754605	0,145754605
Hemíptera	5	0,04	-3,218875825	0,128755033	0,128755033
Himenóptera	27	0,216	-1,532476871	0,331015004	0,331015004
Ortóptera	2	0,016	-4,135166557	0,066162665	0,066162665
Lepidóptera	3	0,024	-3,729701449	0,089512835	0,089512835
Gastropoda	1	0,008	-4,828313737	-0,03862651	0,03862651
Isóptera	17	0,136	-1,995100393	0,271333653	0,271333653
Isópoda	6	0,048	-3,036554268	0,145754605	0,145754605
Miriápodos	4	0,032	-3,442019376	-0,11014462	0,11014462
Suma	125				1,964624077

**Anexo 5.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 del sistema de Barbecho

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	13	0,154761905	1,865867441	0,288765199	0,288765199
Haplotaxida	23	0,273809524	1,295322583	-0,35467166	0,35467166
Dermáptera	1	0,011904762	4,430816799	0,052747819	0,052747819

Hemíptera	3	0,035714286	-3,33220451	0,119007304	0,119007304
Himenóptera	28	0,333333333	1,098612289	0,366204096	0,366204096
Ortóptera	1	0,011904762	4,430816799	0,052747819	0,052747819
Lepidóptera	2	0,023809524	3,737669618	0,088992134	0,088992134
Isóptera	3	0,035714286	-3,33220451	0,119007304	0,119007304
Isópoda	2	0,023809524	3,737669618	0,088992134	0,088992134
Miriápodos	8	0,095238095	2,351375257	0,223940501	0,223940501
Suma	84				1,755075969

**Anexo 6.** Determinación del índice de diversidad de Shannon para el muestreo 2 del sistema de Barbecho

Géneros	Abundancia	pi	In(pi)	pi*in(pi)	Negativo
Coleóptera	11	0,122222222	-2,101914398	0,256900649	0,256900649
Haplotaxida	30	0,333333333	-1,098612289	0,366204096	0,366204096
Hemíptera	2	0,022222222	-3,80666249	-0,0845925	0,0845925
Himenóptera	36	0,4	-0,916290732	0,366516293	0,366516293
Lepidóptera	4	0,044444444	-3,113515309	0,138378458	0,138378458
Isóptera	1	0,011111111	-4,49980967	0,049997885	0,049997885
Isópoda	1	0,011111111	-4,49980967	0,049997885	0,049997885
Miriápodos	5	0,055555556	-2,890371758	0,160576209	0,160576209
Suma	90				1,473163975

**Anexo 7.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 1 del sistema de caña de azúcar

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	4	0,102564103	0,010519395
Haplotaxida	17	0,435897436	0,190006575
Dermáptera	3	0,076923077	0,00591716
Himenóptera	10	0,256410256	0,06574622
Ortóptera	2	0,051282051	0,002629849
Isópoda	2	0,051282051	0,002629849
Miriápodos	1	0,025641026	0,000657462
Suma	39	D	0,278106509
		1-D	0,721893491

**Anexo 8.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	3	0,107142857	0,011479592
Haplotaxida	13	0,464285714	0,215561224
Dermáptera	1	0,035714286	0,00127551
Himenóptera	7	0,25	0,0625
Ortóptera	1	0,035714286	0,00127551
Miriápodos	3	0,107142857	0,011479592
Suma	28	D	0,303571429

		1-D	0,696428571
--	--	-----	-------------

**Anexo 9.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de caña de azúcar

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	20	0,15625	0,024414063
Haplotaxida	30	0,234375	0,054931641
Dermáptera	8	0,0625	0,00390625
Hemíptera	3	0,0234375	0,000549316
Himenóptera	30	0,234375	0,054931641
Ortóptera	1	0,0078125	6,10352E-05
Lepidóptera	5	0,0390625	0,001525879
Isóptera	20	0,15625	0,024414063
Isópoda	5	0,0390625	0,001525879
Miriápodos	6	0,046875	0,002197266
Suma	128	D	0,168457031
		1-D	0,831542969

**Anexo 10.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de Guadua

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	18	0,144	0,020736
Haplotaxida	36	0,288	0,082944
Dermáptera	6	0,048	0,002304
Hemíptera	5	0,04	0,0016
Himenóptera	27	0,216	0,046656
Ortóptera	2	0,016	0,000256

