

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y BIOLÓGICA DE SUELOS DE LA GRANJA  
AGROECOLÓGICA UNIMINUTO VILLAVICENCIO

JUAN FELIPE MARTÍNEZ IZQUIERDO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
INGENIERÍA AGROECOLÓGICA  
BOGOTÁ D.C.

2016

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y BIOLÓGICA DE SUELOS DE LA GRANJA  
AGROECOLÓGICA UNIMINUTO VILLAVICENCIO

JUAN FELIPE MARTÍNEZ IZQUIERDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero en agroecología

Directora

Nubia Carolina Higuera Mora

*M. Sc. Agricultura ecológica*

Codirectora

Jessica Morales Perdomo

*M. Sc. Bióloga*

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

INGENIERÍA AGROECOLÓGICA

BOGOTÁ D.C.

2016

## **DEDICATORIA**

Esta investigación está dedicada principalmente a mi hermana de cuatro patas que se marchó este año y que estuvo durante 11 años acompañándome en los buenos, malos y difíciles momentos de mi vida, enseñándome que lo más importante es siempre ser feliz, sin importar lo que pase.

A mi familia, quien siempre ha sido mi apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por el apoyo brindado en el transcurso de la carrera.

A la IV convocatoria para el desarrollo y fortalecimiento de la investigación en UNIMINUTO por el financiamiento del proyecto.

A la Directora de la investigación Nubia Higuera por el constante acompañamiento en el desarrollo de la investigación y por sus valiosos aportes a mi formación como profesional.

A Jessica Morales, codirectora de la investigación por siempre estar pendiente de la investigación para su correcta formulación, realización y finalización.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios por la formación académica y el préstamo de sus instalaciones y equipos para el correcto desarrollo de la investigación.

A los trabajadores, administradores y demás personal de la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio por su buena disposición y acompañamiento para la toma de muestras.

A Bienestar universitaria y en especial a Erika Calceto por mediar en el proceso de beca a lo largo de mi carrera universitaria.

A CORPOICA por el préstamo de sus equipos e instalaciones para la identificación de artrópodos.

Al docente Mario Molano por sus valiosos aportes a la investigación.

Al semillero de investigación Bioprocesos por la formulación de la propuesta de investigación.

A las asistentes de laboratorio Erika Moreno y Mónica León por su colaboración en la fase de laboratorio.

A mi pareja Katherine Rozo por la colaboración en la estructuración de mapas y su apoyo incondicional.

Al docente Raúl Posada por la colaboración con los análisis estadísticos.

A Fabián Rojas por sus aportes en la planeación de los sistemas silvopastoriles.

## I. TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción .....	10
2. Planteamiento del problema .....	13
3. Justificación.....	15
4. Objetivos .....	17
4.1. Objetivo general .....	17
4.2. Objetivos específicos.....	17
5. Marco referencia .....	18
5.1. Marco de antecedentes .....	18
5.2. Marco conceptual .....	21
5.2.1. Suelos.....	21
5.2.2. Calidad de suelos.....	23
5.2.2.1. Caracterización química.....	23
5.2.2.2. Caracterización física .....	24
5.2.2.3. Caracterización biológica.....	28
5.2.3. Sistemas agroforestales .....	33
5.3. Marco geográfico .....	35
5.3.1. Departamento del meta .....	35
5.3.2. Granja agroecológica UNIMINUTO- Villavicencio .....	36
6. Métodos.....	38
6.1. Descripción del área de estudio.....	38
6.2. Caracterización física, química y biológica de suelos.....	38
6.2.1. Caracterización química .....	38
6.2.2. Caracterización física .....	40
6.2.3. Caracterización biológica.....	47
6.2.3.1. Determinación de macrofauna .....	47
6.2.3.2. Determinación de mesofauna .....	49

6.2.3.3. Determinación de microfauna.....	50
6.4. Análisis de datos.....	53
6.5. Lineamientos para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la granja agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.....	54
7. Resultados y discusión .....	55
7.1. Caracterización química.....	55
7.2. Caracterización física .....	63
7.3. Caracterización biológica.....	68
7.3.1. Macrofauna .....	68
7.3.2. Mesofauna.....	77
7.3.3. Microfauna.....	79
7.4. Lineamientos para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio .....	84
8. Conclusiones .....	93
9. Recomendaciones .....	96
10. Referencias.....	97
11. Anexos.....	111

## II. LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Horizontes del suelo. Recuperado y adaptado de FAO (2009) .....	21
<b>Tabla 2.</b> Especies maderables, cultivos transitorios, forrajeras y barreras vivas adaptables para la zona en la cual se ubica la granja Agroecológica Uniminuto Villavicencio. ....	35
<b>Tabla 3.</b> Métodos utilizados para la caracterización química del suelo.....	39
<b>Tabla 4.</b> Tipo, grado y clase de la estructura del suelo.....	41
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de la profundidad de las raíces .....	43
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de la porosidad del suelo .....	45
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de la reacción del carbonato en la matriz del suelo .....	45
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de la infiltración en función de su velocidad de entrada .....	47
<b>Tabla 9.</b> Interpretación de la reacción del suelo .....	56
<b>Tabla 10.</b> Interpretación de los cationes intercambiables.....	57
<b>Tabla 11.</b> Interpretación de la saturación de cationes.....	58
<b>Tabla 12.</b> Interpretación de la sodicidad.....	58
<b>Tabla 13.</b> Interpretación de la materia orgánica .....	59
<b>Tabla 14.</b> Interpretación de las relaciones iónicas.....	60
<b>Tabla 15.</b> Interpretación de elementos mayores .....	61
<b>Tabla 16.</b> Interpretación de los elementos menores .....	62
<b>Tabla 17.</b> Descripción del perfil de suelo .....	63
<b>Tabla 18.</b> Capacidad de infiltración del suelo .....	68
<b>Tabla 19.</b> Recuento de la macrofauna encontrada.....	69
<b>Tabla 20.</b> Relación entre individuos pertenecientes a la macrofauna.....	70
<b>Tabla 21.</b> Clasificación de los individuos de acuerdo al rol funcional.....	72
<b>Tabla 22.</b> Recuento de la mesofauna encontrada en el suelo .....	77
<b>Tabla 23.</b> Proporción entre los órdenes de mesofauna de la Granja Agroecológica UNIMINUTO .....	78
<b>Tabla 24.</b> UFC por gramos de suelo de microorganismos celulíticos, amilolíticos, proteolíticos, solubilizadores de fosfatos y fijadores de nitrógeno y unidades por gramo de suelo seco de micorrizas corregidos a peso seco.....	80

### III. LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Vista área de la Granja Agroecológica Uniminuto.....	36
<b>Figura 2.</b> A) Toma de muestra compuesta por medio del uso del palín. B) Descarte de los 2 primeros centímetros de suelo.....	39
<b>Figura 3.</b> A) Vista exterior de la calicata realizada para la determinación de las características físicas. B) Vista interior de a calicata.....	40
<b>Figura 4.</b> A) Tabla de Munsell y gama de colores del suelo. B) Determinación del color del suelo mediante el uso de la tabla munsell .....	42
<b>Figura 5.</b> Cilindro de PVC conteniendo la muestra de suelo utilizada para la medición de la densidad aparente .....	43
<b>Figura 6.</b> A) infiltrómetro lleno de agua. B) medición del agua con el uso del infiltrómetro .....	47
<b>Figura 7.</b> A) Monolito para la determinación de macrofauna. B) Muestra para la observación de macrofauna. C) Trampas de caída o pitfall .....	49
<b>Figura 8.</b> A) Muestra de suelo para embudo de Berlesse. B) Embudo de Berlesse en funcionamiento.....	50
<b>Figura 9.</b> A) Toma de muestra por medio del uso del palín. B) Muestra compuesta .....	51
<b>Figura 10.</b> A) Tamices utilizados para la extracción de micorrizas. B) Suelo tamizado a 45 $\mu\text{m}$ . C) Centrifuga con los tubos contenedores de la muestra de suelo.....	53
<b>Figura 11.</b> Calicata para la caracterización física del suelo .....	63
<b>Figura 12.</b> Profundidad efectiva del suelo.....	66
<b>Figura 13.</b> Infiltración instantánea del suelo .....	68
<b>Figura 14.</b> Distribución homogénea de la macrofauna .....	71
<b>Figura 15.</b> Distribución en forma de agregados de la macrofauna .....	72
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de grupos funcionales de la macrofauna.....	73
<b>Figura 17.</b> Propuesta de sistema silvopastoriles.....	89
<b>Figura 18.</b> Propuesta de sistema silvicultural.....	92

#### IV. LISTADO DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Composición de medios de cultivo utilizados .....	111
<b>Anexo 2.</b> Composición de la sacarosa .....	112
<b>Anexo 3.</b> Formato de entrevista a los agricultores .....	113
<b>Anexo 4.</b> Resultados de estadístico ANDEVA por rangos K-W .....	117
<b>Anexo 5.</b> Resultados del test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) .....	117
<b>Anexo 6.</b> Distribución de los grupos taxonómicos en el terreno .....	118

## 1. Introducción

Los suelos son un recurso fundamental para la vida, siendo tan importantes como agua y el aire, ya que son esenciales para la regulación y mantenimiento del ecosistema (Malagón, 2006). Además el suelo se requiere para la producción de alimentos, medicinas y madera y son el hogar de una amplia biodiversidad (Leiva et al., 2013). La etapa de formación de este recurso puede tardar hasta 500 millones de años y depende de características meteorológicas, del material parental y de la zona de vida en la cual se forme, lo que ocasiona que cada suelo posea características diferentes (Hernández, 2013). De acuerdo con Jaramillo (2002) el sistema edáfico comprende una variedad de componentes que se dividen en características físicas y químicas, las cuales se ven relacionadas directamente con la fauna que se puede encontrar en el mismo, siendo la calidad del sistema el resultado de la interacción entre estos componentes.

La conservación de la calidad edáfica depende de factores como el balance de nutrientes disponibles en el suelo que son extraídos por las plantas, las condiciones estructurales del suelo y la biodiversidad de la fauna edáfica. Para poder cuantificar y conocer las condiciones del suelo, a través del tiempo se han utilizado diversas técnicas de diagnóstico, dentro de las que se encuentran el análisis de suelo (Gómez, 2005). Para que este análisis tenga efectos positivos, es fundamental que se entienda el suelo como un sistema complejo que abarca características físicas, químicas y biológicas. De esta forma las características químicas permiten conocer el balance de los nutrientes disponibles y generalmente los resultados son clasificados por métodos cuantitativos (Molina, 2002).

Por otra parte, las características físicas permiten clasificar el sistema a partir del conocimiento del proceso de formación y de la evaluación de características como el color, la estructura, la porosidad, la humedad, la capacidad de infiltración, entre otras (Rucks et al., 2004). Estas a su vez pueden ser un limitante para la diversidad y cantidad de fauna que se puede encontrar en el terreno, además el rol que desarrolla la fauna edáfica modifica de distintas formas las condiciones físicas de cada uno de los horizontes del suelo. Así las poblaciones microbianas del sistema edáfico por ejemplo, están inmersas en un marco de interacción que afecta la calidad del suelo, asegurando su estabilidad (Pedraza et al., 2010). El estudio de la actividad biológica, también permite determinar interacciones que se desarrollan internamente entre las mismas comunidades y como estas pueden afectar los demás componentes (Valdés, 2005).

La actividad biológica, las condiciones físicas y las características químicas del suelo se ven afectadas por el manejo que se le da al sistema edáfico, es por esta razón que la actividad agropecuaria se relaciona de manera directa con la calidad del mismo (Cuesta y Villaneda, S,f; Instituto Geológico Agustín Codazzi “IGAC”, 2013). De acuerdo con el Departamento de estadística (DANE) (2015), Colombia cuenta con 114´.174.800 ha, de las cuales 46´.354.968,8 ha (40,6%) son utilizadas con fines agropecuarios, del total de estas hectáreas, 37´.315.749,88 ha (80,5%) están destinadas a pastos y 8´853799,041 ha (19,1%) dedicadas a actividades agrícolas. Lo que indica que en Colombia la producción agropecuaria es una actividad representante para la economía del país, por ende la conservación o degradación del suelo depende principalmente de su manejo (Zuluaga, 2013).

Por lo anterior se han desarrollado prácticas sustentables para el manejo de sistemas agrícolas y pecuarios como lo son los sistemas agroforestales, que son básicamente la combinación de especies vegetales y arbóreas en el espacio y en el tiempo. Farfán (2014) afirma que la agroforestería es una parte fundamental del proceso integral de conservación y recuperación del suelo. Estos se clasifican de acuerdo a su estructura como agrosilviculturales, agrosilvopastoriles y silvopastoriles (DANE, 2012).

Los sistemas silviculturales hacen referencia a la siembra conjunta de árboles y cultivos agrícolas, en los cuales se incluyen los árboles de sombra sobre cultivos perennes, los huertos caseros, barbechos mejorados, rompevientos, cercas de protección y la mezcla de perennes con otros (DANE, 2012). Brindan además una solución a los problemas de degradación de la tierra y el agua, a los déficit de producción de alimentos, y al creciente número poblacional (Mendieta y Rocha, 2007). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2014) la silvicultura representa el 7% en la actividad económica del departamento del Meta.

En cuanto a la ganadería, y de acuerdo con Ramachandran (1993), Guzmán et al. (2010) y Chaurat (2007) la agroforestería ofrece un hábitat adecuado para la fauna del suelo, suministrando sombrero, incorporando materia orgánica y favoreciendo la reproducción de la fauna para que sus funciones se vean potencializadas. Sánchez y Rosales (2001) y Viveros et al. (2006) sostienen que los sistemas silvopastoriles mejoran características físicas como la retención de humedad, evitan la compactación, aumentan la cantidad de poros, además de mejorar características químicas como el contenido de nitrógeno por medio de la fijación de este nutriente y contribuyen al ciclo de nutrientes. Contexto ganadero (2013) afirma que

Colombia cuenta con 4.000 ha en producción silvopastoril y que para alcanzar sostenibilidad se debe tener un mínimo de 10.000 ha en las cuales se emplee este sistema.

En esta investigación se realizó la caracterización química, física y biológica del suelo de la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio, en el departamento del Meta, la cual cuenta con diferentes sistemas productivos agrícolas y pecuarios. A partir de la obtención de resultados de las características edáficas y comprendiendo el suelo de la Granja como un sistema complejo que es afectado por diversas variables, finalmente se planteó una propuesta para el establecimiento de un arreglo agroforestal que permite la transición de la finca hacia un estado mayor de sostenibilidad. Además permitirá la diversificación de la granja, al mismo tiempo que se torna estructural y funcionalmente más compleja.

## 2. Planteamiento del problema

De acuerdo con las estadísticas presentadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura “FAOSTAT” (2015), Colombia cuenta con un total de 24.205.969 cabezas de ganado, distribuidas principalmente en los departamentos de Antioquia (11,67%), Córdoba (8,61%), Casanare (8,18%), Meta (7,36%), Santander (6,26%), Cesar (6,02%), Caquetá (5,94%), Cundinamarca (5,57%) y Magdalena (5,35%). Manejándose una capacidad de carga de 0.0021 cabezas por predio (DANE 2015).

El departamento del Meta dedica 4.742.012 ha a la explotación pecuaria, de las cuales 2.867.948 ha se basan en sistemas con pastos y forrajes, 916.679 ha están en barbecho o con rastrojos y 957.385 ha con vegetación especial, además cuenta con alrededor de 2.001.154 cabezas de ganado con predominación de ganadería extensiva (DANE, 2015). A sí mismo, se registran cerca de 500.000 predios que se dedican a la ganadería en donde el 48 % posee menos de 10 animales por predio y 82% entre 10 y 50 animales, por lo que se afirma que existe una subutilización del suelo (Zuluaga, 2013). Cabe mencionar que predomina la cría de bovinos y ganado doble propósito, en las extensiones de tierras del departamento del trópico bajo, específicamente en los municipios cercanos a la cordillera oriental (Rodríguez, 2015).

La Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio encontró condiciones adversas para la producción ganadera, como consecuencia del manejo de capacidad de carga superior a la que soporta el terreno (14 cabezas/ha), por tal motivo se optó por la producción ganadera estabulada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el manejo de la ganadería estabulada, encuentra una dependencia de insumos externos, que disminuyen la productividad lechera y de carne y aumentan los costos de producción, esto se debe a que los productores colombianos no cuentan con la tecnología adecuada para el éxito de este tipo de sistemas, tal y como se ha visto en departamentos como Cundinamarca, Meta, Caldas y Santander (Ojeda et al., 2003).

Por otro lado el desconocimiento de la composición química, la actividad biológica y las características físicas del suelo, ocasiona un manejo inadecuado que conlleva a la degradación del suelo, la cual trae como consecuencia el aumento de costos de producción para el ganadero, agricultor o empresario del campo y en algunos casos la pérdida total de la fertilidad del terreno (Sullivan, 2007). Según el IDEAM (2013) anualmente miles de hectáreas sufren la pérdida del horizonte 0 y reducen su productividad y en algunos casos llegan hasta la desertificación.

Al presentarse la erosión en el suelo se reduce su capacidad para proporcionar bienes y servicios al ecosistema, dentro de los cuales se destaca el equilibrio y sustentabilidad ambiental, ciclaje de nutrientes, sostenimiento de fuentes hídricas, entre otras (FAO, 2009). Por otro lado, la degradación del suelo se puede dar por diversas causas físicas como la compactación, por factores químicos como la pérdida de nutrientes, salinización y/o acidificación, y causas biológicas como reducción de la fauna edáfica, pérdida de materia orgánica y/o reducción de la biomasa del suelo (Leiva et al., 2013).

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia “IDEAM” (2013) de las 114´.174.800 ha del territorio de Colombia, aproximadamente 45´.461.000 hectáreas presentan algún grado de erosión. 22´ millones presentan erosión ligera, 19´ millones erosión moderada y 4´ millones erosión severa. En el departamento del Meta se evidencia un 44% de suelos con problemas de calidad, dividiéndose en un 35% por sobreutilización y un 9% por subutilización. Así, la ganadería extensiva en Colombia representa un alto porcentaje como causal de erosión de suelo, debido a la compactación ocasionada en un tiempo corto, afectando la biodiversidad, modificando el balance de nutrientes y desmejorando la calidad física de los suelos (Sadeghian, 2003).

Uno de los objetivos planteados es la implementación de un sistema agroforestal, en este caso sistemas silvopastoriles y silviculturales, con el fin de brindar una alternativa productiva a la Granja Agroecológica UNIMINUTO, a partir del conocimiento y mejoramiento de las características edáficas, lo cual va a permitir que el establecimiento del sistema se base en la sustentabilidad del ecosistema, rentabilidad económica y se diversifique la producción de la Granja. Contribuyendo además al plan nacional de mejoramiento que se ha convertido en prioridad para organizaciones como FEDEGAN y CENICAFÉ (Contexto Ganadero, 2013).

### 3. Justificación

El análisis de suelos permite determinar las características fundamentales para el correcto desarrollo de las plantas y el establecimiento de un sistema productivo (Castellanos et al., 2000). La Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria “CIPAV” (2004) sostiene que el conocimiento de las características del suelo a nivel local permite a los productores planear y proyectarse para el manejo adecuado del suelo, mediante el uso de sistemas agroforestales, evitando de esta forma sembrar especies vegetales que no se adapten al suelo ni se adecuen a la zona. Por lo anterior se hace fundamental realizar investigación enfocada al diagnóstico de suelos, con el fin de tener la suficiente información para su evaluación, diagnóstico y mejora (IDEAM, 2013). De acuerdo con Martínez y Venegas (1997) la investigación a escalas nacionales, regionales y locales debe estar en constante actualización y debe contener aspectos biofísicos, ecosistémicos, sociales, económicos y culturales, tal como lo contempla la presente investigación.

A partir del conocimiento del suelo, es posible evaluar y aumentar la productividad sin afectar el ecosistema, convirtiendo las actividades agrícolas y pecuarias en acciones sustentables en el tiempo y en el espacio (Ojeda et al., 2003). La caracterización del suelo surge como una herramienta que permite conocer a profundidad el estado en el que se encuentra este recurso, su nutrición y fertilidad (Bertsch, S, f).

Por otra parte, se debe resaltar que la agroforestería presenta soluciones en aspectos sociales, económicos y ambientales, gracias a que permite la diversificación de la finca, implica un manejo adecuado del suelo, es estructural y funcionalmente más complejo. Así mismo, los sistemas agroforestales buscan aumentar la productividad, a partir del incremento de rendimientos reducción de insumos y optimización de la mano de obra (Ramachandran, 1997). Al establecer un sistema agroforestal, se obtiene como consecuencia la conservación del potencial de producción de los recursos, para llevar a cabo este tipo de sistemas se debe tener en cuenta la adaptabilidad, es decir la implementación de nuevas tecnologías (Sánchez y Rosales, 2001).

En contraste la ganadería es vista como un sistema de producción problemático, ya que atenta contra la biodiversidad y la equidad social, sumando la huella ecológica de la ganadería en Colombia, un bovino requiere de 16.222.26 m<sup>3</sup> de agua en tan solo 10 años (Molina, 2011). Además la ganadería es una de las causas más representativas en la degradación del suelo. Sadeghian (2001) encontró que la actividad ganadera modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación y reduce el espacio entre los poros.

El establecimiento de sistemas agroforestales ofrece a la granja UNIMINUTO Villavicencio, distintas alternativas de producción agrícolas y pecuarias como lo son los arreglos agroforestales que permitirán trabajar el suelo de forma sustentable, aumentar la productividad de la finca, ser un modelo en la región, aumentar la cantidad de fauna edáfica benéfica del suelo y complejizar el sistema. Por otro lado los sistemas silvopastoriles puede ofrecer una opción sustentable al manejo ganadero, optimizando el número de cabezas que se ajusta a la extensión del terreno, con rotación de periodos cortos, con tiempos adecuados de descanso, brindándole además sombríos a los bovinos que se adapten a la zona de vida, permitiendo un mayor suministro de energía y proteína.

Es por esta razón que el establecimiento de producción ganadera sostenible por medio de la implementación de sistemas silvopastoriles, representan beneficios como la reducción del estrés del animal al ser utilizadas especies arbóreas como sombrío para el ganado, barreras rompevientos, protegiendo las pasturas y complementando eficientemente la nutrición del ganado por el nitrógeno que aportan, en consecuencia disminuyen la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Granobles y Grajales, 2015).

En adición a esto para una región cuyo manejo de la ganadería se basa en la ganadería extensiva, y el manejo de la agricultura en monocultivos es importante tener un modelo a seguir y un punto de referencia, para copiarlo y asimilarlo como una alternativa sostenible para el manejo de sus predios. Independientemente del sistema seleccionado a implementar, el proceso de transición a la producción agroecológica se debe iniciar por medio del establecimiento de arreglos agroforestales que se adapten óptimamente a las condiciones con las que cuenta el suelo y los factores ambientales que se presentan en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, con el fin de disminuir el uso de insumos externos, aprovechar la biodiversidad que ofrece este departamento en Colombia, garantizando de esta forma una producción sana, conservación de recursos y asegurando a futuras generaciones poder hacer uso de recursos como el suelo.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general.**

Caracterizar química, física y biológicamente el suelo en un sistema de pasto *Brachiaria Humidicola* de la granja UNIMINUTO de Villavicencio, Meta, Colombia con el fin de plantear una alternativa de producción agroforestal.

### **4.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar las características físico-químicas del sistema edáfico.
- Caracterizar las comunidades de microfauna, mesofauna y macrofauna edáfica.
- Proponer lineamientos para la implementación de un arreglo agroforestal en la Granja Agroecológica de Villavicencio. a partir de los resultados obtenidos.

## **5. Marco de referencia.**

### **5.1. Marco de antecedentes.**

De acuerdo con IGAC (1980) El municipio de Villavicencio se encuentra dividido por dos grandes unidades: la parte llana y la vertiente de cordillera. La región plana se ubica hacia la parte oriental, compuesta por sedimentos aluviales, bordeada por el río Guatiquía al norte y por el río Guayuriba al sur; la parte central de esta planicie es cruzada por los ríos Ocoa y Negro y numerosos caños y corrientes menores. Esta región se caracteriza por los procesos de sedimentación. La vertiente de la cordillera se ubica en la zona noroccidental alta con un relieve accidentado, debido a las irregularidades orogénicas de la Cordillera Oriental.

En un estudio realizado por el IGAC (2005), que buscaba identificar las principales características de los suelos del departamento del Meta y donde abarcaron una extensión de 8.563.500 ha, con altitudes desde 150 hasta 4000 m.s.n.m. encontraron que el color de los suelos en la zona es oscuro en los horizontes superiores, claro en los inferiores y grises con moteados amarillos o rojizos, y se caracterizan por tener un drenaje natural pobre, tanto en terrenos con pendientes pronunciadas como en terrenos llanos. Hallaron rangos de texturas desde arenosas hasta arcillosas, estructuras blocosas subangular de finas a gruesas, encontrándose en mayor medida de débil a moderadamente desarrollada.

Se determinó que la mayoría de los suelos son minerales normales, debido a la densidad aparente hallada, es decir que sobreyace a materiales de cenizas volcánicas. La porosidad en los suelos analizados no guarda un buen equilibrio, destacándose la microporosidad, lo cual dificulta la infiltración de agua. La humedad presentó valores promedios bajos. En cuanto a los resultados de las caracterizaciones químicas, encontraron rangos de pH desde extremadamente ácido hasta ligeramente ácido, capacidad de intercambio catiónico bajo, alta presencia de aluminio, lo cual ocasiona problemas de toxicidad. En general la saturación de bases es menor al 35%. Se encontró que los valores de Ca, Mg y K son en promedio bajos, mientras los contenidos de carbono orgánico son variables y los del fósforo aprovechable son bajos.

Al realizar la clasificación taxonómica de los suelos, encontraron los órdenes: Entisoles, Inceptisoles, Ultisoles y Oxisoles, predominando los dos últimos en las llanuras, también llamadas zonas planas. Determinaron que los suelos del Meta se han desarrollado a partir

de cuatro tipos de materiales. Los primeros son **estratos rocosos «in situ» de la Cordillera Oriental**, los cuales han originado suelos sedimentados y metamórficos; el segundo, **sedimentos provenientes de la cordillera**, los cuales han dado origen a las geoformas de piedemonte, altiplanicie, lomerío, planicie y valle. Como resultado de estos sedimentos los suelos se constituyen por texturas medias a finas, acidez, con alta saturación de aluminio, bajas cantidades de calcio, magnesio y potasio, la mayoría tiende a ser permeable con baja retención de humedad. El tercer material son las **arenas** que se han depositado en forma de fajas longitudinales, en sectores aledaños a la confluencia de los ríos Yucao, Manacacías y Meta en el municipio de Puerto Gaitán. Los suelos son de texturas gruesas, muy permeables, con abundante macroporosidad y baja retención de humedad. Estos materiales basales han dado origen a suelos con alta saturación de aluminio, reacción ácida, bajo contenido de nutrientes, baja fertilidad y composición mineralógica dominada por cuarzo y caolinita; finalmente los **materiales piroclásticos**, producto de erupciones volcánicas ocurridas en la cordillera central, que fueron transportados por acción eólica y formaron depósitos espesos a partir de los cuales se han originado y evolucionado en suelos Andisoles, caracterizados por texturas medias a finas, buena permeabilidad, alta retención de humedad y fertilidad baja.

El IGAC (1980) realizó un estudio general en los municipios del Calvario, Caumal, Acacías, Villavicencio, Restrepo y Cumaral en el departamento del Meta, donde determinaron que las características físicas del suelo se ven determinadas por una textura que varía de fina a gruesa, predominando las texturas finas en suelos de la vertiente y en el plano aluvial marginal y las texturas moderadamente gruesas en la planicie aluvial de desborde. Se encuentran suelos estructurados y no estructurados, los suelos no estructurados predominan en la planicie de desborde, valle y vertiente, mientras, los estructurados predominan en terrazas, abanicos y vertientes. En cuanto al color, concluyeron que en la planicie de inundación predomina el color pardo grisáceo, en el plano aluvial marginal, el color de la superficie marginal varía de pardo oscuro a pardo amarillento oscuro, tornándose más claro a medida que aumenta la profundidad hasta llegar a pardo amarillento oscuro. Referente a la porosidad, determinaron que esta depende del manejo que se le haya dado al suelo, oscilando entre el 3 y el 20%, mientras la microporosidad presenta valores entre el 28 y el 41%. Además, encontraron que la retención de humedad depende del contenido de materia orgánica, arcilla, tipo de estructura, porosidad, permeabilidad y drenaje interno, hallando valores distintos en cada uno de los suelos evaluados.

En el mismo estudio encontraron que las características químicas, el pH varía desde 4.1 (extremadamente ácido) hasta 5.3 (fuertemente ácido). El CICE presenta los valores más altos en los primeros horizontes y va disminuyendo en relación a la profundidad, en general los valores de CICE se encuentran por debajo de 10 me/100 gr de suelo. El aluminio intercambiable se encuentra en promedio en niveles tóxicos para las plantas, sin embargo al ser un promedio encontraron suelos aptos para realizar labores agrícolas. El carbono orgánico se encuentra entre el 1 y 3% en el horizonte A y por debajo del 1%. Finalmente evaluaron el fósforo intercambiable, encontrando valores que están por debajo de 20 ppm, siendo un valor muy bajo (IGAC, 1980).

En cuanto a génesis y taxonomía se refiere, concluyeron que el material parental está estrechamente ligado con la geología de la cordillera oriental, cada uno de los materiales han ocasionado características en los suelos, así las arcillas no consolidadas han ocasionado acidez, características de pobreza y coloración del material. Las areniscas generaron suelos con texturas gruesas, ácidos y bajos en bases. Algunas áreas presentaron la influencia de cenizas volcánicas, influenciando características ándicas. En la región llana, la composición mineralógica pone en manifiesto el alto contenido de cuarzo y la ausencia o trazas de minerales intemperizables, debido a los procesos de meteorización que sufrieron los materiales antes de ser depositados. En cuanto a la clasificación taxonómica, encontraron 3 órdenes, el primero de ellos fue suelos entisoles, los cuales presentan poca o ninguna evolución, encontrados en todas las posiciones fisiográficas, menos en las terrazas; los inceptisoles, los cuales se caracterizan por presentar un epipedon úmbrico, los cuales predominaron en las zonas más bajas del departamento y por último los oxisoles, presentes en las partes altas de las zonas de estudio, con un buen desarrollo pedogenético (IGAC, 1980).

## 5.2. Marco conceptual.

### 5.2.1. Suelos

El término deriva del latín *solum*, que significa piso, según Thompson (1965) es la capa superior compuesta por componentes físicos, químicos y biológicos, en las cuales se encuentran las plantas, en adición el suelo se forma a partir de masas de rocas parcialmente meteorizadas y minerales de la corteza terrestre. Se ve compuesto por distintos materiales que resultan de gran importancia al momento de referirse a este componente de la vida, inicialmente se encuentra la geomorfología de suelos, la cual se encarga de estudiar la formación del suelo abarcando factores como el relieve, la morfodinámica superficial, el contexto morfoclimático, los materiales no consolidados y el tiempo (Zinck, 2012). Integrar la geomorfología y la edafología permite comprender de una manera más clara la interrelación de sus procesos formadores, la distribución espacial, el potencial y las limitaciones del suelo (Garrido et al., s,f). Según FAO (2009) el suelo está organizado verticalmente por horizontes, clasificados como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Horizontes del suelo. Recuperado y adaptado de FAO (2009).

<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
<b>Horizonte H</b>	Está compuesto por la acumulación de materia orgánica no descompuesta generalmente están o estuvieron saturados por agua.
<b>Horizonte O</b>	Este horizonte está compuesto por materia orgánica en descomposición y a diferencia del horizonte H no está saturado por la acumulación de agua en periodos prolongados,
<b>Horizonte A</b>	Se encuentran en la superficie del suelo, se forma al desintegrarse por completo la roca original y se caracterizan principalmente por tener una profundidad de 30 cms, tener una alta cantidad de materia orgánica humificada mezclada con el compuesto mineral y por la alta actividad de los componentes biológicos. Se ve

	afectado generalmente por la actividad agrícola y pecuaria, es en este horizonte donde las raíces inician su crecimiento (Thompson, 1965).
<b>Horizonte E</b>	La estructura rocosa original ya se ha desintegrado completamente, se caracteriza por la concentración de arena y partículas de limo, se encuentra generalmente cerca de la superficie; se diferencia del horizonte B por tener un color más claro que el horizonte B, por la textura más gruesa.
<b>Horizonte B</b>	En este horizonte se observan restos de la roca madre, combinados con concentración lluvial, arcilla silicatada, hierro, aluminio, humus, carbonatos, sílice. Este horizonte se caracteriza por haber sido horizontes subsuperficiales y se caracteriza por tener una profundidad de 70 cm aproximadamente, en este horizonte es posible encontrar raíces de plantas.
<b>Horizonte C</b>	Se caracteriza principalmente por ser el horizonte con menos afectación por procesos pedogenéticos, en este horizonte se pueden observar saprolitos y fragmentos de roca, se caracteriza además por contener acumulaciones de sílice, carbonatos, yeso o sales solubles.
<b>Horizontes de transición</b>	Son aquellos con características de dos horizontes y son nombrados con letras mayúsculas (AB-BC).

El suelo se puede clasificar taxonómicamente para determinar un número extenso de factores determinantes basándose en el conocimiento de las características genéticas, morfológicas, físicas y químicas y de la distribución geográfica de rasgos diagnósticos; se utiliza además para reconocer ciertos parámetros que han intervenido en la evolución del suelo, lo cual resulta fundamental para predecir el comportamiento futuro del suelo (SIAC, 2012). En Colombia es posible encontrar 11 de los 12 órdenes existentes de suelo y se han identificado 37 clases de suelos, lo que enriquece su diversidad pero dificulta su conocimiento IDEAM (2015).

El origen del suelo de Villavicencio está estrictamente ligado con el proceso evolutivo de la cordillera oriental, la cual ha sido una fuente de sedimentos y materiales consolidados que dieron estructura al suelo del municipio, influenciado por factores como el clima, relieve, organismos y el tiempo. En general el suelo se ve caracterizado por una morfología abrupta y compleja, con fallas de cabalgamiento y de desplazamiento lateral, que ocasionan levantamiento y plegamiento de rocas metamórficas y sedimentarias, estas actividades han dado paso al levantamiento de la cordillera oriental (Secretaría de Planeación, 2013).

### **5.2.2. Calidad de suelos**

Valenzuela y Torrente (2010) afirman que la calidad de suelos abarca la resistencia mecánica, la transmisión y el almacenaje de nutrientes y fluidos en la rizosfera. Para determinar por completo la calidad del suelo se debe realizar tres caracterizaciones, la química, física y biológica. A continuación se describe cada una de estas.

#### **5.2.2.1. Caracterización química**

La primera de ellas es la caracterización química, la cual según FUNACH-ASCAPAM (2002) permite conocer el estado nutricional, esclarecer su patogénesis, taxonomía y conocer su calidad química por medio de la determinación de los nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos y las transformaciones, es por esta razón que se considera fundamental para decidir el manejo que se le va a dar al suelo. Según Hernández (2013) la caracterización química está sujeta principalmente al método cuantitativo del pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), salinidad, relación C/N, materia orgánica y nutrición mineral, la cual está compuesta por nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y microelementos (sodio, boro, manganeso, zinc, cobre, sulfatos, cloruros y bicarbonatos).

También se debe tener en cuenta la cantidad de materia orgánica, debido a que constituye la fracción orgánica que incluye restos vegetales y animales que se encuentran en diferentes estados de descomposición, igualmente se encuentran en esos procesos los tejidos y células de organismos que viven en el suelo y las sustancias producidas por los organismos del suelo. La fracción orgánica influye en los procesos químicos que ocurre en el suelo, también sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas, incluyendo a la microflora y la fauna (Huerta, 2010).

#### **5.2.2.2. Caracterización Física**

Las características físicas son un determinante fundamental de la condición del suelo, debido a que estas características pueden ser limitantes de factores como la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

Al hacer una caracterización física de suelos se debe tener en cuenta:

**Profundidad efectiva.** Se entiende como el suelo que puede ser aprovechado por las raíces en función de las plantas, entre más profundidad mayor densidad y menor porosidad (FAO, 2009).

**Humedad gravimétrica.** Es la relación del peso del agua con el peso de las partículas sólidas en una porción de suelo (Bowles, 2000). Gonzales (2008) afirma que el suelo se debe entender como un depósito que contiene agua y que es posible determinar en cualquier momento. Shaxson y Barber, (2005) sostienen que es un factor determinante para la producción agrícola y que está estrechamente relacionada con la porosidad del suelo.

**Capacidad de infiltración.** Es la entrada del agua al perfil del suelo a través de la superficie al hacer contacto con la atmosfera, se encuentra limitado por muchos factores, los más importantes son la macroporosidad, la estructura y la cantidad de agua inicial que contenga el suelo (Marano, s, f). En suelos secos, la tasa de infiltración es alta debido a que el suelo tiene la capacidad de absorber el agua más rápido, esto dependiendo de la textura, pero a medida que transcurre el tiempo alcanza una tasa mínima o “estacionaria”, llamada comúnmente infiltración básica. Está relacionada con los poros de mayor tamaño, ya que permite el movimiento del agua, por lo tanto, este

constituye un indicador interesante relacionado con la macroporosidad, la cual es afectada de una manera significativa por el manejo (Aapresid, s, f).

**Textura del suelo.** Es la relación de las distintas partículas minerales del suelo, clasificadas según su tamaño en tres grupos: limos, arenas y arcillas, la textura se definen más específicamente por la proporción que se posea de estos tres componentes (Rucks et al., 2004). La textura además permite conocer la facilidad con que es posible trabajar el suelo, la cantidad de aire y agua, la permeabilidad en el suelo por medio del tamaño de las partículas granulométricas y la cantidad de poros o porosidad total que estos contengan (Ansorena, 1994). Según FAO (2009) las partículas del suelo se dividen en:

- Arena muy gruesas: 2 – 1 mm
- Arena gruesa: 1-0,5 mm
- Arena mediana: 0,5- 0,25 mm
- Arena fina: 0,25-0,1 mm
- Arena muy fina: 1 – 0,05 mm
- Limo: 0,05- 0,002 mm
- Arcilla: <0,002 mm

**Color del suelo.** Según FAO (2009) se ve condicionado por la materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, rojo o anaranjado) y óxido de magnesio (negro). Se usa con el fin de determinar la composición del suelo, ciertas propiedades físicas y químicas y el proceso que ha llevado hasta su estado actual (Thompson, 1965)

**Moteado.** Se describen como manchas de distintos colores que se intercalan con el color dominante del suelo. Principalmente indican los estados de reducción o de oxidación del suelo. Se describe en términos de abundancia, tamaño, contraste, limite y color (FAO, 2009).

**Estructura del suelo.** Es la disposición de las partículas en el suelo, generando por medio de procesos pedogenéticos unidades de mayor tamaño conocidas como agregados

(Rucks et al., 2004). Según Moreno et al. (2010) se describen 3 aspectos de la estructura en cada horizonte: el tipo de estructura, el grado y la clase.

- **El tipo de estructura.** Se refiere a la forma de unidades estructurales en el suelo.
  - a) **Granular.** Unidades pequeñas poliédricas regulares o esferoides dispuestos alrededor de un punto con sus tres dimensiones de tamaños similares.
  - b) **Poliédrica.** Caras intersectadas unas con otras, formando ángulos agudos.
  - c) **Subpoliédrica.** Poliedro de caras planas y redondeadas y carece de ángulos agudos.
  - d) **Grumosa.** Agregados pequeños, porosos y redondeados.
  - e) **Prismática.** Unidades verticalmente alargadas.
  - f) **Columnar.** Unidades verticalmente alargadas con el extremo final alargado.
  - g) **Laminar.** Unidades horizontalmente alargadas.
  - h) **Particular.** Se presenta cuando solo hay arena y no hay síntomas de agregación.
  - i) **Masiva.** No se presentan unidades estructurales, por esto tiende a ser una masa sin grietas y sin diferenciación de agregados.
  - j) **Fibrosa.** No se presentan unidades estructurales, en este caso por fibras procedentes del material orgánico.
  
- **Grado.** Clasifica la intensidad de agregación de las partículas y la adhesividad entre estas.
  - a) **Sin estructura.** No existen agregados visibles, en caso de haberlos no se presentan un ordenamiento natural de las líneas.
  - b) **Débil.** Escasos agregados formados, difícilmente visibles,

- c) **Moderado.** Agregados bien formados y diferenciados de duración moderada.
- d) **Fuerte.** Agregados duraderos evidentes en suelos no alterados.
- **Clase.** Describe el tamaño medios de los agregados individuales y se divide en:
  - a) Muy fino o muy delgado
  - b) Fino o delgado
  - c) Medio
  - d) Grueso o espeso
  - e) Muy grueso o muy espeso

**Densidad aparente.** Es la masa del suelo por unidad de volumen, es la representación de la relación entre sólidos y el espacio entre poros (Keller y Håkansson, 2010).

**Densidad real.** Es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo. El contenido de los elementos que componen el suelo es el que determina el valor de la densidad real, lo que liga directamente a la composición química (Mendoza, 2009).

**Carbonatos.** Permite diagnosticar varias características del suelo (estructura, actividad biológica, bloqueo de nutrientes, entre otras). Se debe mencionar que el contenido total no da una idea exacta de la importancia de los carbonatos en los procesos químicos del suelo. Los carbonatos realizan acciones que favorecen la estructura del suelo y las actividades microbianas, sin embargo un exceso de carbonatos puede ocasionar problemas de nutrición, por antagonismo con otros nutrientes (Andrades, 2012).

**Características ándicas.** Se encuentran en la superficie del suelo o bajo pocos centímetros de las mismas. Los suelos que presentan estas características contienen altas cantidades de materia orgánica, las capas tienden a ser oscuras, con macroestructura esponjosa, baja densidad aparente y comúnmente textura franco limosa o más fina (FAO, 2009).

**Porosidad del suelo.** Los espacios o poros que hay entre partículas sólidas (orgánicas e inorgánicas) del suelo, están formados por diversos compuestos inorgánicos claves,

como el agua que es el principal componente líquido y contiene sustancias minerales, oxígeno, dióxido de carbono en disolución y el aire, el cual es el constituyente de la fase gaseosa presente en los suelos. Dependiendo de la cantidad de humedad de los suelos, estos pueden estar llenos de aire o de agua (Aguilera, 1989). De acuerdo con (Mendoza, 2009) se clasifican como:

- Macroporos: 1000- 60 mm. Cumplen la función de infiltración y aireación.
- Mesoporos: 60-10. Cumplen la función de conducción del agua.
- Microporos: 10- 0.2. Cumplen la función de almacenar agua.

### **5.2.2.3. Caracterización biológica**

La parte biológica del suelo la conforman los organismos vivos que representan el 60% de un suelo saludable, su importancia dentro de la biota es la de permitir la entrada y el almacenamiento de agua, ayudar a resistir la erosión, permitir la nutrición de las plantas y la descomposición de la materia orgánica (Alvarez y Santanatoglia, s,f). Según Lavelle (1997) estos organismos se clasifican como: macrofauna, mesofauna y microfauna.

Los individuos visibles a simple vista, se clasifican como macrofauna, viven total o parcialmente dentro del suelo o sobre él. Dentro de estos se pueden encontrar los órdenes: Blattodea, Coleoptera, Hymenoptera, Dermaptera, Haplotoxida, Isopoda, Diplopoda y Chilopoda, entre otras (Brown et al. 2001). Mientras la mesofauna, son organismos que abarcan una longitud de 100  $\mu\text{m}$  a 2 mm y son representados por ácaros, colémbolos y diplura (FAO, 2013).

La microfauna son organismos cuya medida está dentro de los 5 y 100  $\mu\text{m}$  y por tal motivo se requiere del uso de microscopio, la actividad de esta fauna se ve representada principalmente por grupos como las micorrizas, organismos solubilizadores de fosfatos, fijadores de nitrógeno, microorganismos aminolíticos, proteolíticos, celulolíticos, (Martínez et al., 2008). La actividad que representan los microorganismos en general en el suelo es la de oxidar el material orgánico y descomponer materia orgánica, a medida que realizan esta acción, los nutrientes del suelo son liberados y dispuestos en formas que pueden ser usadas por las plantas (Sivila y Ángulo, 2006). Según Jaramillo (2002) controlan la disponibilidad de nitrógeno, forman el humus, producen sustancias promotoras de

desarrollo radicular, suprimen patógenos y degradan de pesticidas, además de realizar simbiosis con las plantas, como lo hacen las micorrizas para el aporte de nutrientes.

### **Macrofauna del suelo.**

Está compuesta por aproximadamente 80 millones de especies, principalmente artrópodos, se debe resaltar que es imprescindible tener en cuenta la macrofauna benéfica y perjudicial en el sistema (Brown et al., 2001). La macrofauna recibe el nombre de ingenieros del suelo y cumple un sinnúmero de funciones en el ecosistema como la transformación de hojarasca, mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, descomposición de materia orgánica, estructura del suelo, entre otras (Jiménez et al., 2000). A continuación se describen los grupos más representativos de macrofauna en el suelo.

- **Lombrices.** Son invertebrados de la familia de los anélidos que cumplen funciones determinantes en el suelo, mejoran las condiciones de infiltración y aireación debido a que construyen túneles en el mismo, contribuyendo al ciclado de nutrientes, reduciendo el escurrimiento de agua y manteniéndola disponible para periodos de sequía (Domínguez et al., 2009).
- **Artrópodos.** Además de las lombrices se encuentran organismos que cumplen funciones fundamentales en el suelo, dentro de estos se resaltan organismos del orden Blattodea, Coleoptera, Hymenoptera, Dermaptera, Haplotoxida, Isopoda, Diplopoda, Araenae y Chilopoda, entre otras, los cuales le dan estructura al suelo, entierran los nutrientes y los dejan en contacto con la planta, depredan organismos no benéficos para las plantas y sus desechos son ricos en nutrientes para la planta después de haber sido tratados por hongos y bacterias (Sullivan, 2007).
- **Otros grupos representativos.** Al igual que los grupos mencionados anteriormente, es posible encontrar, hemípteros, dípteros entre otros, los cuales se pueden encontrar como plagas y vectores, sin embargo algunos son benéficos para el suelo al modificar su estructura, descomponer materia orgánica, activar la microflora edáfica, entre otras funciones (Brown et al., 2001).

**Mesofauna del suelo.** Interviene en los procesos de descomposición de la materia orgánica, de aceleración y reciclaje de nutrientes y en particular en los procesos de mineralización del fósforo y el nitrógeno (García y Bello, 2004) citado por (Socarras, 2013). Se les reconoce como microingenieros del medio edáfico, ya que construyen galerías en el suelo y favorecen las propiedades físicas de este, por medio de la aireación y la infiltración del agua (Socarras, 2013). Según Arango y Macias (2003) su tamaño oscila entre 0,16 mm y 10,4 mm.

- **Ácaros.** Andrés y Pérez (2004) afirman que los ácaros son un excelente indicador de suelos, ya que constituyen uno de los grupos más predominantes en los horizontes orgánicos de los suelos, descomponen residuos vegetales, utilizándolos como alimento, estimulando la actividad microbiana y fúngica. Aceleran los procesos de humificación e intervienen en la fijación del calcio y del nitrógeno.
- **Colémbolos.** Arango y Macias (2003) afirman que los colémbolos son dependientes del sistema edáfico y son de gran importancia como indicadores del suelo, estos individuos pueden penetrar 1.5 cm en el suelo, mejorando sus características físicas. Dentro de sus principales características se puede resaltar que no poseen alas, miden entre 250 micrones y 10 mm de longitud. Son entognatos y poseen un órgano saltador o fúrcula. Resultan ser benéficos para la fertilidad del suelo, gracias a su influencia en la estructura del suelo y a que sus heces pueden retardar la liberación de nutrientes esenciales a las raíces de las plantas, y servir además como sustrato para microorganismos.
- **Otros grupos encontrados en el suelo.** Según Arango y Macias (2003) dentro de la mesofauna también es posible encontrar organismos del orden Chilopoda, Enchytreidae, Opiliones, Diplura, Protura y Nematoda, entre otros.