Lepidóptera	3	0,024	0,000576
Gastropoda	1	0,008	0,000064
Isóptera	17	0,136	0,018496
Isópoda	6	0,048	0,002304
Miriápodos	4	0,032	0,001024
Suma	125	D	0,17696
		1-D	0,82304

**Anexo 11.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 1 del sistema de Barbecho

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	13	0,154761905	0,023951247
Haplotaxida	23	0,273809524	0,074971655
Dermáptera	1	0,011904762	0,000141723
Hemíptera	3	0,035714286	0,00127551
Himenóptera	28	0,333333333	0,111111111
Ortóptera	1	0,011904762	0,000141723
Lepidóptera	2	0,023809524	0,000566893
Isóptera	3	0,035714286	0,00127551
Isópoda	2	0,023809524	0,000566893
Miriápodos	8	0,095238095	0,009070295
Suma	84	D	0,223072562
		1-D	0,776927438

**Anexo 12.** Determinación del índice de diversidad y dominancia de Simpson para el muestreo 2 del sistema de Barbecho

Géneros	Abundancia	Pi	Pi <sup>2</sup>
Coleóptera	11	0,122222222	0,014938272
Haplotaxida	30	0,333333333	0,111111111
Hemíptera	2	0,022222222	0,000493827
Himenóptera	36	0,4	0,16
Lepidóptera	4	0,044444444	0,001975309
Isóptera	1	0,011111111	0,000123457
Isópoda	1	0,011111111	0,000123457
Miriápodos	5	0,055555556	0,00308642
Suma	90	D	0,291851852
		1-D	0,708148148

**Anexo 13.** Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Caña de Azúcar (SC)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5,5	1	5,5	0,24365687	0,62695433	4,3512435
Dentro de los grupos	451,454545	20	22,5727273			
Total	456,954545	21				

**Anexo 14.** Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Guadua

(SG)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5,5	1	5,5	0,24365687	0,62695433	4,3512435
Dentro de los grupos	451,454545	20	22,5727273			
Total	456,954545	21				

**Anexo 15.** Análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de macrofauna del Sistema de Barbecho

(SB)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5,5	1	5,5	0,24365687	0,62695433	4,3512435
Dentro de los grupos	451,454545	20	22,5727273			
Total	456,954545	21				

**Anexo 16.** Análisis de varianza para el índice de diversidad de Shannon para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0294	1	0,0294	0,434696		7,7086474
Dentro de los grupos	0,2705333	4	0,06763333	9	0,54571808	2

Total	0,2999333	3	5
-------	-----------	---	---

---

**Anexo 17.** Análisis de varianza para el índice de dominancia de Simpson para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
				0,434696		7,7086474
Entre grupos	0,0294	1	0,0294	9	0,54571808	2
Dentro de los grupos	0,2705333	3	0,06763333			
Total	0,2999333	3				

---

**Anexo 18.** Análisis de varianza para la equidad de Shannon para el muestreo 1 y 2 de macrofauna de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
				0,0454545		7,7086474
Entre grupos	0,00015	1	0,00015	5	0,84159582	2
Dentro de los grupos	0,0132	4	0,0033			
Total	0,01335					

---

**Anexo 19.** Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias de vida libre en las muestras de suelo de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	5,5379E+1			1,1912593		5,1432528
Entre grupos	8	2	2,7689E+18	4	0,36671625	5
Dentro de los grupos	1,3946E+1	9	2,3244E+18			
Total	1,9484E+1	9				

**Anexo 20.** Análisis de varianza para el análisis de la presencia de hongos en las muestras de suelo de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	5,5379E+1		2,7689E+1	1,1912593		5,1432528
Entre grupos	8	2	8	4	0,36671625	5
Dentro de los grupos	1,3946E+1	9	2,3244E+1			
Total	1,9484E+1	9				

**Anexo 21.** Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias fijadoras asimbióticas de N<sub>2</sub> en las muestras de suelo de los sistemas de manejo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	977355555		488677777	0,0327561		5,1432528
Entre grupos	6	2	8	8	0,96794633	5
Dentro de los grupos	8,9512E+1	1	1,4919E+1			
Total		6	1			

Total	9,0489E+1	1	8
-------	-----------	---	---

**Anexo 22.** Análisis de varianza para el análisis de la presencia de bacterias fijadoras asimbióticas de N<sub>2</sub>

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	977355555		488677777	0,0327561		5,1432528
Entre grupos	6	2	8	8	0,96794633	5
Dentro de los grupos	8,9512E+1	6	1,4919E+1			
	1		1			
Total	9,0489E+1	1	8			