**Microfauna del suelo.** Se relacionan con los procesos de edafogénesis; los ciclos biogeoquímicos de elementos como carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fosforo, hierro, y otros metales; fertilidad de las plantas; protección frente a patógenos; degradación de procesos xenobioticos; entre otros (Ben- Omar et al., 1997). En el suelo es posible encontrar cerca de  $10^4$  especies microbianas por cada gramos de suelo (Cavaletti et al., 2006). Franco (2008) sostiene que las funciones benéficas más importantes que realizan en la rizósfera son:

- Estimulación de la germinación de semillas y enraizamiento.
- Incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes.
- Mejora de la estructura del suelo
- Protección de la planta frente a estrés por causas bióticas o abióticas.

Dentro de los grupos funcionales benéficos más importantes se pueden resaltar:

- **Microorganismos celulolíticos.** Resultan ser fundamentales en el ciclo del carbono en el suelo, debido a que degrada desechos vegetales que están compuestos por celulosa (Nielsen y Winding, 2002). La presencia de microorganismos celulolíticos y su respectiva tasa de descomposición son indicativas de la eficiencia con que se transfieren los nutrientes del acolchado al suelo, se relacionan con la cobertura y diversos factores ecológicos, como la composición de la biocenosis, humedad, temperatura y estatus de nutrientes (Valencia, 2010). Desempeñan un papel importante en el ciclo del carbono en el suelo, degradando desechos vegetales que están compuestos en su mayoría de celulosa (Nielsen y Winding, 2002). Esta actividad cobra gran importancia en agroindustrias debido a que la degradación de este polímero se relaciona directamente con la fertilidad y calidad del suelo (Cerón y Melgarejo, 2005).
- **Microorganismos amilolíticos.** Este tipo de microorganismos utiliza enzimas reductoras para producir azúcares simples a partir de enzimas reductoras. Dentro de estos se identifican bacterias como *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., y *Streptomyces* sp. (Sánchez et al., 2005). Se pueden hallar dentro del amplio rango de microorganismos, siendo posible encontrar más de 100 millones por gramos de suelo. Hacen parte de las primeras fases de descomposición de la materia orgánica (Valencia, 2010).
- **Microorganismos proteolíticos.** Su función es la de fragmentar proteínas en unidades menores hasta aminoácidos, se considera que esta la primera etapa para la descomposición de la materia orgánica (Diez y Montoya, 2009).
- **Microorganismos solubilizadores de fosfato.** Su función principal es la de poner a disposición el fósforo a las plantas y que de esta manera lo puedan asimilar

(Vargas, 2012). Algunos ejemplos de estos microorganismos son *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Rhizobium* sp., *Enterobacter* sp. y hongos como *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. Son capaces de crecer en medios con  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  o minerales insolubles semejantes como única fuente de fosfato, estos asimilan el elemento y hacen soluble una porción que es liberada al medio (Martínez et al., 2010).

- **Microorganismos fijadores de nitrógeno.** La mayoría de los organismos son incapaces de metabolizar el nitrógeno, debido a que no reacciona fácilmente con otros compuestos, por lo que se hace necesario que sea transformado en compuesto absorbible y metabolizable por las plantas, por medio de la toma de nitrógeno y combinación a través de enzimas por parte de microorganismos fijadores de nitrógeno, este proceso se lleva a cabo a partir de la transformación de  $\text{N}_2$  en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que es ionizado a  $\text{NH}_4^+$  o nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). , mediante la enzima nitrogenasa (Calvo, 2011). Para la fijación de nitrógeno en el suelo existe una extensa variedad de procariontas, como las bacterias no filamentosas, las cianobacterias, los actinomicetos, entre otros (Martínez y Gutiérrez, 2010). Este proceso se lleva a cabo gracias al complejo enzimático nitrogenasa que se encuentra exclusivamente en organismos procariontas. *Allorhizobium* sp., *Azorhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Mesorhizobium* sp., *Rhizobium* sp. y *Sinorhizobium* sp., son algunos de los microorganismos que llevan a cabo este proceso (Villalobos, 2006).
- **Las micorrizas.** Etimológicamente se define como una simbiosis mutualista entre hongos del suelo y las raíces de las plantas. Se presenta un mutualismo entre los dos organismos implicados, debido a que el hongo coloniza la raíz de la planta proporcionándole nutrientes minerales y agua que extrae del suelo por medio de una red de hifas, al mismo tiempo la planta suministra al hongo sustratos energéticos y carbohidratos que elabora por medio del proceso de la fotosíntesis (Monroy, 2004). Las micorrizas son un determinante en la calidad de los suelos, debido a que cumplen muchos procesos microbiológicos y ecológicos, en algunas ocasiones el desarrollo de las plantas se ve notablemente mejorado o hasta puede llegar a depender de la presencia de micorrizas (Montañez, 2009).

### **5.2.3. Sistemas agroforestales.**

Mendieta y Rocha (2007) definen la agroforestería como la utilización de distintas especies en un espacio y tiempo determinado, permitiendo la interacción ecológica y económica entre los componentes del ecosistema. Estas formas de producción agroforestal pueden ser aplicadas tanto en ecosistemas frágiles como estables, con la finalidad de diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, mejorar las características físico-químicas del suelo y optimizar la producción del sistema (Farfán, 2014). La Agroforestería se divide en sistemas silviculturales, sistemas agrosilvopastoriles, sistemas agrosilviculturales y sistemas silvopastoriles.

**Sistemas silviculturales.** Este tipo de sistemas discriminan la producción pecuaria, es decir que únicamente tienen en cuenta las especies vegetales productivas, sin embargo también es posible encontrarlo combinados con especies no productivas que favorezcan el sostenimiento del ecosistema (DANE, 2012). Este tipo de sistemas se basa en la producción de sombrío, optimización y aprovechamiento del espacio, diversificación productiva y barbechos modificados (Montagnini et al., 2015).

**Sistemas agrosilvopastoriles.** En este tipo de sistemas se maneja como base la producción ganadera pero se optimiza la producción por medio del establecimiento de especies frutales que puedan proveer beneficios a los bovinos (DANE, 2012).

**Sistemas agrosilviculturales.** En este tipo de sistemas se maneja la combinación de árboles y cultivos agrícolas, siendo los cultivos de callejón los más conocidos, Comúnmente se maneja café con sombrío producido por especies de mayor tamaño (DANE, 2012)

**Sistemas silvopastoriles.** Según FEDEGAN (2012) los sistemas silvopastoriles son una modalidad de agroforestería ganadera, en donde se combina en el tiempo y en el espacio especies forrajeras con arbustos y especies arbóreas para la alimentación bovina.

**Sistemas de producción ganadera sostenible.** Los sistemas de producción ganadera sostenible son una iniciativa planteada por el Fondo Nacional del Ganado (FEDEGAN) junto con el centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de Producción (CIPAV), en el cual se plantea una oportunidad para los ganaderos de mejorar su producción y ser ambientalmente sostenible, estableciendo sistemas silvopastoriles (SSP) y conservando los árboles nativos que se encuentren en la finca (FEDEGAN, 2012).

Andrade y Hernández (s.f) sostienen que en los sistemas de producción ganadera se busca implementar los SSP, por ser un sistema de producción ecológicamente sustentable, económicamente rentable, socialmente aceptable y productivamente viable. Estos últimos generalmente son utilizados para brindar sombra al ganado, como maderables y corredores biológicos. Además los sistemas SSP contribuyen a la fijación de nitrógeno en el suelo, disminuyendo el costo de alimentación ganadera, gracias a que complementan la nutrición del ganado (Granobles y Grajales, 2015).

Un sistema ganadero debe tener vinculada y debe aceptar en el plan de manejo la agroforestería, en la cual se incluyen dos o más especies de plantas, es complejamente ecológico y funciona como un sistema y se sostiene por 3 pilares: la productividad, la sostenibilidad y la adaptabilidad (Ramachandran, 1993). La primera se vincula con el aumento de ingresos económicos, la sostenibilidad se dirige a la parte de conservación del ecosistema en el cual se está produciendo, mientras el tercero se relaciona con la dimensión social y la aceptación social que debe tener un sistema completo.

Para el adecuado manejo de los sistemas silvopastoriles se debe entender los sistemas de producción sostenibles como una alternativa viable de desarrollo que busca proveer mercados con altos ingresos, aprovechando el alto rango de biodiversidad de Colombia, asociando la misma con los recursos provenientes de las fincas y promoviendo el reciclaje de nutrientes, disminuyendo de esta forma la utilización de insumos externos (Arango, 2004).

Ramachandran (1993) planteó las bases para el establecimiento de un SSP exitoso: en primer lugar una base estructural, en la cual se planea y se estructura con anterioridad sobre la organización del terreno dependiendo de sus características y del espacio con el que se cuenta, en segundo lugar se encuentra la base funcional, en esta fase se establece cual es la función de cada una de las especies implementadas, en tercer lugar está la base socioeconómica, en donde se abarca el manejo que se implementará, cuánto dinero va a producir, que beneficios traerá el conjunto que abarca el SSP y cantidad de insumos necesarios para la implementación y por último se encuentra la base ecológica, en la que se tiene en cuenta las características ambientales con las que cuenta la zona de vida.

A continuación, en la Tabla 2 se muestran algunas de las especies vegetales que componen un SSP y que vincula la agroforestería para la implementación de un sistema de producción sostenible en la granja Agroecológica UNIMINUTO3 Villavicencio.

**Tabla 2.** Especies maderables, cultivos transitorios, forrajeras y barreras vivas adaptables para la zona en la cual se ubica la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.

Recuperado y adaptado de Ramachandran (1993) y Uribe et al. (2011).

<b>Especies maderables</b>	<b>Especies forrajeras</b>	<b>Especies para barreras vivas</b>
<i>Delonix regia</i> (Bojer) Rafl.	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Acacia mangium</i> Willd
<i>Terminalia catappa</i> L.	<i>Pithecellobium saman</i>	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.
<i>Ochroma lagopus</i> Sw.	<i>Erythrina edulis</i> Triana	<i>Montanoa quadrangularis</i>
<i>Schizolobium parahybum</i> (Vell) Blake	<i>Cratylia argentea</i>	<i>Petrea rugosa</i>
<i>Chrysophyllum cainito</i> L	<i>Smallanthus riparius</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
<i>Cassia grandis</i> Lf	<i>Morus alba</i>	<i>Cithrarexylum kunthianum</i>
<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Trichanthera gigantea</i>	<i>Cratylia argentea</i>
<i>Anacardium excelsum</i> (Kunth) Skeels	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Cedrela odorata</i>
<i>Bauhinia purpurea</i> L	<i>Samanea saman</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>
<i>Cedrela odorata</i> L	<i>Entolobium cyclocarpum</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> Schott	<i>Heliocarpus americanus</i>
<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand	<i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Tecoma stans</i>
<i>Spondias mombim</i> L	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Maclura tinctoria</i>
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	<i>Erythrina glauca</i>	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill
<i>Jacaranda copaia</i> D. Don	<i>Albizzia lebeck</i>	<i>Mimosa trianae</i>

### **5.3. Marco geográfico**

#### **5.3.1. Departamento del Meta**

El territorio del departamento del Meta cuenta con una extensión de 85.770 kilómetros cuadrados, está localizado en la región centro-oriental de Colombia entre 1°32'30" y los 4°57'30" lat. norte y entre los 71°2'30" y 74°57'00" long, oeste de Greenwich, cuenta con una altura de que oscila entre 125 y 4000 metros, su temperatura promedio es de 30°C, su economía se basa principalmente en actividades agropecuarias, dentro de las cuales se destaca la ganadería y los cultivos de arroz, sorgo, maíz, caña de azúcar, plátano, yuca, cacao y algodón; el departamento se encuentra bañado por los ríos el Meta, Guayabero, Guayuriba, Ariari, Manacacías, Metica, Guamal, Humadea, Yucao, Upía y Humea (Gobernación del Meta, 2013).

#### **5.3.2. Granja Agroecológica UNIMINUTO - Villavicencio**

La granja agroecológica UNIMINUTO Villavicencio se encuentra ubicada en la vereda Barcelona. Sus coordenadas son latitud 4° 4'12.47"N; longitud 73°35'7.45"O. Perteneció al Sistema de Parques Nacionales Naturales como Reserva Natural de la Sociedad Civil. Maneja 17 cabezas de ganado de engorde utilizando sistema de producción semiestabulado. Actualmente posee sistemas productivos con huerta de cultivos de pan coger, banco de forraje y proteína. Tiene aves de postura, engorde y de campo, piscicultura con mojarra roja, cachama, carpa y peces ornamentales y finalmente porcicultura. Estos sistemas proveen material orgánico al biodigestor como fuente de energía alterna. Existe también un sistema agroforestal con especies de árboles frutales, coberturas vegetales y conservación de semillas nativas, en la Figura 1 se demarca el área muestreada para el desarrollo de la investigación (UNIMINUTO, 2015).



**Figura 1.** Vista área de la Granja Agroecológica UNIMINUTO (resaltándose en el recuadro blanco el área muestreada).

A continuación se muestran las especies forrajeras encontradas en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.

- Nombres común: Botón de oro

Nombre científico: *Tithonia diversifolia*

Familia: Compositae

Utilidad: Por su alto contenido de proteína y carbohidratos se usa como alimentación de rumiantes (Calle y Murgueitio, 2008).

- Nombre común: Kinggrass

Nombre científico: *Pennisetum purpureum* cv. king grass

Familia: Poaceae

Utilidad: Se utiliza como alimento para el ganado, se caracteriza por tener una buena producción de biomasa de buena calidad nutricional (Chacón y Vargas, 2009).

- Nombre común: Maralfalfa

Nombre científico: *Pennisetum* sp.

Familia: Poaceae

Utilidad: Se usa como forraje picado, heno y ensilaje para la alimentación de bovinos. Posee alta digestibilidad y altos contenidos de carbohidratos solubles (Clavero y Razz, 2009).

- Nombre común: Moringa

Nombre científico: *Moringa oleifera*

Familia: Moringaceae

Utilidad: Se usa como forraje fresco para la alimentación de ganado, tiene alto contenido de proteína y fibra (Folkar y Sutherlnad, 1996).

## **6. Métodos.**

### **6.1. Descripción del área de estudio**

El área de estudio se encuentra situada en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en la vereda Barcelona, cerca de la ciudad de Villavicencio, en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, la cual tiene una extensión de 5 Ha, los muestreos se llevaron a cabo en una extensión de 9.637 m<sup>2</sup> donde predomina el pasto *Brachiaria humidicola*. Se encuentra sobre los 460 msnm, con una temperatura promedio de 26°C. Se clasifica como bosque húmedo tropical de acuerdo a la zona de vida según Holdridge (Jaramillo, 2002).

### **6.2. Caracterización química, física y biológica de suelos**

#### **6.2.1. Caracterización química.**

Para el análisis químico de suelos, inicialmente se seleccionó el terreno a muestrear (Figura 1), teniendo en cuenta que tuviese características similares en cuanto a su geomorfología. Para extraer las submuestras de suelo se seleccionaron 20 puntos en zig-zag y en cada punto se procedió a abrir un hoyo de aproximadamente 10 cm de ancho x 10 cm de largo y 20 cm de profundidad, descartando los 2 primeros cm de suelo (Figura 2). Estas submuestras se homogenizaron en un balde previamente desinfectado y se dispuso una muestra final de 1 Kg en una bolsa plástica resellable etiquetada, con el número de lote, el nombre de la finca, uso actual, el tipo, cantidad de enmiendas y/o fertilizantes utilizados y fecha en que fue tomada (IGAC, 2015).

La muestra se llevó al laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, para su análisis químico, las características evaluadas y los métodos se observan en la Tabla 3. La interpretación de los resultados se realizó siguiendo las condiciones generales del IGAC (2015) y rectificadas por la interpretación de datos de Gómez (2005). Posteriormente se hizo una valoración de la fertilidad del suelo determinando los niveles óptimos, superiores o inferiores.



**A.**

**B.**

**Figura 2.** A) Toma de muestra compuesta por medio del uso del palín. B) Descarte de los 2 primeros centímetros de suelo.

**Tabla 3.** Métodos utilizados para la caracterización química del suelo por el Laboratorio de Suelos de IGAC.

Componente	Método	Condiciones específicas ó ambientales del método (Cuando aplica)
<b>pH</b>	Potenciométrico en agua o Naf	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Carbono orgánico</b>	Walkley Black (% p/v)	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Ácidoz intercambible</b>	Extracción con KCl 1N y cuantificación por volumetría	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%
<b>CIC (capacidad de intercambio cationico)</b>	Acetato de amonio 1 N pH neutro y cuantificación por volumetría y absorción- atómica	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Fósforo</b>	Bray II	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Textura del suelo</b>	Bouyoucos	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.

<b>Elementos menores (Magnesio, Hierro, cinc y cobre)</b>	Extracción con DTPA y cuantificación por absorción atómica	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Nitrógeno total</b>	Kjeldahl y titulación potenciométrica ó Combustión en Analizador	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.
<b>Boro disponible</b>	Extracción con agua caliente-cuantificación colorimétrica con Azometina H	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.

### 6.2.2 Caracterización física

Para llevar a cabo esta caracterización se tuvieron en cuenta las condiciones generales del suelo y las variaciones del paisaje, dentro de las cuales se encuentran altitud, posición relativa, clima, litología de las capas superficiales y características generales del suelo determinadas previamente con el uso del barreno. Con el fin de examinar y describir las características físicas del suelo, se seleccionó un lugar medio entre los cinco lotes analizados y se realizó una calicata con unas medidas aproximadas de 150 cm de ancho x 150 cm de largo y una profundidad de 90 cm (Figura 3) (Gonzales, et al., 2009).



A.

B.

**Figura 3.** A) Vista exterior de la calicata realizada para la determinación de las características físicas. B) Vista interior de la calicata.

Se hizo una descripción del perfil de suelo, empezando por identificar cada uno de los horizontes y en cada uno se determinaron características de estructura, color, profundidad de las raíces, textura, humedad gravimétrica, densidad aparente, porosidad, carbonatos libres y se hizo una valoración de la presencia de arcillas alófanas. Adicionalmente se determinó la capacidad de infiltración alrededor de la calicata.

A continuación se describen los procedimientos que se llevaron a cabo para la caracterización física:

### Descripción de perfil de suelo

- a) **Estructura.** Se determinó de acuerdo con FAO (2009). Se describió el grado, tamaño y tipo de los agregados según Tabla 4.

**Tabla 4.** Tipo, grado y clase de la estructura del suelo. Tomado y adaptado de FAO (2009).

<b>Tipo</b>	
Granular	Unidades pequeñas poliédricas regulares o esferoides dispuestos alrededor de un punto con sus tres dimensiones de tamaños similares.
Poliédrica	Caras intersectadas unas con otras, formando ángulos agudos.
Subpoliédrica	Poliedro de caras planas y redondeadas y carece de ángulos agudos.
Grumosa	Agregados pequeños, porosos y redondeados.
Prismática	Unidades verticalmente alargadas
Columnar	Unidades verticalmente alargadas con el extremo final alargado.
Laminar	Unidades horizontalmente alargadas
Particular	Se presenta cuando solo hay arena y no hay síntomas de agregación.
Masiva	No se presentan unidades estructurales, por esto tiende a ser una masa sin grietas y sin diferenciación de agregados.
Fibrosa.	No se presentan unidades estructurales, en este caso por fibras procedentes del material orgánico.
<b>Grado</b>	
Sin estructura	No existen agregados visibles, en caso de haberlos no se presentan un ordenamiento natural de las líneas.

Débil	Escasos agregados formados, difícilmente visibles,
Moderado	Agregados bien formados y diferenciados de duración moderada.
Fuerte	Agregados duraderos evidentes en suelos no alterados.
<b>Clase</b>	
a) Muy fino o muy delgado b) Fino o delgado c) Medio d) Grueso o espeso e) Muy grueso o muy espeso	

b) **Color.** Para la determinación del color del suelo se realizó una comparación directa con patrones preestablecidos en la tabla de Musell (Figura 4) (Valenzuela y Torrente, 2010).



A.

B.

**Figura 4.** A) Tabla de Munsell y gama de colores del suelo. B) Determinación del color del suelo mediante el uso de la Tabla Munsell.

c) **Profundidad de raíces.** Esta característica se determinó dentro de la calicata midiendo hasta donde llegaban las raíces del suelo y se clasificó el resultado utilizando la Tabla 5 (Bravo y Burbano, 2012).

**Tabla 5.** Clasificación de la profundidad de las raíces. Recuperado y adaptado de Bravo y Burbano (2012).

Clase	Profundidad (cm)	Descripción
1	<b>0-30</b>	Muy poco profundo
2	<b>30-60</b>	Somero
3	<b>60-90</b>	Profundidad moderada
4	<b>90-120</b>	Profundo
5	<b>&gt; 120</b>	Muy profundo

- d) **Textura.** Se realizó en el IGAC mediante la prueba de Bouyoucos y se corroboró mediante determinación al tacto usando la metodología descrita por la FAO (2009).
- e) **Densidad aparente.** Se utilizó la técnica del cilindro, en la cual se introdujo horizontalmente un cilindro biselado en el suelo en cada uno de los horizontes (Figura 5), posteriormente los cilindros y la porción de suelo en su interior se dejaron secar en una estufa a 65°C (Rojas, 2012). En seguida se permitió enfriar la muestra a temperatura ambiente, en este momento se aplicó la siguiente fórmula:

$$D_{Ap} \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{peso suelo seco (g)} \times 100}{\text{volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$



**Figura 5.** Cilindro de PVC conteniendo la muestra de suelo utilizada para la medición de la densidad aparente.

- f) **Densidad real.** Se determinó por el método del picnómetro, para ello se pesó el instrumento vacío y con ayuda de un embudo se agregó suelo previamente tamizado (en un tamiz con malla de 2 mm), hasta formar sobre el fondo una capa de aproximadamente de 1 cm de espesor, se pesó nuevamente y se agregó agua

hasta aproximadamente una tercera parte de su capacidad, se agitó cuidadosamente con el fin eliminar las burbujas de aire que quedaron retenidas entre las partículas de suelo. Para asegurar la completa extracción del aire se colocó el picnómetro con su contenido en un desecador por 2 minutos. Finalmente se llenó con agua nuevamente esta vez hasta el borde y se colocó el tapón en forma tal que no quedaran aprisionadas burbujas de aire en su interior (Henríquez y Cabalceta, 1999).

Se aplicaron los siguientes cálculos:

$$DR = \frac{B - (H.Higr. + A)}{E - (D - P)}$$

Donde:

- B: peso del picnómetro + suelo.
  - A: peso del picnómetro vacío.
  - E: peso del picnómetro + agua destilada.
  - D: peso del picnómetro + agua destilada + suelo.
  - B-A: peso del suelo seco.
- g) Porosidad.** Se calculó a partir de la densidad real y la densidad aparente (Ibañez et al., 2012). Se clasificó por medio la Tabla 6, a partir del resultado de la siguiente fórmula:

$$Pt (\%) = 100 - \frac{DA}{DR} * 100$$

**Tabla 6.** Clasificación de la porosidad del suelo. Tomado y adaptado de Mendoza (2009).

Denominación	Tamaño (mm)	Función
Poros grandes	1000-60	Aireación e infiltración
Poros medios	60-10	Conducción del agua
Poros pequeños (finos)	10-0.2	Almacenamiento agua útil
Sup. Higroscópica (m.finos)	<0.2	Retención agua higroscópica

**h) Carbonatos libres.** Se aplicaron gotas de HCl (ácido clorhídrico) al 10% a 10 gr de suelo, al mismo tiempo que se observaba el grado de efervescencia del gas de dióxido de carbono, este procedimiento se realizó para de identificar rocas sedimentarias que pueden ser el material parental del suelo o carbonatos como calcio, sodio y magnesio (FAO, 2009). La reacción se clasificará de acuerdo a la tabla 7.

**Tabla 7.** Clasificación de la reacción del carbonato en la matriz del suelo (FAO, 2009).

Clasificación de la reacción del carbonato en la matriz del Suelo			
N	0%	No calcáreo	No detectable visiblemente ni efervescencia audible
SL	0-2%	Ligeramente calcáreo	Se escucha la efervescencia pero no es visible
MO	2-10%	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
ST	10-25%	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma
EX	> 25	Extremadamente calcáreo	Reacción extremadamente fuerte. Se forma la espuma espesa rápidamente

**i) Arcillas alófanas.** Con el fin de identificar la presencia de cenizas volcánicas y características andicas, se dispuso una pequeña cantidad de suelo en papel filtro previamente remojado en fenolftaleína, en seguida se adicionaron gotas de 1M NaF (ajustado a pH 7,5). Al mismo tiempo se midió el pH de una suspensión de 1 gr de suelo en 50 ml 1M NaF (ajustado a pH 7,5) luego de 2 minutos. Si el pH es mayor a 9,5 el resultado es positivo (FAO, 2009).

## Humedad gravimétrica

La determinación de la humedad gravimétrica se hizo siguiendo la metodología de Bowles (2000), tomando 3 réplicas. En cada una de ellas se tomó una muestra de 40 gr de suelo del horizonte A, que se dejó en un contenedor y se dispuso en un horno a 65°C, después de que la muestra se secó en su totalidad, se sometió a enfriamiento a temperatura ambiente, se determinó su peso en seco y se aplicaron los siguientes cálculos:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

En donde:

W = es el contenido de humedad, (%)

WW = Peso del agua WS = Peso seco del material

W1 = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos

W2 = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos

Wt = es el peso de tara, en gramos

## Capacidad de infiltración.

Se midió utilizando un infiltrómetro en tres lugares distintos, separados por 10 m y formando un triángulo (Figura 6). Durante 2 horas aproximadamente, y en los minutos 1, 2, 4, 6, 10, 20, 30, 60 y 120 se tomó la medida del agua que fue absorbida por el suelo (Figura 6- B), (Marano, s,f). Posteriormente se siguió la metodología propuesta por Forero (2000) para la interpretación de los resultados, la cual se basa en el desarrollo de la siguiente fórmula:

$$i = a * t^b$$

Donde:

i= Infiltración acumulada (cm).

t= Tiempo de infiltración en (h).

a= Coeficiente el cual representa la velocidad de infiltración a t=1.



A.

B.

**Figura 6.** A) Infiltrómetro lleno de agua. B) Medición del agua con el uso del infiltrómetro.

Posteriormente se procedió a clasificar de acuerdo con la tabla propuesta por Instituto Colombiano Agropecuario (1989) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Clasificación de la infiltración en función de su velocidad de entrada.

Denominación	Cm/h
Muy rápida	>25.4
Rápida	12.7-25.4
Moderadamente rápida	6.3-12.7
Moderada	2-6.3
Moderadamente lenta	0.5-2
Lenta	0.1-0.5
Muy lenta	<0.1

### 6.2.3. Caracterización biológica

La caracterización biológica del suelo se dividió en tres etapas: 1. Macrofauna, 2. Mesofauna y 3. Microfauna.

#### 6.2.3.1. Determinación de macrofauna.

La determinación de la macrofauna se realizó por medio del protocolo de muestreo propuesto por el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF, por sus siglas en inglés), que consiste en el análisis de monolitos extraídos del suelo con

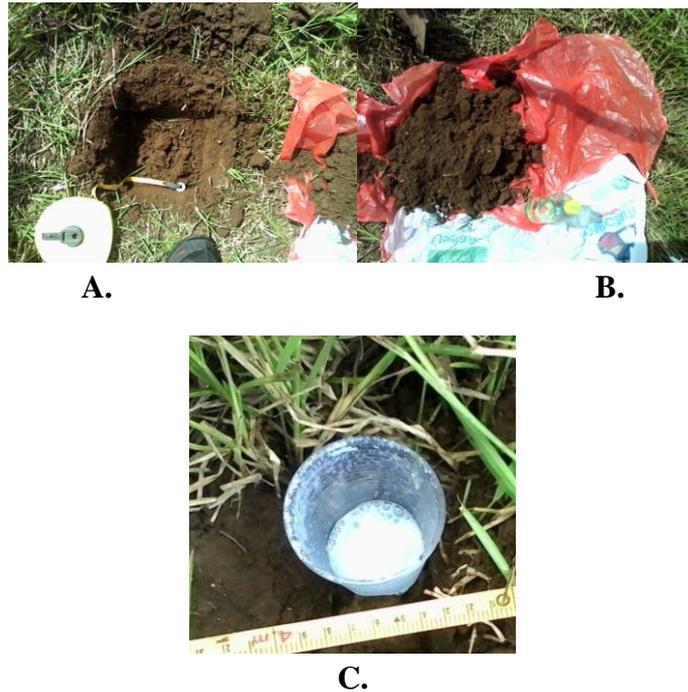
dimensiones 25 cm de ancho x 25 cm de largo y 30 cm de profundidad, dividido en 3 capas de 10 cm cada una, con el fin de sustraer y analizar, la macrofauna encontrada por cada subnivel. Se establecieron 5 puntos en cada uno de los 5 lotes dispuestos actualmente para la ganadería en la granja, para un total de 25 monolitos analizados (Figura 7-A) (Anderson e Ingram, 1993 y Lavelle 2003).

Esta metodología fue complementada mediante el análisis de 5 trampas de caída o pitfall (1 en cada uno de los lotes) dispuestas a ras del suelo con medidas de 10 cm de diámetro y una profundidad de 6 cm, cada una distanciada a 4 m. Las trampas contenían en el fondo agua con detergente diluido, con el fin de romper la tensión superficial y facilitar que la fauna muriera más rápidamente por agotamiento (Figura 7-C), estas trampas se colocaron antes del amanecer y se recogieron 24 horas después (Varela, Rueda, & Munevar, 2010).

Después de obtener la macrofauna de los monolitos y de las trampas pitfall se dispuso en frascos con alcohol al 75% para su conservación, transporte y correspondiente identificación en el Laboratorio de Biología y Química de la Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO.

Para la identificación se utilizó un estereoscopio donde se observaron las características dicotómicas de las familias de los insectos colectados y con la ayuda de claves taxonómicas se realizó la descripción hasta familia. Se utilizaron las claves propuestas por Mackay y Mackay (2009) para Hymenoptera; Gaju, Bach y Molero (2015) para Isoptera; Medina y Lopera (2000) para Coleoptera; Rengifo y Gonzáles (2011) para Hemiptera; García et al. (2015) para Lepidoptera, Talavera (1990) para Haplotoxida. Posteriormente se calculó la densidad de insectos encontrados en cada monolito, haciendo una extrapolación de recuentos de individuos por cada m<sup>2</sup> de acuerdo a los métodos propuestos por Gillen, Soto y Springer (2006), con el fin de estimar el número de individuos que se encuentran en el terreno y de esta manera determinar el efecto que ocasiona cada familia en el suelo en estudio.

Por último, los individuos encontrados se clasificaron de acuerdo al grupo funcional, permitiendo de esta forma organizar la información obtenida e identificar los nichos ecológicos que se llevan a cabo en el sistema edáfico de la Granja Agroecológica UNIMINUTO.



**Figura 7.** A) Monolito para la determinación de macrofauna. B) Muestra para la observación de macrofauna. C) Trampas de caída o pitfall.

#### **6.2.3.2. Determinación de mesofauna.**

Esta etapa se llevó a cabo por medio de la toma de muestras de 5 monolitos del suelo de 10 cm de ancho x 10 cm de largo y 10 cm de profundidad, distribuidos alrededor del terreno seleccionado (Figura 8-A). Con la ayuda de un palín se tomó una muestra al azar por cada lote y se depositó en bolsas de tela para su posterior transporte al laboratorio. Para la extracción de la mesofauna, se utilizó un embudo de Berlese-Tullgren con una fuente de luz y calor, disponiendo cada uno de los monolitos durante 3 días (Figura 8-B). Pasado este tiempo se realizaron conteos y separación de individuos con la ayuda de un estereoscopio, posteriormente fueron conservados en alcohol al 70% para su identificación. Para la identificación taxonómica se utilizó la clave propuesta por Mesa (1999) para ácaros y la clave propuesta por Ospina et al. (2003) para collembola, en ambos casos se llegó hasta la categoría taxonómica de orden. Los datos obtenidos fueron extrapolados por metro cuadrado (Bedano et al., 2011).



**A.**

**B.**

**Figura 8.** A) Muestra de suelo para embudo de Berlesse. B) Embudo de Berlesse en funcionamiento.

### **6.2.3.3. Determinación de microfauna**

En la tercera etapa del estudio biológico se realizó el recuento de microorganismos asociados a algunos grupos funcionales en el suelo, principalmente proteolíticos, celulolíticos, amilolíticos, solubilizadores de fosfato, fijadores de nitrógeno y micorizas. Para esto se abrió con una pala un hoyo de aproximadamente de 10 cm de ancho x 10 cm de largo y 20 cm de profundidad (Figura 9-A) y se tomó una muestra compuesta de suelo rizosférico. Este procedimiento se realizó en 20 puntos seleccionados en zig-zag obteniendo de cada uno de estos puntos una submuestra, las cuales se homogenizaron en un balde desinfectado previamente (Figura 9-B). Se empacaron 500 gr obtenidos de las submuestras homogeneizadas en bolsas plásticas con cierre hermético y se marcaron con la respectiva información de la Granja (Franco, 2008). Posteriormente se transportaron al Laboratorio de Biología y Química de la Corporación Universitaria Minuto de Dios –UNIMINUTO- con temperatura de 4 y por un tiempo de almacenamiento máximo de 48 horas.



**A.**

**B.**

**Figura 9.** A) Toma de muestra por medio del uso del palín. B) Muestra compuesta.

Para el análisis de laboratorio se realizaron recuentos en placa para cada uno de los grupos funcionales, utilizando medios de cultivos selectivos, por medio de la siembra en superficie para cada uno de estos (Beltran, 2013). Posterior a este proceso se cuantificó el número de unidades formadoras de colonia (UFC) utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Total de UFC} = \text{No UFC} \times C/PS$$

Dónde: No UFC = número de UFC observado en el plato, C = concentración de la dilución y PS = peso seco de la muestra de suelo.

### **Recuento de microorganismos celulolíticos, amilolíticos y proteolíticos.**

Los procedimientos se llevaron a cabo siguiendo la propuesta metodológica de Martínez et al. (2010).

Con el fin de determinar la actividad hidrolítica de microorganismos descomponedores de celulosa, almidón y proteínas, se pesaron 10 gr de muestra de suelo y se adicionaron a 90 mL de agua peptonada al 0,1% (m/v). Se realizaron 3 réplicas de diluciones desde  $10^{-3}$  a  $10^{-9}$ . Se sembraron 0.1ml en superficie sobre Agar Almidón (Anexo 1); Agar celulosa y Agar leche (Anexo 1). Posteriormente las cajas inoculadas se incubaron a 28.5 °C durante 48 horas, y se procedió a seleccionar las cajas de las diluciones que presentaron entre 30 y 300 colonias, de las cuales se cuantificó y extrapoló a  $m^2$ . Cabe aclarar que para la determinación de microorganismos amilolíticos y celulolíticos se adicionaron sobre las cajas seleccionadas 5 ml de lugol, se distribuyó sobre toda la caja y se esperaron 5 minutos

para retirar el exceso. A continuación, se realizó el recuento de las colonias que presentaron halos de hidrólisis a su alrededor.

### **Recuento de microorganismos solubilizadores de fosfato y fijadores de nitrógeno de vía libre.**

Para el recuento de microorganismos solubilizadores de fosfatos y fijadores de nitrógeno se utilizó el método de recuento en placa, se pesaron 10 gr de muestra de suelo y se adicionaron a 90 mL de agua peptonada al 0,1% (m/v) posteriormente se realizaron diluciones seriadas en solución salina estéril (0,85%). Para los microorganismos solubilizadores de fosfato se utilizó el medio de cultivo de Sundara y Sinha, enriquecido con fosfato tricálcico (Anexo 1) y para los microorganismos fijadores de nitrógenos se utilizó el medio Ashby (Anexo1). Tanto para solubilizadores de fosfato como fijadores de nitrógeno se realizaron diluciones de  $10^0$  hasta  $10^{-10}$ . Se realizó el conteo de colonias y se extrapolo a  $m^2$ .

### **Recuento de número de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA).**

Se tomaron 10 submuestras de 50 g de suelo rizosférico a una profundidad de 20 cm y se mezclaron hasta homogenizar. Posteriormente en la fase de laboratorio se utilizó la técnica de extracción de micorrizas con gradiente de sacarosa propuesta por Sieverding (1983), en donde se procedió a separar las esporas del suelo. El recuento se realizó por triplicado.

Se tomaron 20 g de suelo y se dispusieron en tamices de 500  $\mu m$ , 250  $\mu l$ , 125  $\mu m$  y 45  $\mu m$  (Figura 10-A). Las muestras de los últimos dos tamices (125 y 45  $\mu m$ ), se dispusieron en tubos falcón de 50 ml con una solución de sacarosa (Anexo 3). Las muestras fueron centrifugadas a 3350 rpm durante 3 minutos (Figura 10-B). A continuación se introdujo una jeringa para retirar el material limpio de suelo y se dispuso en cajas de petri para su conteo mediante el uso de un estereoscopio. El resultado del recuento se extrapolo a  $m^2$ .



A.

B.



C.

**Figura 10.** A) Tamices utilizados para la extracción de micorrizas. B) Suelo tamizado a 45  $\mu\text{m}$ . C) Centrifuga con los tubos contenedores de la muestra de suelo.

#### 6.4. Análisis de datos.

A continuación se describen los análisis estadísticos realizados a partir de los resultados obtenidos en macrofauna y mesofauna. Para identificar diferencias entre los individuos encontrados en cada una de las capas de suelo se realizó un análisis de varianza ANDEVA no paramétrica y comparación de la relación varianza/media. Por otro lado el test de normalidad se realizó utilizando “Kolmogorov-Smirnov” para las familias de macrofauna encontradas ( $P < 0,001$ ). Posteriormente se realizaron pruebas de correlación de Spearman, con el fin de observar la relación entre grupos de familias de macrofauna, y se determinó la manera en que se agrupan las familias de macrofauna en el terreno por medio de la relación Varianza/Media ( $P > 0,05$ ).

Se establecieron las relaciones poblacionales entre los grupos taxonómicos de mesofauna de la presente investigación y de dos (2) trabajos que cuenta con condiciones similares a la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

Finalmente se hizo una comparación de las proporciones de individuos obtenidas entre macro y mesofauna. Para macrofauna se utilizó el primer nivel de suelo ( 0-10 cm), teniendo en cuenta las medidas de los monolitos para la mesofauna, de la cual se tomaron todos los datos obtenidos, los datos se proyectaron a 25 muestras.

### **6.5. Lineamientos para el establecimiento de sistemas agroforestales en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio**

Para el establecimiento de los lineamientos se adecuó la metodología planteada por Somarriba (2009) la cual incluye una caracterización biofísica del sitio, teniendo en cuenta el espacio de la Granja, las condiciones ambientales, las características edáficas y las especies establecidas.

Para el desarrollo de esta metodología (Somarriba, 2009) en primera instancia se investigaron las condiciones ambientales generales de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, en seguida se evaluaron los resultados encontrados en la caracterización edáfica y se identificaron las especies que ya se encuentran establecidas en la finca. A continuación se realizó una entrevista a los responsables y técnicos de la Granja, cuyo objetivo fue conocer detalladamente el manejo que se le ha dado al suelo para su preparación, los insumos, maquinaria y mano de obra utilizada. Con la información recolectada se buscó relacionar el manejo del suelo con los resultados encontrados en la caracterización del suelo. A partir de la obtención de la información, se procedió a la preselección de especies vegetales, para el diseño del arreglo forestal, que incluye especies arbóreas, barreras vivas y forrajeras, que podrían acompañar a *B. humidicola* en la Granja Agroecológica, y se organizó una propuesta de diseño agroforestal.

El punto final fue la organización de un grupo focal con la participación de actores clave (tomadores de decisión, técnicos de la granja y expertos en el tema), en donde se evaluó la propuesta de sistema agroforestal, se establecieron cambios pertinentes, en función de las necesidades de la finca y se estudió la viabilidad de su implementación.

## 7. Resultados y discusión.

### 7.1. Caracterización química

#### Reacción del suelo.

**pH.** Se encontró un pH de 5,3, es decir fuertemente ácido (Tabla 9), siendo un nivel común en la zona de estudio, teniendo en cuenta que el pH óptimo para las plantas debe estar entre 6,6 y 7,3 (IGAC, 2005; Espinoza et al., 2012). Los pastos pertenecientes al género *Brachiaria* soportan un rango alto de acidez, sin embargo esta condición puede dificultar la absorción de nutrientes esenciales, como consecuencia de la alta fijación de los elementos, lo que los lleva a formar compuestos insolubles (Sánchez, 2007). Con la reducción de la acidez, se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo (Casierra y Aguilar, 2007). El pH encontrado favorece la propagación de macroorganismos de la familia *Melonthoidae*, trayendo consecuencias negativas para la planta, debido a que estos individuos son rizófagos (Morón et al., 2014).

En cuanto a los procesos microbiológicos, un nivel alto de acidez podría debilitar la estructura de agregados del suelo que favorecen la aireación y el movimiento de agua lo que aumenta la escorrentía y disminuye la lixiviación (Pedraza et al., 2010; Jaramillo, 2002), además ocasiona la disminución de los contenidos de bases intercambiables, y de los microelementos.

**Acidez intercambiable.** En cuanto a la acidez intercambiable se ha demostrado que el valor óptimo para la producción agrícola se encuentra por debajo de 0,3 cmol/kg, cuando el valor es mayor a 1 cmol/kg se considera muy alto, a partir de este valor se calcula el porcentaje de saturación de acidez intercambiable cuyo límite de tolerancia para las plantas es del 60% y preferiblemente se debe encontrar entre el 10 y el 25% (Molina, 2002). Como se muestra en la Tabla 9 el valor encontrado en el suelo de la granja Agroecológica UNIMINUTO para la acidez intercambiable fue de 1,9, lo que equivale a un porcentaje de saturación de 44,1%. Este valor puede ocasionar problemas en el crecimiento de las plantas, debido a que la acidez intercambiable corresponde al aluminio y el hidrogeno intercambiables en la solución del suelo, que son los que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas (Casierra y Aguilar, 2007).

**Carbono orgánico.** Los niveles óptimos para carbono orgánico oscilan entre 1,2 y 2,3 % (IGAC, 2015). Por lo anterior y teniendo en cuenta el clima cálido y el epipedon ocríco, el nivel de carbono orgánico (C.O.) encontrado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (2,9%) es un nivel alto (Tabla 9). Este resultado tiene relación directa con la densidad de macroorganismos detritívoros (31,2 ind/m<sup>2</sup>) y las características físico-químicas, ya que como afirman varios autores (Martínez et al., 2008; Jaramillo, 2002) el carbono orgánico tiene alta influencia en el pH del suelo, esto se debe a que cuando el pH es ácido, este tiende a aumentarlo. Además ocasiona cambios en la estructura, entre mayor sea la cantidad de carbono orgánico mayor será el tamaño de agregados, aumenta la capacidad de infiltración y la tonalidad será más oscura, lo que permite la estabilidad y mejoramiento de las condiciones biofísicas del suelo.

Cabe mencionar los resultados obtenidos por Zerbino et al. (2008), lo cuales corresponden a 2,53% de carbono orgánico y 38 ind/m<sup>2</sup> de macrofauna y en donde se determinó una relación positiva entre la densidad de macroorganismos detritívoros del suelo y el porcentaje de carbono orgánico en pastos con un tiempo de descanso de 9 años. Así entre mayor sea la cantidad de macroorganismos y el periodo de descanso, mayor será el porcentaje de carbono orgánico, por lo cual el porcentaje de carbono orgánico en la Granja Agroecológica UNIMINUTO se relaciona con la cantidad de individuos (1188,8 ind/m<sup>2</sup>) y el tiempo de descanso (2 años).

Los valores de carbono orgánico también se relacionan con la cantidad de mesofauna, las enmiendas aplicadas y el tiempo de descanso del terreno. (Cabrera, 2008). Es así como en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, el valor de carbono orgánico también podría estar relacionado con la fertilización a base bovina (aplicándose un total de 2 toneladas cada dos años) y con el año de descanso del terreno.

**Tabla 9.** Interpretación de la reacción del suelo.

<b>Reacción del suelo</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Nivel de interpretación</b>
<b>pH</b>	5,3	Fuertemente ácido
<b>Acidez intercambiable cmol/kg</b>	1,9	Alto
<b>Saturación de acidez intercambiable (%)</b>	44,1	Alto
<b>Carbono orgánico (%)</b>	2,9	Alto

**Cationes intercambiables.** La CICE es indicador de capacidad del suelo para retener nutrientes, cuando se encuentra por debajo de 5 cmol/kg se considera que el suelo tiene baja fertilidad y cuando es mayor a 12 cmol/ kg altamente fértil (Departamento de agricultura de Estados Unidos, USDA, 2006). En el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) fue de 4,31 cmol/kg, por lo tanto, se encuentra en condiciones inadecuadas para el sistema edáfico y es un indicador de baja fertilidad, como consecuencia de los niveles bajos de calcio, magnesio y aluminio (Tabla 10). Uehara y Keng (1974) encontraron una relación entre la textura arcillosa, el hierro y el aluminio del suelo con la CICE, cuando estas aumentan, el CICE tiende a aumentar, fenómeno que puede estar ocurriendo en la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

**Tabla 10.** Interpretación de los cationes intercambiables.

<b>Cationes intercambiables</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Nivel de interpretación</b>
<b>CICE</b>	4,31	Bajo
<b>K (Cmol (+)/kg)</b>	0,21	Ideal
<b>Ca (Cmol (+)/kg)</b>	1,8	Bajo
<b>Mg (Cmol (+)/kg)</b>	0,38	Bajo
<b>Na (Cmol (+)/kg)</b>	0,02	Ideal
<b>Al (Cmol (+)/kg)</b>	1,9	Bajo

**Saturación de cationes.** Los porcentajes de calcio y magnesio encontrados en el suelo de la Granja Agroecológica UNIMINUTO no son los adecuados para el desarrollo de una planta, ya que como menciona el IGAC (2015) los niveles óptimos para el suelo se deben encontrar en 1.5 a 5.5 % para el potasio, 1,0 a 4,0% para el calcio, 0,25 a 1,0% para magnesio y 0,25 a 1,0 % para sodio.

Para explicar el valor encontrado en la saturación de cationes en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, se hace necesario retomar el pH, ya que se encuentran relacionados de manera directa. Lo adecuado para la saturación de cationes es que el pH se encuentre en 7, es decir estado neutral, y no fuertemente ácido debido a que en este punto la saturación no llega a un 100%, lo que indica que se encuentran iones de hidrogeno en los coloides, dificultando la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Krull et al., 2004).

**Tabla 11.** Interpretación de la saturación de cationes

Saturación de cationes (%)		
Parámetro	Valor	Nivel de interpretación
K (%)	4,9	Ideal
Ca (%)	41,8	Exceso
Mg (%)	8,8	Exceso
Na (%)	0,46	Ideal

**Sodicidad.** A partir de los valores de la relación del sodio con la capacidad de intercambio catiónico efectivo, se interpreta que los niveles sodicidad del suelo en la Granja Agroecológica UNIMINUTO son óptimos (Tabla 12). Es importante mantener el suelo en estas condiciones, debido a que el exceso de salinidad puede aumentar el poder matricial del suelo, aumentando la tensión y ocasionando que a la planta se le dificulte absorber agua del suelo (Jaramillo, 2002). La sodicidad se relaciona con la capacidad de infiltración, pues al presentarse condiciones normales de sodio, los electrolitos no reducen la doble capa difusa, viéndose beneficiado de esta forma la infiltración y por ende el riesgo de que se presenten inundaciones o encharcamientos en la zona de plateo de la planta va a ser menor (Mata et al., 2014).