**Anexo 23.** Matriz de Vester para la identificación de problemas asociados al uso del suelo con caña de azúcar

Problemas asociados al uso del suelo con caña de azúcar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total activos
Uso de maquina pesada y labranza convencional	1	0	0	2	3	1	2	3	3	2	16
Aplicación de agroquímicos	2	0	0	2	1	2	3	2	3	3	16
Quema de caña en cosecha	3	0	0	3	2	2	2	2	2	3	16
Perdida de la materia orgánica del suelo	4	0	1	0	1	2	3	1	2	2	12
Compactación del suelo	5	2	1	0	2	0	1	2	2	2	14
Salinización del suelo	6	0	0	0	1	2	0	2	2	2	11
Perdida de la fertilidad del suelo	7	0	2	0	3	2	1	0	2	2	15
Baja estabilidad de la estructura del suelo	8	2	2	0	2	2	1	2	0	1	13
Afectación del horizonte "A"	9	0	1	0	2	2	1	2	2	0	12
Afectación de la fauna edáfica del suelo	10	0	0	0	0	3	2	1	2	2	10
<b>Total pasivos</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	

**Anexo 24.** Finca el Cairo donde se realizaron los muestreos



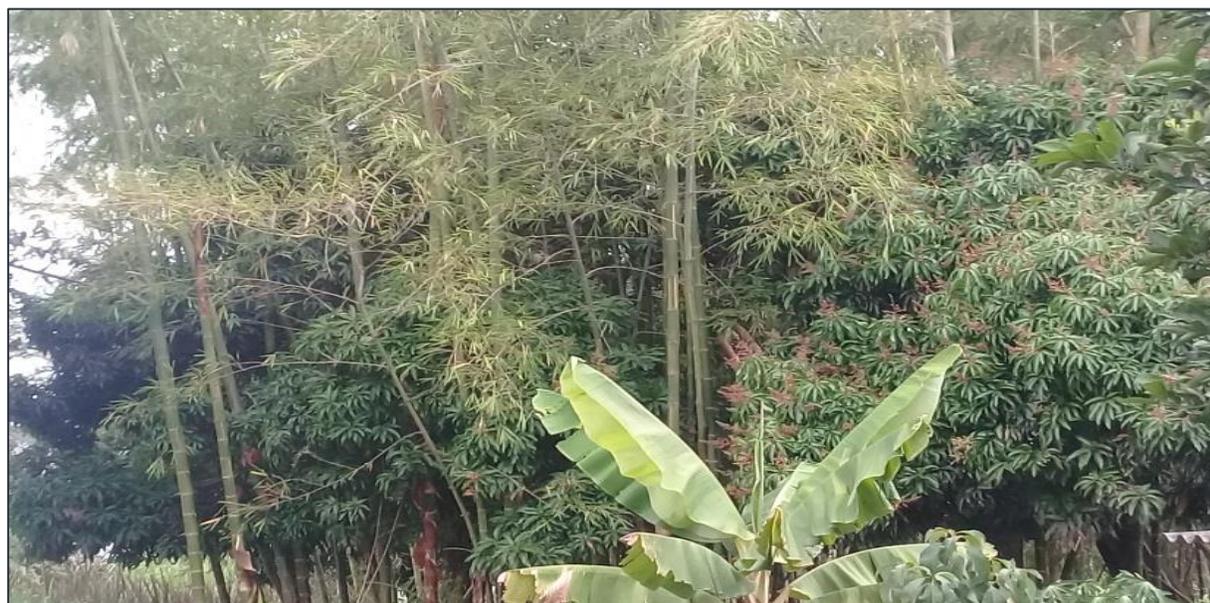
**Anexo 25.** Sistema de barbecho (SB)



**Anexo 26.** Sistema de Caña de azúcar antes de la cosecha



**Anexo 27.** Sistema de Guadua (SG)



**Anexo 28.** Cuadrante donde extrajo la macrofauna del Sistema de Guadua (SG)



**Anexo 29.** Recolección de larva de coleóptero en el Sistema de Guadua (SG)



**Anexo 30. Sistema de Guadua (SG)****Anexo 31. Recolección de lombriz de tierra del Sistema de Guadua (SG)**

**Anexo 32. Identificación de macrofauna**