**Tabla 12.** Interpretación de la sodicidad

Sodicidad		
Parámetro	Valor	Nivel de interpretación
Na (%)	0,46	Suelo normal

**Contenido de materia orgánica.** En los resultados obtenidos en la granja Agroecológica UNIMINUTO, se reporta 5,0% (Tabla 13), lo que resulta ser un indicador positivo para el suelo, ya que los rangos de la materia orgánica se clasifican como menos de 2% de materia orgánica bajo contenido, y de 2 a 5% contenido intermedio y superior a 5% valor adecuado (Molina, 2002). Este valor se debe a la textura arcillo-arenosa, la temperatura de 22°C y al tiempo de descanso del sistema edáfico. La cantidad de materia orgánica encontrada en la presente investigación, trae beneficios en el sistema edáfico, principalmente en las características físicas como la infiltración, porosidad, estructura, textura, color y en las características químicas como la disponibilidad de nutrientes (Matus y Maire, 2000).

Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejorarán el estado de otras características, como el color, el cual va tomar tonalidades más oscuras, aumentando

la absorción de radiación y optimizando los procesos químicos allí se llevan a cabo. Otra de las características que se ven afectadas positivamente es la humedad, entre mayor sea la cantidad de materia orgánica mayor va a ser la capacidad del suelo para almacenar agua, lo cual explica el valor de la humedad gravimétrica encontrada en esta investigación (44,49%) (Jaramillo, 2002).

En cuanto al efecto de la materia orgánica en la estructura, el suelo va tender a formar agregados esferoidales y estables, mejorando la aireación, la porosidad, la permeabilidad y la velocidad de infiltración. El contenido de materia orgánica tiene una relación directa con la porosidad la cual se ve aumentada en periodos de descanso de más de 1 año, esto se debe a que permite que la fauna del suelo lleve a cabo sus funciones estructurales (Wing-Ching et al., 2009).

**Tabla 13.** Interpretación de la materia orgánica

Valor		
Parámetro	Unidad	Nivel de interpretación
Materia orgánica (%)	5.0	Adecuado

**Relaciones catiónicas.** Como se observa en la Tabla 14 la única relación en condiciones ideales es la de calcio-magnesio, mientras que las demás se encuentran en condiciones desfavorables para las plantas, en el caso de magnesio-potasio se encuentra en desequilibrio debido a la deficiencia de magnesio. Como consecuencia de la deficiencia de calcio las relaciones calcio-potasio, calcio-magnesio-potasio y calcio-boro no están en condiciones ideales. Por otra parte la relación hierro-magnesio esta en desequilibrio, debido a la deficiencia de magnesio lo cual ocasiona que tanto el hierro como el magnesio no estén en disposición para la planta. A sí mismo la deficiencia del zinc ocasiona que la relación entre el potasio- zinc no sea adecuada (IGAC, 2015). Estos resultados tienden a ser negativos para el suelo, debido a que las proporciones de estos elementos generan que la planta cuente con los nutrientes necesarios para su desarrollo en las cantidades necesarias, gracias a que cada uno de estos elementos cuenta con iones intercambiables que permiten la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para la planta (Sadeghian, 2012).

**Tabla 14.** Interpretación de las relaciones iónicas

Relaciones iónicas		
Parámetro	Valor	Nivel de interpretación
Ca/Mg (cmol (+)/kg)	4,74	Ideal
Mg/k (cmol (+)/kg)	1,81	Deficiencia de magnesio
Ca+Mg/K (cmol (+)/kg)	10,38	Deficiencia de calcio y/o magnesio
Ca/B (cmol (+)/kg)	180	Deficiencia de calcio
Fe/Mn (cmol (+)/kg)	50,8	Deficiencia de magnesio
P/Zn (cmol (+)/kg)	12,8	Deficiencia de Zinc

**Macronutrientes.** De acuerdo con el IGAC (2015) y Semarnat (2000) tanto el nitrógeno (0,18%), fósforo (0,21 cmol/kg) y potasio (3,2cmol/kg) se encuentra en niveles inadecuados para el sistema edáfico, ya que el rango adecuado para el nitrógeno va desde 0,2 hasta 0,75 %, para el fósforo mayor a 40 cmol/kg y para el potasio la cantidad de cmol/kg debe ser mayor a 4,0.

**Nitrógeno.** En la presente investigación se encontraron valores de 0,18% para nitrógeno, lo cual resulta ser un valor medio, teniendo en cuenta que menos de 0,10 es un valor bajo, entre 0,10 y 0,20% medio y mayor a 0,20 alto (IGAC, 2015).

Por otra parte Travieso et al. (2005) encontraron en humedales convertidos a pastizales que el nitrógeno se encuentra en niveles óptimos en relación con el carbono orgánico y en niveles inadecuados en relación con el pH, aseguran que esto se debe a que la actividad microbiana se ve limitada por el pH ácido y por ende la mineralización se afecta negativamente. El valor de nitrógeno hallado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (0,18%) es menor a lo encontrado por Travieso et al. (0,4%) y a los rangos mencionados anteriormente, posiblemente por la afectación del pH y los niveles de carbono orgánico, por tal motivo los tres componentes deben ser mejorados de forma conjunta. Estos niveles pueden afectar negativamente la recuperación de las plantas, por el papel que desempeña en las reacciones bioquímicas, es por eso que se requiere de una aplicación de enmiendas, como gallinaza o porquinaza, con el fin de aumentar el contenido de este nutriente en el suelo de la Granja (Morón y Risso, 1994).

**Fósforo.** En *Brachiaria* spp. se han reportado niveles bajos de fósforo, relacionándose con el pH ácido del suelo (Oliveira y Machado, 2004), lo que coincide con lo encontrado en esta investigación. (Tabla 15). El valor del fósforo es importante en etapas fenológicas en las

cuales la planta tiene mayor actividad, gracias a que es constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, vitaminas, las coenzimas, NAD y NADP, y forma parte del ATP, compuesto almacenador de energía en la planta (Bernal et al., 2014). Por lo anterior la función del fósforo en el suelo resulta ser vital para las plantas y requiere de una regulación dentro del sistema edáfico.

**Potasio.** En cuanto al contenido de potasio encontrado en esta investigación, es similar a lo encontrado por Rincón y Ligarreto (2008) (0,10 %) en pastos, los autores afirman que los valores inferiores a 4 cmol/kg trae consecuencias negativas en el desarrollo de las plantas, debido a su importancia en el proceso de la fotosíntesis, y en la regulación del contenido de agua en las hojas. Por otra parte, la cantidad de actividad microbiana dificulta la disponibilidad de macronutrientes para la planta, a pesar de que en relación con el carbono orgánico se encuentra en niveles adecuados. Los resultados se relacionan además con la tasa de recambio de nutrientes, como consecuencia de la interacción y balance de los mismos en el suelo, por esta razón se tendrán consecuencias adversas para la producción de frutales en el aspecto de calidad del fruto, dentro de los cuales se resalta disminución en el tamaño, llenado incompleto y deformaciones (Bernal et al., 2014).

**Tabla 15.** Interpretación de los elementos mayores.

<b>Elementos mayores</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Nivel de interpretación</b>
<b>Nitrógeno total (%)</b>	0,18	Medio
<b>Potasio (cmol/kg)</b>	0,21	Medio
<b>Fósforo disponible (mg/kg)</b>	3,2	Bajo

**Micronutrientes.** Se encontró un exceso de hierro y manganeso, además de una deficiencia de cobre, boro y zinc, como se muestra en la Tabla 16 (IGAC, 2015; Semarnat, 2000). El exceso de hierro en el suelo puede ocasionar efectos negativos en la capacidad de absorción de luz solar por parte de la planta, además de interferir en la absorción de los demás nutrientes (Juaréz et al., 2008). El exceso de manganeso tiende a ser tóxico cuando se combina con una deficiencia de hierro, sin embargo cuando este microelemento se encuentra en exceso interfiere con las enzimas, disminuyendo la respiración, además de relacionarse con la destrucción de auxinas, las cuales regulan el crecimiento de la planta (Casierra y Poveda, 2005).

La deficiencia de cobre en la Granja Agroecológica UNIMINUTO se asocia con el contenido de materia orgánica (5,0%) y con la textura del suelo (franco arcillosa-arenosa) (Jaramillo, 2002). Sin embargo Bernal et al. (2014) mencionan que es normal encontrar este micronutriente en estado de deficiencia cuando la materia orgánica se encuentra en estado adecuado y en suelos con mayor porcentaje de arena que de arcillas y limos. Cabe destacar que el cobre se requiere prioritariamente en etapa de floración y su deficiencia puede ocasionar dificultad para absorber proteínas por parte de la planta

En cuanto a la deficiencia de zinc, Arenas (2010) afirma que es normal encontrar este elemento en bajas proporciones en suelos con contenidos de arenas mayores al 40% y con pH ácido, como es el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO con un contenido de arcilla del 47,2% y pH fuertemente ácido (5,3). La deficiencia de este elemento puede traer efectos negativos en el crecimiento del pasto, retardando su recuperación, debido a que regula el crecimiento de los meristemas a nivel de la raíz y parte aérea, al controlar la síntesis de triptófano regula la síntesis de la hormona del crecimiento conocida como ácido indolacético. Sin embargo para que este efecto tenga consecuencias importantes para el sistema debe combinarse con la deficiencia de nitrógeno (menos de 0,10%).

La deficiencia de boro encontrada en el análisis químico de la Granja Agroecológica UNIMINUTO se relaciona con la textura del suelo (franco arcillosa-arenosa), sin embargo en este caso es posible que se deba a la insuficiente actividad de la fauna del suelo, a pesar de que la materia orgánica se encuentra en condiciones adecuadas, ya que el boro es un microelemento que se mueve muy lento en el suelo, por esta razón necesita ser solubilizado por microorganismos (Bernal et al., 2014). La deficiencia de este nutriente puede traer consecuencias negativas para la planta como dificultar la formación de nuevas raíces, esto se debe a que es esencial para la síntesis de la pared celular y la integridad de las membranas plasmáticas (Alarcón, 2001).

**Tabla 16.** Interpretación de los elementos menores.

<b>Elementos menores</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Nivel de interpretación</b>
<b>Fe (mg/kg)</b>	127	Exceso
<b>Mn (mg/kg)</b>	2,5	Exceso
<b>Cu (mg/kg)</b>	0,9	Deficiente
<b>B (mg/kg)</b>	0,01	Deficiente
<b>Zn (mg/kg)</b>	0,25	Deficiente

## 7.2. Caracterización física.

**Descripción del perfil de suelo.** El área caracterizada abarca 9.637 m<sup>2</sup>, se encuentra a 460 m.s.n.m. y la temperatura promedio es de 26°C, está rodeado por pastajes con manejo convencional, una carretera, terreno sin trabajo (enrastrado), y colinda con frutales y especies forrajeras. La pendiente es nula, el relieve se clasifica como ligeramente ondulado, el sistema no cuenta con drenaje. Se observa el 70% del terreno sin erosión, el 30 % restante se debe al manejo y el uso, es antrópico. La vegetación que prima es el pasto *Brachiaria* sp. A continuación, en la tabla 17 se muestra la descripción del perfil de suelo.

**Tabla 17.** Descripción del perfil de suelo.

<b>Perfil</b>			
<b>Fecha</b>	13/01/2016		
<b>Localización geográfica</b>	Departamento	Meta	
	Sitio	Villavicencio- Vda Barcelona	
	Nombre del propietario	Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO	
	Nombre de la finca	Finca agroecológica UNIMINUTO Villavicencio	
<b>Altitud</b>	460 msnm		
<b>Fotografía</b>			
<b>Figura 11.</b> Calicata para la caracterización física del suelo.			
<b>Gran paisaje</b>	Piedemonte deposital	Tipo de relieve	Plano
<b>Paisaje</b>	Terrazas coluvia-Aluviales		
<b>Relieve</b>	Plano a ligeramente ondulado		
<b>Símbolo</b>	PVAa		

<b>Taxonomía del suelo</b>	Epipedón		Ocríco						
	Endopipedón		Oxíco						
<b>Pendiente</b>	Clase		2R						
	Rango		0-7%						
<b>Material parental</b>	Sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas medianamente alterados.								
<b>Clima edáfico</b>	Isomegatérmico								
<b>Drenaje</b>			Interno						
			Externo						
			Natural		x				
<b>Profundidad efectiva</b>	80 cm aprox.								
<b>Limite</b>	Lineal claro								
<b>Moteados</b>	Si	x	No			7.5 YR 7/8.	Porcentaje	HA	25%,
						7.5 YR 5/8		HB	35%,
						10 YR 3/4		HC	25%
<b>Estructura</b>	Clase		Grueso		Muy grueso				
	Tipo		Columnar		Firme				
<b>Uso actual</b>	Pasto <i>Brachiaria</i> ( <i>Brachiaria Humidicola</i> ) - Alimentación equinos.								
<b>Horizonte A Profundidad Se encuentra hasta los 12 cm.</b>	La textura que se encontró en el horizonte A consta de arena (47,2%), limo (22,8%) y arcilla (30%) (Franco- areno-arcilloso), con color negro Parduzco (10 YR 3/3) y un moteado amarillo al 25% (7.5 YR 7/8); no se observan cutanes; Presenta una estructura blocosa- bloque tamaño medio, con consistencia muy firme y grado moderado. La densidad aparente se encuentra en, la densidad real en 2,41 g/cm <sup>3</sup> lo que indica una porosidad del 50,2%. Reacción ligera al HCL (+), al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (+) y al Naf (+); Con alta presencia de raíces gruesas. Presenta un pH muy fuertemente ácido (5,3).								
<b>Horizonte B Profundidad. Se encuentra entre los 13cm y los 45 cm.</b>	Presenta una textura arcillo limosa; color café claro (10YR 4/4), moteado al 25% (7.5 YR 5/8) estructura blocosa con tamaño mediano. Consistencia en húmedo firme en un grado moderado, con abundantes poros finos. Densidad aparente de 1.8 g/cm <sup>3</sup> y una densidad real del 2,34 g/cm <sup>3</sup> , lo que indica una porosidad del 23,07%. Presenta además baja presencia de macrofauna; con reacción moderada al HCL (++) y al Naf (++) ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (+). Presenta un pH fuertemente ácido (5,6).								
<b>Horizonte C Profundidad Se encuentra entre los 45cm y los 90 cm.</b>	Color en húmedo café claro (10YR4/6), textura arcillo-arenosa, estructura columnar, gruesa y moderada, con grado fuerte. Consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica, abundantes poros finos, pocos medianos y gruesos, sin formaciones especiales. Densidad aparente de 1,9 g/cm <sup>3</sup> y una densidad real del 2,15 g/cm <sup>3</sup> , lo que indica una porosidad del 11,62%. No hay reacción al HCl, reacción muy ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (+) y al NaF (+). Límite claro y plano. Presenta un pH muy fuertemente ácido (5,1).								

El horizonte órico presenta colores del croma muy altos, tiende a ser muy delgado, presenta sequedad, es masivo y duro en seco. Sus valores de melánicos muy altos y no presenta una estructura de roca y no incluye sedimentos recientes finamente estratificados, ni puede ser un horizonte Ap que esté directamente encima de tales depósitos USDA (2006). El endopiedon óxico no presenta características ándicas de suelo, cuenta un espesor de 30 cm o más, una textura franco-arenosa, dentro de una distancia vertical de 15 cm y un incremento de arcilla con el incremento de la profundidad. Presenta  $7 < 16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  de arcilla y  $\text{CICE} < 12 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  de arcilla y menos de 10% de minerales meteorizables en la fracción de 0.2 a 0.05 mm de diámetro (Valdéz, 2011; Jaramillo, 2002).

Las características físicas y químicas tienen relación, como es el caso de la cantidad de carbono orgánico. Martínez et al. (2008) afirman que entre mayor es el contenido de carbono orgánico, mayor es el tamaño de los agregados. Encontraron además que una mayor estabilidad de los agregados está relacionada con una cantidad superior de materia orgánica, lo cual explica la estabilidad de la estructura del suelo en cuestión, como consecuencia de los niveles de carbono orgánico (2,9%) y de materia orgánica (5,0%).

**Densidad aparente y real.** Teniendo en cuenta la textura franco-areno-arcilloso hallada en esta investigación es posible afirmar que los valores de densidad aparente determinados ( $1,2 \text{ g/cm}^3$ ) y mencionados en la Tabla 17, están por debajo de lo adecuado para el sistema edáfico, ya que se consideran como valores altos para la densidad aparente, aquellos que sean superiores a  $1.3 \text{ g/cm}^3$ , en suelos con texturas finas (Cortés y Malagón, 1984). Por otra parte y en comparación con otras investigaciones, la densidad real ideal para un suelo es de  $2,65 \text{ g/m}^3$ , valores inferiores (hasta  $2.38 \text{ g/m}^3$ ) pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica y/o de aluminio-silicatos no cristalinos en el suelo, es decir que el valor de densidad real encontrado en la Granja ( $2,41 \text{ g/cm}^3$ ) es un indicador positivo de calidad de suelo (Jaramillo, 2002).

**Porosidad.** A partir de los resultados de densidad aparente ( $1,2 \text{ g/cm}^3$ ) y densidad real ( $2,41 \text{ g/cm}^3$ ), se determinó que la porosidad de 50,2% (Tabla 17), es óptima en comparación con otros resultados obtenidos en investigaciones realizadas en sistemas ganaderos, en donde hallaron una porosidad del 37,48%. Es posible que los resultados tanto de las investigaciones como de la Granja Agroecológica UNIMINUTO se relacionen con el peso de los animales que se encontraban anteriormente en el terreno y a la humedad gravimétrica del suelo (Wing-Ching et al., 2009). Una porosidad en las condiciones determinadas es un

referente de actividad biológica e indicador de un suelo apto para el correcto desarrollo de raíces y por ende de un sistema productivo.

Cabe aclarar que la compactación no siempre es un resultado negativo, Silva et al. (1986) encontraron que a medida que se disminuía la porosidad, aumentaba la capacidad de retención de agua. En relación con el suelo de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, es posible afirmar que la compactación se relaciona de forma positiva con la porosidad y la capacidad de infiltración, por lo cual es un indicador positivo de calidad de suelo, sin embargo se debe tener en cuenta que para un sistema complejo, como lo es un sistema silvicultural, se requiere del mejoramiento de la porosidad y capacidad de infiltración, disminuyendo de esta forma la compactación.

**Profundidad efectiva.** Por medio de la calicata se determinó que la profundidad efectiva del suelo es de 80 cm aproximadamente (Figura 13) lo que concuerda con Pérego (2009) donde registró una rofundidad efectiva óptima para *Brachiaria brizantha* entre 70 a 80cm. El valor encontrado se encuentra relacionado con la porosidad del 50.2 %, el tamaño mediano de los agregados y la capacidad de infiltración, lo cual indica que el resultado es adecuado para el desarrollo del cultivo. Martínez et al. (2008) encontraron que la profundidad efectiva tiene una relación directa con la porosidad, tamaño de los agregados y con la capacidad de infiltración, y con el carbono orgánico. Motivo por el cual es posible mencionar que el valor encontrado (80 cm) se debe a la porosidad del 50,2%, el tamaño mediano de los agregados y la capacidad de infiltración.



**Figura 12.** Profundidad efectiva del suelo.

**Humedad gravimétrica.** Al realizar tres replicas en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, se obtuvo un promedio de humedad gravimétrica del 44.49%, lo cual se relaciona con la proporción de arcillas (47,2%), la cantidad de materia orgánica (5,0%) y la cobertura vegetal (70%). Este resultado es mayor al reportado por Fiala (1991), el cual encontró una humedad entre el 30,3% y el 38,7% en pastizales con textura franco arcillosa-arenosa y con cobertura vegetal al 90%. Jaramillo (2002) menciona que la humedad gravimétrica se relaciona con el contenido de coloides (arcillas y humus), lo cual ratifica lo encontrado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

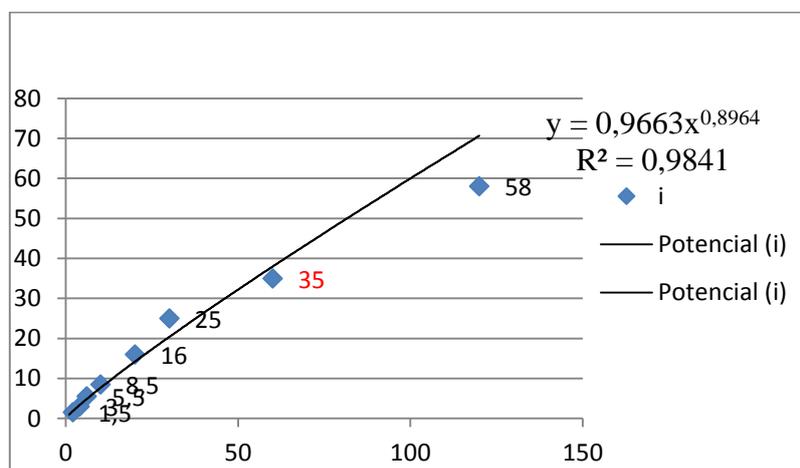
**Capacidad de infiltración.** Por medio del uso del infiltrómetro y al cabo de dos horas en cada uno de los tres puntos escogidos para la prueba, el suelo absorbió un total de 58 cm, como se muestra en la Tabla 18, lo que indica que el suelo posee una capacidad de infiltración moderadamente rápida. Por otro lado, en la Figura 13, se muestra la confiabilidad de los datos y el comportamiento logarítmico de la muestra, cabe resaltar que el ajuste del modelo  $R^2$  es igual a 0,98, lo que indica un ajuste al modelo del 98%.

La capacidad de infiltración aumenta con respecto a la cantidad de materia orgánica, sin embargo se ve afectada por el manejo y las practicas que en el se realicen. Por ejemplo, la cantidad de animales que se manejen en el predio y el tiempo de descanso, permite que los agregados retomen su forma, esto sucede principalmente en suelos con textura arenosa (Instituto Colombiano Agropecuario “ICA”, 1989; Aldea et al., 2007). En el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, el constante pisoteo de los bovinos afecto la capacidad de infiltración, sin embargo el tiempo de descanso y la cantidad de materia orgánica han permitido que la capacida de infiltración sea un factor positivo en el suelo.

La capacidad de infiltración también se relaciona con las condiciones normales de sodicidad y con el porcentaje de arena en sus primeros horizontes, lo cual permite que esta condición se vea mejorada (Mata et al., 2014; Hoyos et al., 2008).

**Tabla 18.** Capacidad de infiltración del suelo

INFILTRACIÓN				
Promedio de las tres muestras				
Minuto	Lectura de nivel	Diferencia entre niveles (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Infiltración inmediata
1	3			
2	4,5	1,5	1,5	0,8
4	6	1,5	3	0,75
6	8,5	2,5	5,5	0,71
10	11,5	3	8,5	0,68
20	19	7,5	16	0,63
30	28	9	25	0,6
60	38	10	35	0,56
120	61	23	58	0,52



**Figura 13.** Infiltración instantánea del suelo.

### 7.3. Caracterización biológica.

#### 7.3.1. Macrofauna

**Densidad.** La densidad total encontrada fue de 42,8 ind/m<sup>2</sup>, las comunidades de macrofauna halladas en el área de estudio comprenden 2 phylum, 2 clases, 7 órdenes y 9 familias (Tabla 19). Se recolectó un total de 105 individuos, de los órdenes Hymenoptera, Isoptera, Coleoptera, Hemíptera, Lepidoptera y Haplotoxida. Los individuos más representativos fueron: clase Diplopoda (29,91%) y familia *Lumbricidae* (28,97%), seguidos por las familias *Melolonthidae* (21,5%) y *Cydnidae* (14,02%), las demás familias no sobrepasaron

el (6%), como se muestra en la Tabla 19. Cabe destacar la presencia de las familias *Formicidae* y *Rhinotermitidae*, de las cuales se observa presencia de colonias alrededor de todo el terreno.

En investigaciones realizadas por Rodríguez et al. (2003) y Ramírez et al. (2014) en terrenos en los cuales predominaba *Brachiaria* spp., se halló que los principales órdenes que se encuentran son Blattodea, Coleoptera, Hymenoptera, Dermaptera, Haplotoxida, Isopoda y Chilopoda, siendo el orden Coleoptera y Haplotoxida los más representativos con densidades de 88,7 ind/m<sup>2</sup> (Sánchez, 2007). En comparación con los resultados obtenidos en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, se observa diferencias en cuanto a los órdenes, debido a que no se reporta la presencia de los órdenes Blattodea, Dermaptera ni Isopoda.

**Tabla 19.** Recuento de macrofauna.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Total	Porcentaje	ind.m2
<b>Atrophoda</b>	Insecta	Hymenoptera	<i>Formicidae</i>	Presencia		
		Isoptera	<i>Rhinotermitidae</i>	Presencia		
		Coleoptera	<i>Staphylinidae</i>	2	1,87	22,2
			<i>Elateridae</i>	3	2,8	33,3
			<i>Melolonthidae</i>	23	21,5	255,5
		Hemiptera	<i>Cydnidae</i>	15	14,02	166,6
Lepidoptera	<i>Noctuidae</i>	1	0,93	11,1		
<b>Annelida</b>	Clitellata	Haplotoxida	<i>Lumbricidae</i>	31	28,97	344,4
	Diplopoda			32	29,91	355,5
<b>Total</b>				107	100	1188,8

**Relación entre individuos de la macrofauna.** A partir de los recuentos se calculó la proporción entre grupos taxonómicos, con el fin de determinar si las relaciones poblacionales en el sistema suelo de la Granja Agroecológica UNIMINUTO benefician el sistema edáfico.

En la Tabla 20 se muestran las relaciones entre las familias encontradas en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, de estos resultados se resalta la superioridad proporcional de la familia *Lumbricidae* y de la clase Diplopoda frente a otros individuos, siendo este un resultado positivo, ya que indica estabilidad en el sistema edáfico, debido a que es imprescindible que la cantidad de organismos benéficos sea mayor que la de organismos dañinos, aumentando el tamaño de los poros y la cantidad de materia orgánica, convirtiendo

la estructura en granular y de grado débil, ya que aumenta la agregación y la disponibilidad de nutrientes (Villegas, 2012; Cabrera, 2012).

Así mismo se marca la superioridad de la familia *Melolonthidae* con respecto a las familias *Staphylinidae*, *Noctuidae*, *Cydnidae* y *Elateridae*. Este resultado podría considerarse como adverso, teniendo en cuenta la superioridad proporcional de esta familia frente a organismos detritívoros como *Cydnidae* y descomponedores como *Staphylinidae*, lo que podría conllevar efectos negativos, como la afectación de las raíces (Moron et al., 2014). Sin embargo cabe resaltar que poblaciones elevadas de estos individuos es común en pastajes que no hayan recibido una marcada transformación en su estructura en un tiempo menor a dos años como lo afirma Zerbino (2005). Posiblemente este sea el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

**Tabla 20.** Relación entre individuos pertenecientes a la macrofauna.

	<i>Lumbricidae</i>	<i>Noctuidae</i>	<i>Elateridae</i>	<i>Melolonthidae</i>	<i>Cydnidae</i>	Diplopoda
<i>Staphylinidae</i>	1:15,5	2:1	1:1,5	1:11,5	1:7,5	1:15
<i>Lumbricidae</i>	X	31:1	10,3:1	1,3:1	2,1:1	1:1
<i>Noctuidae</i>		x	1:3	1:23	1:15	1:30
<i>Elateridae</i>			x	1:7,7	1:5	1:10
<i>Melolonthidae</i>				x	1,5:1	1:1,3
<i>Cydnidae</i>					x	1:2

**Distribución espacial de la densidad de la macrofauna en el plano vertical.** A partir de la prueba ANDEVA con rangos K-W, se determinó la distribución vertical de las familias, identificándose diferencias ( $P < 0.05$ ) entre capas por cada uno de los monolitos (Anexo 4).

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en las familias *Lumbricidae* y *Elateridae*, con respecto al total de individuos encontrados, es decir que a medida que aumentó la profundidad se disminuyó la cantidad de organismos. No obstante no se observaron diferencias significativas en otras familias, por lo cual se estimó una distribución vertical homogénea hasta los primeros 30 cm en el suelo (Anexo 4).

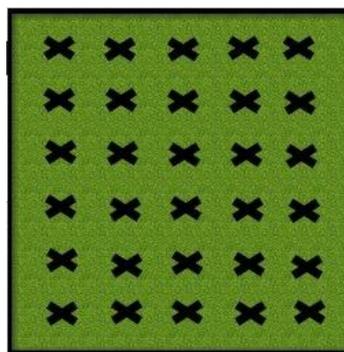
Este resultado se relaciona con las características físicas del suelo, las cuales fueron homogéneas en los primeros 30 cm. Estos resultados contrastan con lo reportado en diferentes investigaciones desarrolladas en pastos, ya que la mayor cantidad de individuos se presentan los primeros 10 cm y disminuye con relación a la profundidad, siendo la

cantidad de materia orgánica, la capacidad de infiltración, la textura y la estructura las principales razones de este comportamiento (Ramírez et al., 2014; Sánchez y Reyes, 2003; Rodríguez et al., 2003; Socarras e Izquierdo, 2014).

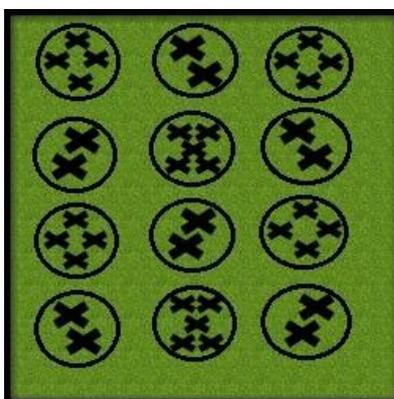
**Distribución espacial de la densidad de la macrofauna en el plano horizontal.** Para determinar de qué manera se encuentran distribuidas las familias en el terreno analizado se realizó el test de normalidad Kolmogorov- Smirnov ( $P < 0,001$ ) (Anexo 5), El análisis determinó que la población se encuentra distribuida de manera homogénea alrededor de todo el terreno. Con relación a lo anterior Zerbino et al. (2008) determinó una distribución similar a la encontrada al presente estudio, ya que halló que las familias edáficas tienden a estar distribuidas de manera homogénea en terrenos donde la vegetación no varía.

Por otra parte para determinar en qué forma se encuentran distribuidas las familias se realizó una prueba de Varianza/Media con significancia  $P > 0,5$ . Así se obtuvo que las familias *Staphilinidae*, *Lumbricidae*, *Noctuidae*, *Elateridae* y *Cydnidae* se encuentran distribuidos en forma de agregados en el terreno, mientras la familia *Melolonthidae* y la clase Diplopoda se encuentran distribuidos de forma uniforme alrededor de todo el terreno (Anexo 6). Debido posiblemente a las condiciones de adaptación de los individuos al terreno. Respecto a este tipo de distribuciones Sánchez y Reyes (2003) encontraron una distribución de individuos de forma agregada, que fueron relacionadas con la vegetación y a la capacidad de sombrero que ofrece la misma. Por tanto, en terrenos que ofrecen sistemas complejos con diferentes especies arbóreas y condiciones heterogéneas, generalmente se presentan distribuciones agregadas y en terrenos con vegetación homogénea, como es el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, las agrupaciones serán uniformes.

**Figura 14.** Distribución homogénea de la macrofauna.



**Figura 15.** Distribución en forma de agregados de la macrofauna.

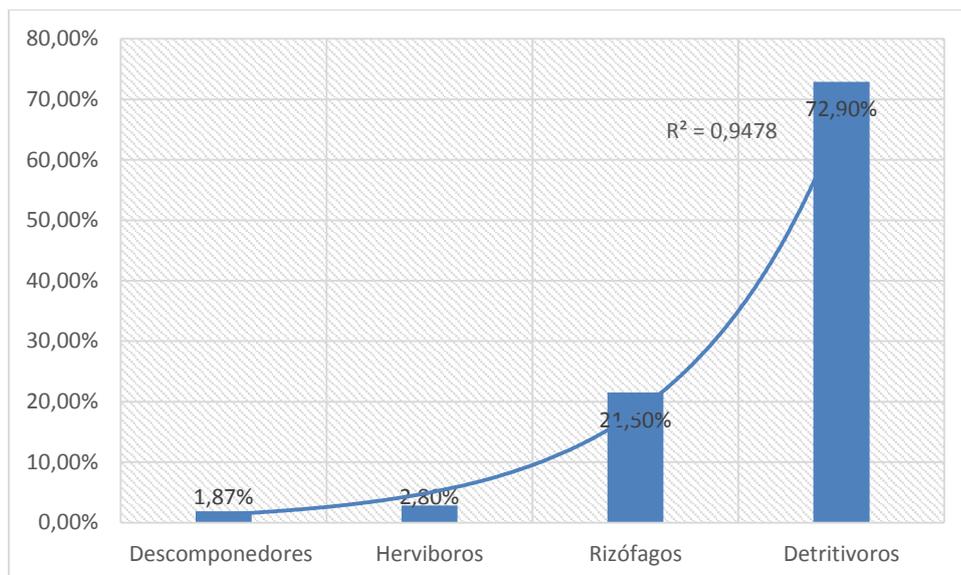


**Rol funcional de la macrofauna y su relación con las características físico- químicas del suelo.** Para clasificar la macrofauna de acuerdo a su rol funcional se utilizaron las propuestas de Zerbino (2005), teniendo en cuenta el nicho que desarrollan los individuos dentro del sistema suelo.

Teniendo en cuenta la función principal que desarrollan las familias en el suelo, se determinaron 4 grupos: descomponedores, detritívoros, herbívoros y rizófagos (Tabla 21). Como se muestra en la Figura 16, el grupo con mayor cantidad de individuos corresponde a los detritívoros abarcando el 72,9% del total, seguido por los rizófagos con 21,5%, y herbívoros con 2,8%. Zerbino (2005) encontró un total de 13 familias en un terreno en donde predomina el *Brachiaria* spp. los cuales fueron clasificados en 3 grupos: herbívoros (3,6%), detritívoros (81,1%) y depredadores (15,2%), estos resultados son similares a los encontrados en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, y como afirma Zerbino (2005) se deben principalmente al periodo de descanso del terreno, el cual corresponde a 2 años en ambos casos y su especie vegetal dominante (*Brachiaria* spp.).

**Tabla 21.** Clasificación de los individuos de acuerdo al rol funcional.

Función	Familia- Orden
Descomponedores	<i>Staphylinidae</i>
Detritívoros	<i>Lumbricidae, Cydidae,</i> Diplopoda
<b>Herbívoros</b>	<b><i>Elateridae</i></b>
Rizófagos	<i>Melolonthidae</i>



**Figura 16.** Porcentaje de grupos funcionales de la macrofauna.

**Descomponedores.** Este grupo funcional se destaca, como su nombre lo indica, por la descomposición de restos vegetales y animales, transformándolos en materia orgánica, favoreciendo así las condiciones físico-químicas del suelo (Brown et al., 2001). Por el rol funcional se determinó que la función principal de una de las familias es descomponedora.

- ***Staphylinidae.*** Con respecto a esta familia se encontraron 22,2 ind/m<sup>2</sup> en la Granja Agroecológica UNIMINUTO. Sanabria y Gutierrez (2008) mencionan que este resultado tiene relación directa con el uso del suelo, ya que son susceptibles a la labranza y al uso de pesticidas, por lo tanto es común encontrarlo en sistemas basados en pastos con densidades inferiores a 10 ind/m<sup>2</sup>, sin embargo el periodo de descanso del suelo puede ocasionar el incremento de la densidad de estos individuos en el suelo, por lo cual es posible que la densidad encontrada en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (22,2 ind/m<sup>2</sup>) se deba a los 2 años de descanso. Finalmente por la transformación de restos vegetales y animales en materia orgánica, se acepta a la familia *Staphylinade* como un indicador de calidad de suelo positivo (Chani-Posse, 2004).

**Detritívoros.** Son organismos que se alimentan de detritos, es decir plantas y animales en descomposición, ingiriendo y digiriendo la materia orgánica mediante procesos internos, de esta forma potencializan el ciclo de nutrientes (Brown et al., 2001). Se encontraron dos familias y una clase cuya función principal es detritívora.

- **Lumbricidae.** Como se muestra en la Tabla 20, se encontró una densidad de 344,4 ind.m<sup>2</sup> densidad superior a la reportada en sistemas de praderas con 2 años de descanso, donde se registran densidades de 312 ind/m<sup>2</sup> (Zerbino, 2005). La cantidad de individuos del orden Haplotaxida indica cómo se encuentra el suelo en funciones como descomposición de materia orgánica y producción de ácidos húmicos (Sánchez y Hernández, 2011). En el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, la densidad de individuos se debe al periodo de descanso en relación a la investigación de Zerbino (2005), sin embargo se debe tener en cuenta otros factores que pueden aumentar o disminuir la densidad de individuos de la familia *lumbricidae* como la humedad, entre mayor sea esta, mayor será la densidad (en el caso de la Granja es 44,49%), la cobertura vegetal, ya que estos individuos requieren de cobertura vegetal para su multiplicación (en el caso de la Granja es 70%) y la porosidad cercana al 50% (en el caso de la Granja 50,2%) que presenta el suelo (Lavelle et al., 1997; González, Zou y Borges, 1996).
- **Cydnidae.** Los individuos de la familia *Cydnidae* se caracterizan por abrir galerías que mejoran la estructura del suelo, sin embargo puede representar un problema cuando se alimentan de las raíces del pasto, dificultando su recuperación en periodos de descanso, este efecto negativo se presenta cuando la densidad supera los 7 ind/m<sup>2</sup> (Mayorga y Cervantes, 2006). En el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO se registró una densidad de 166,6 ind/m<sup>2</sup>, y aunque supera la densidad reportada como negativa no se realizaron estudios que permitan evaluar el daño de esta densidad en la producción de pasto.
- **Diplopoda.** La densidad de individuos encontrados en la Granja Agroecológica UNIMINUTO pertenecientes a la clase Diplopoda, fue de 355,5 ind/m<sup>2</sup>, esta cantidad tiene directa relación con las características físicas, gracias a que estos individuos tienden a aumentar la porosidad, la humedad gravimétrica y la capacidad de infiltración, por su capacidad de abrir galerías hasta de 5 mm de grosor (Villegas, 2012). Tal como menciona Zerbino (2005), estos individuos tienen baja capacidad para producir cambios químicos en el suelo, por lo que su influencia es principalmente en las características físicas. Por su función detritívora se puede afirmar que su presencia es un indicador positivo para el suelo, ya que fragmentan y descomponen los residuos (Villegas, 2012).

**Herbívoros.** En este grupo funcional se encuentran los organismos que se alimentan de vegetación que se encuentra en el suelo, abarcando raíces, residuos de plantas y tallos (Wardle y Bardgett, 2004). Se encontró una familia cuya función principal es herbívora.

- ***Elateridae.*** En cuanto a estos individuos se reporta la presencia de 33,3 ind/m<sup>2</sup> en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, este resultado se relaciona con la escasa presencia de árboles que proporcionen sombra en el sistema ya que como mencionan Rendón et al. (2011) en sistemas que no ofrecen sombra se dificulta encontrar individuos pertenecientes a la familia *Elateridae*, llegando a reportarse densidades menores a 5 ind/m<sup>2</sup> en los casos más críticos y con posibilidades de erosión, ya que la exposición directa al sol ocasiona el desgaste del suelo, como consecuencia de la pérdida de agua.

**Rizófagos.** Son organismos que se alimentan de las raíces de las plantas, pueden disminuir la capacidad de captación de nutrientes por parte de las plantas y en algunos casos puede ocasionar la muerte de las mismas (Marrero et al., 2016). Dentro de este grupo se ubica una familia encontrada en la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

- ***Melolonthidae.*** De acuerdo con Moron et al.(2014) la abundancia de los individuos de la familia *Melolonthidae* se clasifica en: muy alta cuando se encuentran más de 200 individuos, alta con 100-200, moderada con 40-99, baja con 10-39, escasa con 4- 9 ejemplares y rara con 1-3 individuos. El número de individuos encontrados en la granja fue de 255,5 ind/m<sup>2</sup> es decir, abundancia alta. La presencia de los individuos pertenecientes a esta familia en el suelo en la Granja Agroecológica UNIMINUTO está relacionado con el pH fuertemente ácido encontrado y el contenido de carbono orgánico (2,9%), el cual puede favorecer la reproducción de los individuos.

Como consecuencia de los hábitos rizófagos de estos individuos las características físicas se van a ver modificadas, disminuyendo la porosidad y aumentando la compactación (Zerbino, 2005). Además el consumo de la materia orgánica por parte de los individuos de la familia *Melolonthidae*, modifica la estructura del suelo, tendiendo a convertirse en tipo fibrosa y de grado débil (Zuluaga, 2003).

## Otros grupos y sus relaciones.

- **Hymenoptera.** Los resultados encontrados por Cabrera (2011) en pastos con manejo convencional muestran presencia de individuos del orden Hymenoptera, familia: *Formicidae* lo cual concuerda con lo encontrado en la presente investigación. Las hormigas ejercen un importante papel ecológico en la dinámica del ambiente, en función de la diversidad del grupo, y de la densidad de poblaciones, ya que se desempeñan como estabilizadores de la estructura del suelo y de la porosidad, por su capacidad de abrir galerías (Longino y Colwell 1997). Así mismo, la presencia de individuos de las *Formicidae* encontrados en la Granja Agroecológica UNIMINUTO son un bioindicador de calidad de suelo y se relaciona con la presencia de las demás familias, esto se debe a que son funcionalmente importantes en todos los niveles tróficos. (Medina, 1995; Liceraz, 2008). Se debe tener en cuenta que estos individuos hacen cortes del follaje, provocando la defoliación total o parcial de las plantas (Bernal et al., 2014).
- **Rhinotermitidae.** En la Granja Agroecológica UNIMINUTO se encontró presencia de los individuos pertenecientes a la familia *Rhinotermitidae*, la presencia de estos individuos es dependiente de las condiciones del terreno y de la zona de vida, principalmente de la temperatura (26°C para el caso de la Granja) y la textura (Franco arenosa-arcillosa) (Cabrera, 2012). Su importancia radica en su rol funcional como detritívoros e ingenieros del ecosistema, ya que tienen efectos directos en la estructura, transformando los agregados en moderados y en clase fina y en los procesos de humificación y mineralización (Rendón et al., 2011).

Por otra parte se encontró un resultado adverso, como consecuencia de la dominancia de los individuos pertenecientes a la familia *Rhinotermitidae*, por encima de la familia *Lumbricidae*, como mencionan Barrios et al. (2011) los suelos presentan interacción entre las familias *Rhinotermitidae* y *Lumbricidae*, las cuales pueden ser positivas cuando la dominancia es de la familia *Lumbricidae*, debido a la conservación del suelo y negativas cuando la dominancia es de *Rhinotermitidae*, ya que esto puede ocasionar que la estructura del suelo pierda consistencia y que se dificulte recuperarla, por no producir los suficientes contenidos de materia orgánica, como es el caso de la Granja Agroecológica UNIMINUTO.

### 7.3.2. Mesofauna

**Densidad.** La mesofauna identificada en el suelo en la Granja Agroecológica UNIMINUTO comprende un total de 138 ind/m<sup>2</sup> clasificados dentro de 1 phylum, 3 clases y 3 órdenes, hallándose la presencia de Ácaros (48.55%), Colémbolos (28.99%) y Diplura (22.46%). En los muestreos realizados se obtuvo un total de 107,2 ind/ m<sup>2</sup> del orden Acari, 64 ind/m<sup>2</sup> del orden Colembolla y 49,6 ind/m<sup>2</sup> del orden Diplura (Tabla 22). Los resultados obtenidos en la Granja Agroecológica UNIMINUTO concuerdan con Marín et al. (2015) en sistemas de cultivos de pastaje, en donde hallaron que la mayor cantidad de individuos pertenecientes a la mesofauna son del orden Acarí (145 ind/m<sup>2</sup>), seguidos por individuos del orden Collembola (120 ind/m<sup>2</sup>).

**Tabla 22.** Recuento de la mesofauna encontrada en el suelo.

Mesofauna				
Phylum	Clase	Orden	Porcentaje	Ind/m2
Arthropoda	Arachnida	Acari	48,55	107,2
	Entognatha	Colembolla	28,99	64
	Diplura	Diplura	22,46	49,6
total				138

En la Tabla 23 se muestran las relaciones poblacionales entre los grupos taxonómicos de mesofauna, teniendo en cuenta las investigaciones de Socarras e Izquierdo (2014) y Bezerra et al. (2009) con condiciones similares, dentro de las que se destaca el pasto *Brachiaria* spp., pastos con periodos de descanso superiores a 1 año y pH inferior a 6. De acuerdo con los autores mencionados, (Socarras e Izquierdo, 2014; Bezerra et al, 2009) la cantidad de los individuos no es directamente proporcional entre ordenes, siendo más determinada por condiciones físico-químicas, como la porosidad, la cantidad de materia orgánica y el pH que son las condiciones más limitantes.

**Tabla 23.** Proporción entre los órdenes de mesofauna de la Granja Agroecológica UNIMINUTO

<b>Proporción</b>	<b>Valores</b>
<b>Socarras e Izquierdo (2014)</b>	5:1:00
<b>Bezerra et al. (2009)</b>	9:1:1
<b>Granja Agroecológica UNIMINUTO</b>	2,2:1,3:1

### **Relación entre la mesofauna y las características químicas del suelo.**

La riqueza en órdenes de mesofauna es un indicador de calidad de suelos y contribuye a determinar en qué estado se encuentra el suelo (Williams y Gaston, 1994).

**Acarí.** Genoy et al. (2013) afirman que la importancia de los ácaros en el suelo radica en su capacidad para degradar materia orgánica, estimulando la actividad bacteriana y acelerando los procesos de humificación y fertilidad del suelo, por lo anterior son indicadores de calidad del suelo que muestran que entre mayor sea la cantidad por metro cuadrado de estos individuos, mayor será la cantidad de materia orgánica, lo cual implica mejoramiento en la capacidad de infiltración, porosidad, estructura (tendiendo a ser granular, con grado fuerte y clase media), textura, color y en la disponibilidad de nutrientes.

En la Granja Agroecológica UNIMINUTO se encontró un total de 107,2 ind/m<sup>2</sup>. Este resultado es similar al reportado por Marín et al. (2015) (149 ind/m<sup>2</sup>), tanto en la Granja Agroecológica UNIMINUTO como en la investigación desarrollada por Marín et al. (2015) los resultados se relacionan con la especie predominante en el terreno (*Brachiaria* spp.). Sin embargo se debe tener en cuenta que los ácaros se reproducen de forma óptima en suelos franco-limosos y que la cantidad de los mismos se ve relacionada con la planificación de las labores agrícolas, viéndose afectados por monocultivos y por la cantidad de materia orgánica que contiene el suelo (Gonzales et al., 2003). En comparación con lo anterior se puede afirmar que el número de ácaros encontrados en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (107,2 ind/m<sup>2</sup>) es consecuencia de la textura franco-arcillosa-arenosa, porosidad del 50,2% y la cantidad de materia orgánica (5.0%).

**Collembola.** Los colémbolos resultan ser de importancia para el sistema suelo, gracias a su relación sinérgica con los microorganismos, principalmente con los hongos benéficos, a su capacidad de descomposición de residuos verdes, ya la transformación de la materia orgánica; y potencializando de esta forma el ciclaje de nutrientes y facilitándolos su asimilación para las plantas, además de sus efectos como depredador de nematodos y protozoos (Kaneda y Kaneko, 2008). Por estas razones se puede asegurar que entre mayor sea la cantidad de colémbolos, mayor será la calidad del suelo.

Satoshi (2008) encontró que la densidad óptima de colémbolos en pastos es de 100 ind/m<sup>2</sup> para que las funciones que cumplen como la descomposición de materia orgánica, el ciclaje de nutrientes y el balance de la relación carbono: nitrógeno se desarrollen en beneficio del sistema edáfico. El resultado encontrado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO para densidad de individuos del orden Collembola es de 64 ind/m<sup>2</sup>, es decir que no se cumple con el requerimiento mínimo de colémbolos para el desarrollo de sus funciones. Por otra parte Guzmán et al. (2010) sostienen que a temperaturas superiores a 20°C, cobertura vegetal dependiente de una sola especie y humedad relativa menor a 50%, pueden disminuir la presencia de estos individuos en el sistema edáfico. Por lo anterior es posible que la cantidad de colémbolos en la Granja Agroecológica UNIMINUTO no sea mayor como consecuencia de la temperatura de 26°C de la zona, la única especie vegetal del terreno (*B. humidicola*) y de la humedad relativa de 44,49%.

**Diplura.** En la Granja Agroecológica UNIMINUTO se encontraron 49,6 ind/m<sup>2</sup>, lo cual resulta ser un indicador positivo para la calidad de suelo, ya que como menciona Ferguson (1990) la importancia de encontrar estos individuos radica en la interacción con la microfauna y macrofauna, promoviendo la biodiversidad en el suelo y potencializando el ciclo de los nutrientes y la descomposición de materia orgánica, además de la producción de complejos componentes causados por la agregación del suelo.

### **7.3.3. Microfauna.**

#### **Recuento de microorganismos celulíticos, amilolíticos, proteolíticos, solubilizadores de fosfatos, fijadores de nitrógeno y micorrizas.**

Los resultados obtenidos en la caracterización de la microfauna se muestran en la Tabla 24, los microorganismos amilolíticos, celulolíticos y proteolíticos no superaron las 10.000 UFC/gr suelo seco, mientras que los microorganismos solubilizadores de fosfatos y los

fijadores de nitrógeno alcanzaron  $2 \times 10^5$  y  $4 \times 10^4$  UFC/gramo de suelo seco respectivamente., por otro lado en cuanto a micorrizas se obtuvo un total de 38,8 esporas/gr suelo seco.

**Tabla 24.** UFC por gramos de suelo de microorganismos celulíticos, amilolíticos, proteolíticos, solubilizadores de fosfatos y fijadores de nitrógeno y unidades por gramo de suelo seco de micorrizas corregidos a peso seco.

Microorganismos					
UFC/gramo de suelo seco					Esporas/gramo de suelo seco
Celulíticos	Amilolíticos	Proteolíticos	S. fosfatos	F. nitrógeno	Micorrizas
<10.000	<10.000	<10.000	$2 \times 10^5$	$4 \times 10^4$	38,8

**Microorganismos celulíticos.** La presencia de los microorganismos celulíticos es importante, ya que degradan desechos vegetales que están compuestos por celulosa, que es uno de los constituyentes más importantes, representando el 15% del peso seco de leguminosas y gramíneas y 50% de especies leñosas, además de ser una fuente de carbono y energía para las plantas (Frioni, 1999). Por otra parte Frioni (1999) afirma que el pH neutro favorece la reproducción de los microorganismos celulolíticos, así mismo, una humedad superior al 60% y una porosidad mayor al 70% condicionan la reproducción de los microorganismos celulíticos. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible afirmar que el número de microorganismos celulíticos en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, es consecuencia de la adecuada porosidad (50,2%), sin embargo no es mayor debido al porcentaje de humedad (44,49%) y al pH fuertemente ácido, viéndose afectada la degradación de desechos vegetales compuestos por celulosa y por consiguiente la producción de carbono en el suelo.

**Microorganismos amilolíticos.** Sivila y Ángulo (2006) encontraron un total de  $13,59 \times 10^4$  UFC/gramo de suelo de microorganismos amilolíticos al cabo de un año de descanso en el terreno, resultado que es superior al encontrado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (<10.000). Sivila y Ángulo afirman que para el aumento de microorganismos amilolíticos se requiere de un mejoramiento constante de las características físico-químicas (pH, materia orgánica, porosidad y capacidad de infiltración) del suelo, reforzando esta afirmación, encontraron que el número de microorganismos amilolíticos decreció hasta  $9,64 \times 10^4$  al cabo de 10 años, en suelos en donde no se realizó ninguna practica que aumentara la calidad del

suelo. Así el bajo número de microorganismos amilolíticos en el suelo evaluado de la Granja Agroecológica UNIMINUTO (<10.000 UFC/gramo de suelo) se debe al tiempo de descanso del terreno, en donde no se niveló el pH, no se aumentó el contenido de materia orgánica y en donde la porosidad y la capacidad de infiltración no fueron optimizadas. La disminución de microorganismos amilolíticos disminuye la calidad del suelo, ya que ocasiona la reducción de azúcares simples, que son producidas a partir de enzimas reductoras, dejando como consecuencia la disminución de energía en las plantas y retrasando su crecimiento (Sánchez et al., 2005).

**Microorganismos proteolíticos.** En una investigación en un terreno con un año de descanso y con *Brachiaria* sp. como especie dominante se reportó un total de  $26,2 \times 10^5$  UFC/gramo de suelo (Sivila y Ángulo, 2006). Este resultado es superior a lo reportado en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (<10.000 UFC/gramo de suelo), el cual posee dos años de descanso. Para explicar este resultado, Sivila y Angulo (2006) afirman que el aumento de microorganismos proteolíticos se encuentra directamente relacionado con el tiempo de descanso del terreno, así entre mayor tiempo esté el suelo sin ser modificado, mayor será la cantidad de microorganismos proteolíticos en el sistema edáfico, así mismo indican que al cabo de 10 años, los microorganismos proteolíticos estabilizaron su población en  $54,1 \times 10^5$  UFC/gramo de suelo, en suelos con pH neutro y materia orgánica al 2%. Por lo anterior es posible afirmar que aunque el tiempo de descanso y el porcentaje de carbono orgánico en la Granja Agroecológica UNIMINUTO sea mayor que el tiempo de descanso y la cantidad de carbono orgánico que los suelos de la investigación de Sivila y Angulo (2006), el pH fuertemente ácido ha impedido el adecuado aumento de estos microorganismos en el suelo.

La actividad de estos microorganismos se basa en la fragmentación de proteínas en unidades menores hasta convertirlas en aminoácidos, los cuales son de importancia para las plantas debido a que son indispensables para la floración de la planta, evitar el aborto de frutos, potencializar la absorción de nutrientes y equilibrar el metabolismo de la planta (Sánchez, 2007). Por lo cual la producción agrícola de la Granja agroecológica UNIMINUTO se puede ver afectada, como consecuencia de la baja cantidad de microorganismos proteolíticos.

**Microorganismos solubilizadores de fosfato.** En la Granja Agroecológica UNIMINUTO se reporta una cantidad de  $2 \times 10^5$  UFC/gr de suelo (Tabla 24), número inferior a lo encontrado por Pérez et al. (2010), los cuales hallaron un total de  $3,24 \times 10^9$  UFC/g de suelo, la investigación se llevó a cabo en pastajes, con las siguientes condiciones: suelos moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas moderadas a finas, infiltración moderada a lenta, retención de humedad media a lenta, pH moderadamente ácida a neutra, alta disponibilidad de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), bajos contenidos de fósforo (P) disponible, contenidos de materia orgánica bajos a medios y fertilidad baja a moderada. Las condiciones son similares a las de los suelos de la Granja Agroecológica UNIMINUTO, sin embargo es posible afirmar que la inferioridad de microorganismos solubilizadores de fosfato se debe al pH fuertemente ácido y la baja disponibilidad de magnesio y de fosforo.

Cabe resaltar que el fosforo es el nutriente más pesado que se encuentra en el suelo, ya que aproximadamente el 95% se encuentra en formas insolubles para la planta y estos microorganismos son lo que lo colocan a disponibilidad para las plantas de forma más eficiente (Pérez et al., 2012). Por ende la necesidad de aumentar el número de microorganismos solubilizadores de fosfato se hace primordial para pensar en el mejoramiento del sistema edáfico en función de las plantas.

**Microorganismos fijadores de nitrógeno.** En la Granja Agroecológica UNIMINUTO se encontró un total de  $4 \times 10^4$  UFC/gr de suelo de microorganismos fijadores de nitrógeno (Tabla 24). Este resultado es inferior a lo encontrado por Pérez et al. (2010) en una investigación realizada en *Bothriochloa pertusa*, con un total de  $5,3 \times 10^4$  UFC/gramo de suelo de microorganismos fijadores de nitrógeno, concluyendo que es una cantidad adecuada para la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por lo cual se determina que la cantidad de microorganismos fijadores de nitrógeno en el suelo es una cantidad óptima.

Calvo (2011) afirma que la actividad de microorganismos fijadores de nitrógeno es mayor en suelos con pH neutro y humedad superior al 40%, con alta disponibilidad de nitrógeno ( $>0.20\%$ ), alta cantidad de materia orgánica del suelo ( $>5\%$ ), exceso de hierro ( $>30$ ). Por lo anterior es posible afirmar que en los microorganismos fijadores de nitrógeno encuentran condiciones adecuadas de humedad (44,49%) y cantidad de materia orgánica (5%) y desfavorables en el pH (fuertemente ácido), cantidad de nitrógeno (0,18%) y exceso de hierro (127 mg/kg). La presencia de poblaciones de microrganismos fijadores de

nitrógeno, es importante ya que producen nitrogenasa, que es una enzima que reduce el  $N_2$  de la atmósfera a  $NH_3$ , dejando disponible este importante nutriente para las plantas (Jaramillo, 2002). La deficiencia de nitrógeno disponible en el suelo se debe principalmente a la insuficiencia de microorganismos fijadores de nitrógeno, por esta razón se hace necesario acondicionar el suelo en beneficio del desarrollo de las funciones de estos microorganismos, aumentando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

### **Micorrizas arbusculares (HMA).**

En una investigación realizada en pasto se han reportado 6,97 micorrizas/gramo en terrenos con tiempo de descanso de 1 a 4 años, 19,96 micorrizas/gramo en terrenos con 5 a 9 años de descanso y 44,34 micorrizas/gramo en suelos con 10 a 20 años de descanso (Sivila y Ángulo, 2006). Lo anterior indica que la cantidad de micorrizas de la Granja Agroecológica UNIMINUTO (38,8 esporas/gr de suelo) es un indicador positivo de calidad del suelo, ya que el periodo de descanso del terreno es de 2 años al momento de muestrear, lo que indica que el suelo presenta condiciones favorables para la multiplicación de micorrizas arbusculares.

Las micorrizas son fundamentales en un sistema productivo, ya que son microorganismos simbióticos que le facilitan a la planta la obtención de nutrientes, por tal motivo su presencia o ausencia es un medio indispensable para calificar la calidad del suelo (Eldor, 2007). Las funciones que desarrollan las micorrizas en el suelo se puede ver afectadas por factores como el pH, las cuales tienen respuestas positivas en pH ácidos a neutros, siempre y cuando se desarrollen en su suelo de origen, otros factores que afectan las funciones y reproducción de las micorrizas es el exceso de humedad (>50%), manejo de monocultivos y la intervención de los primeros horizontes (Pérez et al., 2011; Pérez y Verte, 2010). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente el pH (fuertemente ácido), humedad (44,49%) y la no intervención del predio de la Granja Agroecológica UNIMINUTO no dificultan el desarrollo de las funciones de las micorrizas arbusculares, sin embargo el manejo de una sola especie no es una condición adecuada para la multiplicación de las micorrizas arbusculares.

Se debe resaltar que las micorrizas aumentan la absorción, por parte de la planta de nutrientes poco móviles en el suelo como P, Zn, S, Ca, Cu, Mo y B y le dan a la planta resistencia a condiciones desfavorables de suelo como: pH extremo, sequía, salinidad, cambios grandes de temperatura y presencia de elementos tóxicos (Fe, Al, Mn); además,

protegen la raíz del ataque de patógenos (Jaramillo, 2002). Para que se pueda aprovechar los beneficios de las micorrizas arbusculares en la Granja Agroecológica UNIMINUTO se debe mantener las condiciones de humedad, complejizar el sistema de pastajes y evitar la intervención (volteo) de los primeros horizontes.

#### **7.4. Lineamientos para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.**

Al llevar a cabo la metodología planteada por Somarriba (2009) se incluyó la caracterización biofísica del sitio, en este aspecto se tuvo en cuenta el espacio de la granja, las condiciones ambientales, las características edáficas y especies establecidas, por otro lado para el aspecto socioeconómico se realizó una entrevista al personal operativo y al técnico de la Granja Agroecológica UNIMINUTO. A partir de la información obtenida se realizó una propuesta para el establecimiento de sistemas agroforestales que fue discutida en un grupo focal, conformado por Juan Rico Urrego (Técnico de la Granja), Guillermo Gonzales (Coordinador de programas agropecuarios vicerrectoría llanos), Ximena Cortes (Directora de investigación Bogotá Sur y Nuevas regionales), posteriormente se realizó un ajuste a la propuesta teniendo en cuenta las conclusiones de esta actividad.

##### **Caracterización biofísica.**

**Condiciones ambientales de la Granja Agroecológica UNIMINUTO.** Se encontró que el terreno muestreado no cuenta con un sistema de drenaje ni de riego, la cobertura vegetal únicamente la brindan el pasto y los árboles, ya que no se aplica ningún tipo de cobertura adicional.

**Caracterización edáfica.** Como resultado de la caracterización edáfica se evidenció que se requiere mejorar las condiciones de suelo, tanto del componente químico-físico, como del biológico, para el establecimiento de sistemas productivos.

**Especies establecidas.** Se encontraron las siguientes especies:

- Botón de oro (*Tithonia diversifolia*): Forrajera
- Kinggrass (*Pennisetum purpureum*): Forrajera
- Maralfalfa (*Pennisetum* sp.): Forrajera
- Moringa (*Moringa oleífera*): Forrajera

- Limón (*Citrus Limon*): Frutal
- Pomarrosa (*Syzygium jambos*): Frutal

Las especies forrajeras encontradas en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio, se utilizan para alimentar al ganado, el cual es manejado de forma estabulada. Y se encuentran repartidas en tres hectáreas aproximadamente.

### **Manejo técnico.**

**Entrevista al personal operativo y técnico de la granja.** En la entrevista se obtuvo información relevante con respecto al manejo del suelo en el terreno muestreado y del manejo de la ganadería en la Granja. Como información relevante obtenida se encuentra que el terreno cuenta con dos (2) años de descanso. Para la fertilización, se ha trabajado con enmiendas a base de bovinasa, aplicándose un total de 2 toneladas cada dos años desde que la finca fue adquirida por UNIMINUTO (en el año 2003), y se complementa con aplicaciones de microorganismos eficientes (2 litros \* 20 de agua) y agroplus (4 litros \* 20 de agua).

Se destaca que en el área muestreada se maneja un rango de 30 a 40 cabezas de ganado de engorde de raza cebú, con aproximadamente 2 años de edad, los cuales fueron manejados con sistema semi-estabulado hasta el año 2015 y rotados en 5 lotes, en el sistema el ganado era llevado al terreno durante 4 horas todos los días y el alimento se complementaba con pasto kingrass (*Saccarum sinense*) y botón de oro (*Tithonia Diversifolia*) (la alimentación era del 10% del peso total del bovino).

El técnico encargado afirma que el aumento de peso era mayor mediante el uso de un sistema semi-estabulado (200 g/día más que manejado de forma intensiva), también afirma que los árboles que se encuentran en el terreno son suficientes para el aporte de sombrero del terreno y que la siembra de un árbol en medio de alguno de los lotes podría ocasionar la pérdida de *B. humidicola* a causa del pisoteo excesivo, motivo por el cual recomienda la siembra de árboles en las partes externas más cercanas al lote. En cuanto al establecimiento de barreras vivas, opina que las especies arbóreas son insuficientes, pero que con un total de tres (3) arboles alrededor será suficiente para complementar el sistema, que está compuesto por *Anadenanthera peregrina*. Recomienda además combinar *B. humidicola* con *Pueraria phaseoloides*.

**Propuesta para el establecimiento del sistema silvopastoril en la Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.** Previo al establecimiento de este sistema se hace necesaria la preparación del suelo, para ello se recomienda guadañar la especie *B. humidicola*, posteriormente un único paso de tractor con discos a una profundidad de 40 cm, esto con el fin de mejorar las características físicas, principalmente la estructura del suelo, aumentar la porosidad y la aireación, a partir de allí conservar y mejorar las condiciones óptimas evaluadas en la caracterización física. Posteriormente, se recomienda la aplicación de 500 kg de cal agrícola esparcidos homogéneamente en el terreno, esto con el fin de regular el pH y aclarando que es primordial realizar esta práctica, ya que a partir de ella es posible colocar a disposición los nutrientes para las plantas. Como se describió en los resultados de la caracterización química, los macronutrientes no se encuentran en condiciones óptimas, por esta razón se recomienda la aplicación de 500 kg porquinaza compostada, teniendo en cuenta los contenidos nutricionales de esta enmienda y los niveles de potasio y fósforo que requieren los cultivos. Sin embargo, a los 30 días de aplicada la primera enmienda se debe realizar una segunda en donde se apliquen 500 kg de bovinaza compostada, con el fin de mejorar el contenido de nitrógeno. Con la aplicación de estas dos enmiendas se aumentaran los contenidos de zinc y cobre, fundamentales para evitar la erosión del suelo y el desarrollo adecuado de las plantas. Cabe resaltar que al momento de la aplicación de las enmiendas se hace necesario mezclar y homogeneizar con el suelo. Por otro lado, ya que el fosforo es un elemento básico para las primeras etapas del cultivo y además de ser un elemento que puede tardar hasta 4 meses en estar disponible para las plantas, se recomienda la aplicación de 100 gr por especie arborea y de microorganismos eficientes alrededor de todo el terreno (E.M) (250 l/ 2500 l de agua).

El sistema silvopastoril propuesto se compone de 3 niveles, la primera son las especies arbóreas, el segundo comprende las especies arbustivas forrajeras y el tercer nivel se compone de la combinación de *Brachiaria humidicola* y *Pueraria phaseoloides*. Se hace necesario darle prioridad a las especies que se encuentran en la granja, las cuales se han desarrollado adecuadamente.

Por su contenido nutricional, como especies arbustivas forrajeras se seleccionaron.

- *Tithonia diversifolia* (Botón de oro)
- *Leucaena leucocephala* (Leucaena)

- *Pueraria phaseoloides* (Kudzu)

Por su tamaño y su capacidad de sombrío, como especies arbóreas se seleccionaron.

- *Melicoccus bijugatus* (mamoncillo)
- *Gliricidia sepium* (matarratón)

Como primera medida se propone acompañar a *B. humidicola* con una especie que potencialice su capacidad de recuperación y que brinde una mejor nutrición al ganado. Cabrera (2008) afirma que *P. phaseoloides* es una especie enredadera que penetra profundamente el suelo, lo que permite que al combinarse con *B. humidicola* esta especie obtenga con más facilidad los nutrientes del suelo, su establecimiento no exige suelos con características específicas, acepta suelos con rangos de textura desde arenosa- hasta arcillosa, sin embargo no acepta suelos con pH ácido a fuertemente ácido y en suelos con baja capacidad de infiltración, se desarrolla adecuadamente en alturas hasta 2000 m.s.n.m. Pinzón et al. (2006) menciona además que *P. phaseoloides* es una especie que evita la erosión del suelo y que permite acelerar la recuperación del pasto al cual se encuentre asociado, sin embargo es una especie que no resiste el pisoteo continuo del ganado. Su siembra se debe realizar por medio del uso de semillas, se recomienda regar 10 kg de semilla alrededor del terreno en el momento en que el pasto se siembra o se resiembra.

Por otro lado, Solarte et al. (2013) mencionan que *T. diversifolia* se adapta a zonas con un rango altitudinal desde los 0 hasta los 2500 m.s.n.m., con una precipitación media anual de 800 a 5000 mm, un rango de temperatura entre 14 y 30°C, un pH del suelo desde 4,5 a 8,0, se logra adaptar a suelos ácidos y ligeramente alcalinos, pesados con mediana saturación de iones de aluminio o hierro y bajo contenido de fósforo. No resiste la saturación con iones de aluminio, ni suelos con baja capacidad de infiltración. Esta especie se puede aprovechar como barrera viva, por este motivo se piensa utilizar como especie divisoria de los lotes. Para el establecimiento de *T. diversifolia*, se deben sembrar las estacas acostadas en chorro continuo, enterradas a dos centímetros de profundidad, con una distancia de 20 cm de longitud, en ángulo de 45° con el corte en bisel hacia el suelo. Es importante que las estacas tengan 40 cm de longitud y sean sembradas en un tiempo no mayor a 12 horas después de haber sido cortadas. Para el bordeado del terreno se requiere de 600 estacas, con una distancia de siembra de 1 metro entre plantas. Para el uso del terreno después de la

siembra de *T. diversifolia* se debe esperar 6 meses para que esta se encuentre en etapa fenológica adecuada para la alimentación del ganado (Calle y Murgueitio, 2008).

En cuanto a *L. leucocephala* Uribe et al. (2011) recomiendan su siembra en zonas con altura entre 0 y 1500 m.s.n.m., precipitación media anual entre 800 y 3000 mm, pH entre 5,5, y 7,5, fertilidad media- alta, además indican que se debe evitar la siembra en suelos con saturación con iones de aluminio y con baja capacidad de infiltración. Para el establecimiento de *L. leucocephala* se plantea la siembra por surcos, por medio del método de trasplante de plántulas, la densidad de siembra es de 0.5m x 3 m, para establecer un total de 6.000 plantas en el terreno, se debe esperar alrededor de 6 meses para que la planta alcance su tamaño adecuado para la alimentación del ganado, sin embargo este tiempo puede variar dependiendo de las condiciones climatológicas, el punto para saber si está listo es cuando tiene 1.5 a 2.5 m de altura, en este momento se debe realizar una poda a una altura de 20 cm, posteriormente se espera un tiempo aproximado de 3 meses para poder ingresar el ganado (Solorio, F y Solorio, B, 2008). -

Se propone que en cada uno de los lotes se siembre una especie arbórea, con el fin de proveer sombrío al ganado. De acuerdo con CIPAV (2004) *G. sepium* es una especie arbórea que se desarrolla en un alto rango de suelos, pueden ser ácidos a ligeramente calcáreos, de pobres a fértiles, con pH de 5,0 a 8,0, las zonas en donde se busca implementar deben tener una altura que no supere los 1400 m.s.n.m., con precipitaciones anuales de 800-2500 mm y temperatura entre 25-35°C. En adición a lo anterior recomiendan evitar suelos con mal drenaje en el momento de la siembra o adecuar canales en el terreno para el paso del agua. Se recomienda establecer *G. sepium* como cerca viva, sembrándose 7 plantas alrededor del terreno, utilizando la siembra por estacas y complementando las especies arbóreas que componen el sistema (Navas et al., 2000).

En cuanto a las especies frutales para proveer sombrío, León (2000) afirma que *M. bijugatus* se desarrolla en suelos profundos, fértiles, de origen calcáreo, aunque tolera suelos pobres en fertilidad, tolera elevaciones bajas a medianas hasta los 1000 msnm, con climas secos o húmedos, el pH puede ser de neutro a básico, con precipitaciones que oscilan 750-2500 mm, se plantea sembrar 6 plantas alrededor del lote 1.

Los 9.637 m<sup>2</sup> que tiene el terreno, junto con la implementación del SSP soportan una carga de 5 animales, siendo rotados semanalmente, sin embargo esta cantidad puede aumentar si

el ganado es manejado con sistema mixto o semi-estabulado, dependiendo de las horas de pastoreo.

**Figura 17.** Propuesta de sistema silvopastoriles



**Reunión con grupo focal.** En la reunión realizada se concluyó que no es posible establecer el sistema silvopastoril, esto se debe principalmente al tiempo que tardan en recuperarse las especies del segundo nivel, tan pronto ingresan los bovinos al terreno consumen en primera instancia el forraje producido por *L. leucocephala* y *T. diversifolia*, sumado a este comportamiento, el tiempo de recuperación de estas especies es mayor al tiempo requerido por *B. humidicola*. Se concluyó que para llevar a cabo este tipo de proyectos semi-estabulados y complementados con sistemas silvopastoriles se requiere de un área mayor en la cual sea posible contemplar un mayor tiempo de rotación de bovinos y de esta forma otorgar más tiempo a las especies para poder recuperarse de forma óptima. Sin embargo, en la reunión se resaltó la importancia de la caracterización para el establecimiento de cualquier sistema productivo y se confirmó el establecimiento de un sistema agroforestal. Por tal motivo, el tercer objetivo de la presente investigación se adecuó a las necesidades productivas de la granja, diseñándose una propuesta para el establecimiento de un sistema silvicultural basado en *Coffea arabica* como principal especie.

**Lineamientos para el establecimiento de un sistema silvicultural en la granja agroecológica UNIMINUTO Villavicencio.** Como los sistemas silvopastoriles, los sistemas agroforestales se componen de niveles, en este caso los niveles se otorgan de acuerdo al sistema productivo base del cual se componga. Sin embargo es básico que cuente con mínimo 2 especies, el ciclo es regularmente de un año y es ecológica, funcional y estructuralmente más complejo que otros sistemas. Teniendo en cuenta lo anterior, los factores ambientales generales de la zona y las características físicas, químicas y biológicas del suelo, se realizó una propuesta de preparación del suelo, con el fin de adecuar el terreno y una propuesta de especies que se desarrollarían adecuadamente en el terreno muestreado.

Previo a la siembra se hace necesaria la preparación del suelo, para ello se recomienda guadañar el terreno y realizar la intervención por espacio de siembra de las especies, ampliándose hasta un m<sup>2</sup> cada sitio y utilizando herramientas como el palín y el azadón, esto con el fin de mejorar las características físicas, principalmente la estructura del suelo, aumentar la porosidad y la aireación, a partir de allí conservar las condiciones óptimas evaluadas en la caracterización física, eliminando de esta forma la presencia de las raíces de *B. humidicola*. Posteriormente, se recomienda la aplicación de 100 g de cal agrícola por espacio, para regular el pH y aclarando que es primordial realizar esta práctica, ya que a partir de ella es posible colocar a disposición los nutrientes que se encuentran en el suelo para la planta. Como se describió en los resultados de la caracterización química, los macronutrientes no se encuentran en condiciones óptimas, por esta razón se recomienda la aplicación de 1 kg porquinaza compostada por espacio, teniendo en cuenta los contenidos nutricionales de esta enmienda y los niveles de potasio y fósforo que requieren los cultivos. Sin embargo, se debe potencializar esta enmienda por medio de la aplicación de supermagro a base de equinaza con dosis de 1 l de supermagro/20 l de agua, con el fin de estabilizar las relaciones catiónicas del suelo. Cabe resaltar que al momento de la aplicación de las enmiendas se hace necesario incorporar al suelo. Teniendo en cuenta que el fosforo es un elemento básico para las primeras etapas del cultivo y que además es un elemento que puede tardar hasta 4 meses para estar disponible para las plantas, se recomienda la aplicación de 150 gr de roca fosfórica por planta y microorganismo eficientes alrededor de todo el terreno (E.M) (250 l/ 2500 l de agua). Además se debe tener en cuenta los requerimientos para fertilizar cada una de estas especies. Cabe mencionar que siguiendo las adecuaciones indicadas y manejándose la diversidad de especies vegetales en el sistema silvicultural, tanto

la diversidad de familias como individuos de macrofauna y mesofauna aumentará, con lo cual se espera que se mejoren las condiciones físico-químicas del suelo.

El sistema agroforestal se compondrá de 7 especies, conformadas por 4 especies arbóreas-frutales, 1 especie gramínea y 1 especie curcubitácea. En la figura 14 se muestra un esquema de la propuesta.

- ***Coffea Arabica* (café).** Siendo la base del sistema y teniendo en cuenta que va a estar acompañada por otros sistemas, se recomienda sembrarla a una distancia de 3 m entre plantas y 3 m entre surcos, para un total de 778 plantas en 7.000 m<sup>2</sup>, sembradas en 3 bolillos.
- ***Theobroma Cacao* (Cacao).** Esta especie se adecua a las condiciones de la zona y su establecimiento va a aumentar la biodiversidad de la granja, se recomienda establecer estas plantas en tres bolillos en las cabeceras de los lotes, que es el espacio que quedaría entre el café y la cerca a una distancia de siembra de 3 m entre plantas y 4 m entre surcos en 3.000 m<sup>2</sup>, para un total de 250 plantas.
- ***Persea Americana* (Aguacate).** Se recomienda la siembra de 48 plantas de la variedad Lorena y 2 de la variedad hass para efectos de polinización, a una distancia de 10 m entre plantas y 10 m entre surcos (formados por *C. arabica* y *T. cacao*), para un total de 50 plantas.
- ***Cucurbita Moschata* (Ahuyama).** Esta especie se puede implementar como cobertura vegetal en el sistema, la distancia de siembra que se recomienda para complementar el sistema es de 5 m entre planta, para un total de 400 plantas, distribuidas en todo el terreno.
- ***Zea Mays* (Maíz).** Puede jugar un papel importante en la economía de la granja, puede contribuir a la recuperación de parte de la inversión, aprovechando el espacio y la etapa fenológica de las demás especies, se recomienda la siembra de 5 kg, entre los surcos de café en los lotes 1, 2 y 5, con una densidad de siembra de 50 cm entre plantas y 3 metros, teniendo en cuenta la distancia del café y el cacao.
- ***Manihot Esculenta* (Yuca).** Esta especie es comúnmente un acompañante de *C. arabica*, es recomendable que se siembre entre surcos en los lotes 3 y 4 con una distancia entre plantas de 15 metros para un total 200 plantas.
- ***Carica Papaya* (Papaya).** Por sus características fisiológicas se recomienda establecer esta planta como divisor de los lotes, la distancia adecuada para que la planta cumpla su función

en el sistema es de 7 m entre cada planta, para un total de 35 plantas, dividiendo los lotes 1-2, 1-5, 2-4 y 1-3.

**Figura 18.** Propuesta de arreglo silvicultural (el esquema no contiene el número total de plantas por especie, es una guía para la ubicación de las mismas).



## 8. Conclusiones.

- Se encontró que el mayor limitante para la estabilización de las características químicas en función de un sistema productivo es el pH, el cual al ser fuertemente ácido impide el equilibrio de las relaciones catiónicas y la disponibilidad de nutrientes para que se encuentren en cantidades adecuadas para las plantas.
- El color negro parduzco, la textura franco arenosa- arcillosa, la estructura blocosa con consistencia muy firme y grado moderado, el pH fuertemente ácido, la CICE (4,31 cmol/kg), la saturación de bases, el endopipidon oxíco y el porcentaje de carbono orgánico (2,9%) son características físico- químicas que se encuentran dentro de los rangos reportados en la zona, mientras que la porosidad (50,2%), la capacidad de infiltración moderadamente rápida, los niveles de Ca (41,8 mg/kg) y de K (0,21 cmol/kg) superan los rangos encontrados por estudios realizados en la zona.
- La relación de la macrofauna y mesofauna con los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico se ven reflejados en la transformación de residuos vegetales y animales mediante densidades de 1188,8 ind/m<sup>2</sup> de macrofauna y 138 ind/m<sup>2</sup> de mesofauna y un total de 5% de materia orgánica y 2,9% de carbono orgánico en el sistema edáfico. Este proceso se ve evidenciado teniendo en cuenta que el 74,77% de estos individuos son detritívoros y descomponedores
- Es posible que la estructura blocosa, su consistencia muy firme y grado moderado se vea influenciada por la densidad de individuos de las familias *Cydnidae* (166,6 ind/m<sup>2</sup>), *Hymenoptera* (presencia), *Lumbricidae* (344,4 ind/m<sup>2</sup>) y *Rhinotermitidae* (presencia) por su comportamiento y actividad en el sistema suelo. Del mismo modo las familias *Lumbricidae* (344,4 ind/m<sup>2</sup>) e *Hymenoptera* (presencia) pueden influir en la porosidad del 50,2% y los diplopodos (355,5 ind/m<sup>2</sup>) en la capacidad de infiltración (moderadamente rápida).
- Se determinó una distribución vertical homogénea de la macrofauna hasta los 30 primeros centímetros para las familias *Staphylinidae*, *Melolonthidae*, *Cydnidae* y *Noctuidae* y la clase Diplopoda, es decir que la cantidad de individuos no disminuye conforme aumenta la profundidad. Mientras que la cantidad de individuos de las familias *Lumbricidae* y *Elateridae* disminuyó a medida que aumentó la profundidad.

Este resultado contrasta otras investigaciones en donde se ha reportado disminución de la totalidad de las familias de macrofauna con respecto a la profundidad.

- En cuanto a la distribución horizontal se encontró que la totalidad de las familias se encuentran esparcidas homogéneamente alrededor de todo el terreno, sin embargo las familias *Staphilinidae*, *Lumbricidae*, *Noctuidae*, *Elateridae* y *Cydnidae* se encuentran distribuidos en forma de agregados en el terreno y la familia *Melolonthidae* y la clase Diplopoda se encuentran distribuidos de forma uniforme alrededor de todo el terreno. Resultado que se esperaba, considerando el manejo de una sola especie (*Brachiaria humidicola*) en el terreno.
- Se determina una relación directa de la mesofauna con las características físicas del suelo, de tal manera que la capacidad de infiltración moderadamente rápida, la porosidad del 50.2%, estructura blocosa, su consistencia muy firme y grado moderado y color negro parduzco, se relaciona con la densidad de ácaros (107,2 ind/m<sup>2</sup>), gracias a que estos tienden a mejorarlas conforme aumenta su densidad, además de ser dependientes de la textura franco arenosa- arcillosa que presenta el suelo. Por otra parte los colémbolos (64 ind/m<sup>2</sup>) se ven condicionados por la temperatura de 26°C de la zona, la única especie vegetal del terreno (*Brachiaria humidicola*) y la humedad relativa de 44,49%, lo cual implica menores cantidades de materia orgánica.
- Se identificó la presencia de los grupos de microorganismos funcionales benéficos para el sistema edáfico, a pesar de que la cantidad de microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos (<10.000) es menor que la reportada por otros investigadores, Sin embargo resultan ser suficientes para mantener las cantidades adecuadas de materia orgánica (5%) y el nivel de carbono orgánico (2,9%).
- La cantidad de individuos solubilizadores de fosfato ( $2 \times 10^5$  UFC/gramo de suelo seco) y fijadores de nitrógeno ( $4 \times 10^4$  UFC/gramo de suelo seco) son un indicador positivo de calidad de suelo ya que aumentan los niveles de fosforo y nitrógeno respectivamente en el suelo, sin embargo a pesar de la óptima cantidad de estos individuos, los contenidos de fosforo (3,2 mg/kg) y nitrógeno (0,18%) en la Granja Agroecológica UNIMINUTO no son los adecuados para la producción agrícola. Es posible que estos individuos se encuentren como saprofitos en el suelo y que no cumplan con el rol funcional de poner estos nutrientes disponibles para la planta.

- Este estudio y las propuestas realizadas para el establecimiento de sistemas agroforestales son el primer paso en un proceso de transición agroecológico y permite iniciar un diálogo permanente en cuanto a sistemas de producción agropecuario sostenibles, que sigue en construcción y se espera que en el tiempo se consolide.

## 9. Recomendaciones.

- Se recomienda la evaluación de las afectaciones de los individuos rizófagos y herbívoros en el agroecosistema que se decida establecer, para determinar una relación entre los daños y la cantidad de individuos reportados.
- Es necesario realizar la evaluación de la fauna edáfica en época lluviosa y en sequía marcada, con el fin de observar si las características físicas, químicas y biológicas son similares a las encontradas en la presente investigación, determinando si existe igualdad o diferencia entre las épocas de muestreo.
- Ya que la importancia de la mesofauna radica en las funciones específicas que desarrollan los individuos, se recomienda profundizar en la identificación de los individuos pertenecientes a la mesofauna hasta el taxón especie.
- Se sugiere realizar un análisis foliar de las plantas, con el fin de identificar que nutrientes están siendo efectivamente absorbidos por la planta, y relacionarlas con las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fosfato y fijadores de nitrógeno.
- Se aconseja estudiar e identificar las micorrizas arbusculares en las raíces de *Brachiaria humidicola*, ya que es posible que a pesar de encontrarse una cantidad adecuada de las mismas, es posible que la colonización y las funciones de las mismas no se estén llevando a cabo como consecuencia del pH fuertemente ácido.

## 10. Referencias.

- Aguilera, N. (1989). *Tratado de edafología en México*, Tomo I, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Alarcón, A. (2001). *El boro como nutriente esencial*. Tecnología de producción. Edafología y química agrícola.
- Aldea, A., Silva, P., Martínez, E., Ortiz M., Acevedo, E. (2007). *Efecto del cincelado en un suelo Mollisol manejado en cero labranza*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Alvarez R y Santanatoglia, O (s,f). *Actividad biológica y biomasa microbiana en diferentes suelos incubados bajo las mismas condiciones ambientales*. buenos Aires, Argentina.
- Andrade, H y Hernández, M. (s, f). *Una alternativa para el manejo de sostenible de la ganadería en Amazonia*. Corpoica y Pronata. Colombia.
- Andrades, M. (2012). “*Prácticas de Edafología Y Climatología.*” *Material Didactico Agricultura y Alimentación*: 69.
- Andrés, C., y Pérez, P. (2004). *Estudio de los ácaros edáficos de un agroecosistema (cafetal) en la Estación Biológica Don Francisco Chaves en Santa Maura, Jinotega*. Santa Maura, Jinotega: Universidad centroamericana.
- Ansorena, J. (1994). *Composición y propiedades físicas del suelo*. Recuperado de [http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/35\\_22\\_25.pdf](http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/35_22_25.pdf)
- Aapresid. (s, f). *Manual de buenas prácticas agrícolas e indicadores de gestión*. Recuperado de [www.aapresid.org.ar/ac/wp-content/uploads/sites/4/2013/02/manual.pdf](http://www.aapresid.org.ar/ac/wp-content/uploads/sites/4/2013/02/manual.pdf)
- Arango, C. (2004). *Ganadería ecológica. Memorias técnicas*. Colombia: Produmedios. Cap 1. Pág 9.
- Arango, G., & Macias, K. (2003). *Mesofauna de los colémbolos en el compost de la Corporación Universitaria Lasallista*. Bogotá: Bioindicadores ambientales. Semillero de Investigación en Materia Orgánica SISMO.
- Arenas, J. (2010). *Manual de fertilización manejo de pastos y forrajes cultivados*. Camara de comercio y producción de Perú. Al- invest.
- Barrios, P., Escalante, J., & Rodriguez, M. (2011). *Crecimiento y rendimiento del frijol chino en función del tipo de espaldera y clima.Tropical*. *Agroecosystems*, 307-315.
- Beltran, M y Lizarazo, L. (2013). *Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales*. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas Universidad del Valle. *Revista de ciencias*. Volumen 17 N° 2.
- Bedano, J., Dominguez, A., & Romina, A. (2011). *Assessment of soil biological degradation using mesofauna*. *Soil & Tillage Research*, 55–60.

- Ben-Omar, N. M., Arias, J., & Gonzales, M. (1997). *Comparative heavy metal biosorption study of brewery yeast and myxococcus xanthus biomass chemosphere*. Vol 35.
- Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Córdoba, O., Londoño, M., Kondo, D., Carabalí, A., Varón, E., Caicedo, A., Tamayo, P., Sandoval, A., Forero, F., García, J., Londoño, M. (2014). *Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate*. Medellín (Colombia): Corpoica. 410 p.
- Bertsch, F. (S, f). *Análisis de suelos, una herramienta para diagnosticar los problemas nutricionales de los suelos: ventajas y limitaciones*. Costa Rica: CIA.
- Bezerra, R., Viana, M., Araújo, A., Avelino, L., Silva, J. (2009). *Diversidad de la mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em areia*, Paraíba, Brasil Revista Caatinga, vol. 22, núm. 3. Universidade Federal Rural do Semi-Árido Mossoró, Brasil
- Bowles, J. (2000). *Experimento n°1*. MTC E 108.
- Bravo, L y Burbano, H. (2012). *El suelo: un bien social*. Universidad de Nariño. Pasto. Nariño.
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V y Rodriguez, C. (2001). *Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*. México d.c. Recuperado de: [http://www3.inecol.edu.mx/csmbgbd/images/stories/resultados\\_articulos\\_archivos/6%20diversidad%20y%20rol%20funcional%20de%20la%20macrofauna%20edafica.pdf](http://www3.inecol.edu.mx/csmbgbd/images/stories/resultados_articulos_archivos/6%20diversidad%20y%20rol%20funcional%20de%20la%20macrofauna%20edafica.pdf)
- Cabrera, G. (2012). *La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo*. Resultados obtenidos en Cuba. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA.
- Cabrera, D. (2008). *Manejo y uso de pastos y forrajes en ganadería tropical*. Universidad de Córdoba.
- Calle, Z y Murgueitio, E. (2008). *El botón de oro: arbusto de gran utilidad para sistemas ganaderos de tierra caliente y de montaña*. FEDEGAN.
- Calvo, S. (2011). *Bacterias simbióticas fijadores de nitrógeno*. Universidad de Salamanca. España.
- Casierra, F., Aguilar, O. (2007). *Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección*. revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 1 -No.2 - pp. 246-257.
- Casierra, F y Poveda, J. (2005). *La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (Fragaria sp.cv. Camarosa)*. Agronomía Colombiana 23(2): 283-289.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

- Cavaletti, L., Monciardini, P., Bamonte, R., Schuman, P., Rhode, M., Sosio, M., y otros. (2006). *New lineage of filamentous, spore-forming, Gram-positive bacteria from soil applied and environmental microbiology*. Pág 72.
- Cerón, L. y L. Melgarejo. (2005). *Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad*. Acta Biológica Colombiana 10, 5-15.
- Chacón, P y Vargas, C. (2009). *Digestibilidad y calidad del pennisetum purpureum cv. king grass a tres edades de rebrote*. agronomía mesoamericana 20(2):399-408.
- Chani-Posse, M. (2004). *Redescription of some South American species of Belonuchus (Coleoptera: Staphylinidae), with a checklist of the southern South American species of the genus*. Rev. Soc. Entomol. Argent. vol.70 no.3-4 Mendoza, Argentina.
- Chaurat, M.; Wolters, V. y Dauber, J., (2007). *Response of collembolan communities to Land-use change and grassland succession*. Ecography. 30: 183-192.
- CIPAV. (2004). *Sistemas silvopastoriles*. Fundación centro para la investigación en sistemas silvopastoriles de producción agropecuaria. Proyecto enfoques silvopastoriles integrado para el manejo de ecosistemas. Cali, Colombia.
- Clavero, T y Razz. R. (2009). *Valor nutritivo del pasto maralfalfa (Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum) en condiciones de defoliación*. Rev. Fac. Agron. v.26 n.1 Caracas
- Contexto ganadero. (2013). *En 2019, Colombia tendría 50 mil hectáreas de sistemas silvopastoriles*. Contexto ganadero . Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/en-2019-colombia-tendria-50-mil-hectareas-de-sistemas-silvopastoriles>
- Contexto ganadero (2013). *Informe: Sistemas de estabulación, ¿una apuesta arriesgada para su predio?* Boyacá: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-sistemas-de-estabulacion-una-apuesta-arriesgada-para-su-predio>.
- Cortés, A y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 360 p.
- Cuesta, P., & Villaneda, E. (S, f). *El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. región caribe y valles interandinos*. Recuperado de: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/CAPITULOUNO.pdf>
- DANE. (2012). *Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. República de Colombia. Tomado de: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos\\_factores\\_de\\_produccion\\_diciembre\\_2012.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_diciembre_2012.pdf)

- DANE (2015) *Censo Nacional Agropecuario*. Ministerio de agricultura. Recuperado de: [https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/avanceCNA/CNA\\_agosto\\_2015\\_new\\_present.pdf](https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/avanceCNA/CNA_agosto_2015_new_present.pdf)
- DANE (2015). *Censo nacional agropecuario*. Ministerio de agricultura. Recuperado de: <http://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2008.aspx>
- Departamento de agricultura de Estados Unidos. USDA. (2006). *Claves para la taxonomía de suelos*. (Ortiz, & Gutiérrez, Trads.) USA: USDA. Décima edición.
- Diez, E y Montoya, L. (2009). *Estandarización de las metodologías para determinar el índice de encalado e identificación de tres grupos funcionales de microorganismos: degradadores de urea proteolíticos y celulolíticos en suelos, en el laboratorio de análisis químico de suelos y foliares de la universidad tecnológica de pereira*. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Dominguez, J; Aira, M; Gómez, M. (2009). *El papel de las lombrices de tierra en la descomposición e materia orgánica y el ciclo de nutrientes*. Ecosistemas, 20-31.
- Eldor, A. (2007). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Third edition. p. cm. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK
- Espinoza, L., Slathon, N., Mozaffari, M. (2012). *Como interpretar los resultados de los analisis de suelos*. División of agriculture. Research and extention. Agricultura y recursos naturales.
- FAOSTAT. (2015). *Number of heads in selected country*. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E>
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Federación nacional de cafeteros. Cenicafé. Manizales, Colombia. 342 p.
- FEDEGAN. (2012). *Ganadería colombiana sostenible*. Colombia: Fondo Nacional del Ganado.
- Ferguson, L. (1990). *Insecta: Diplura*. In *Soil biology guide*, D. L. Dindal (ed.). John Wiley y Sons Inc., New York. p. 951-963.
- Fiala, K. (1991) *Biomass partitioning in Paspalum notatum stands on the slope relief in the anthropic savanna of Cuba*. Preslia. 63:269.
- Folkar, G., & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera un árbol con enormes potenciales*. AGROFORESTERIA EN LAS AMERICAS.
- Forero, J. (2000). *Parámetros Hidrodinámicos para Riego*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Unidad de Publicaciones. 31p.

- Franco, M. (2008). *Evaluación de caracteres PGPR en actinomicetos e interacciones de estas rizobacterias con hongos formadores de micorrizas*. Granada: universidad Nueva Granada. Tesis de Grado.
- Frioni, L. (1999). *Los Procesos microbianos* (Tomo II); Editorial de la Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Córdoba, Argentina.
- Funach-Ascamp. (2002). *Capacitación en obtención de nuevos productos*. Mocoa, Colombia.
- Gaju, M., Bach., C y Molero, R. (2015). *Orden Isoptera*. Departamento de Zoología. C-1 Campus de Rabanales. Universidad de Córdoba. 14071. Córdoba (España).
- García, A & Bello, A. 2004. *Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica*. Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España. p. 211.
- García, E., Romo, H., Sarto, V., Munguira, L., Baixeras, J., Vives, A y Yela, J. (2015). *Orden Lepidoptera*. Revista IDE@ - SEA, nº 65 (30-06-2015): 1–21.
- Garrido, A. Cotler, H y Enriquez C (s,f). *Geomorfología y suelos*. Condición natural de la cuenca pág 12.
- Genoy, Y., Castillo, J y Bacca, T. (2013). *Ácaros oribátidos presentes en seis sistemas de uso del suelo en Obonuco, Pasto* (Nariño). ISSN 0123 - 3068 bol.cient.mus.hist.nat.
- Gillen, C., Soto, F., & springer, M. (2006). *Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica*. Costa Rica : Agronomía Costarricense 30(2): 19-29. ISSN:0377-9424 / 2006.
- Gobernación del Meta (2013). *Nuestro municipio*. Meta. Recuperado de <http://www.meta.gov.co/es/el-meta/identificacion-del-departamento/>
- Gómez, M. (2005). *Interpretación de analisis de suelos y foliar. Microfertifza*. Seminario- taller microfertifza.
- Gonzales, C. (2008). *Contenido de la humedad del agua en el suelo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gonzales, E., Pedraza, A., & Pérez, M. (2009). *Caracterización agroecologica y diagnóstico de su fertilidad e la estación experimental del campus nueva granada*. Cajica, Cundinamarca, Colombia: Universidad Nueva Granada.
- González, V., Díaz, M. y Prieto, D. (2003).- *Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar*. Revista Biología, 17: 18-25.

- González, G., Zou, X y Borges, S. (1996). *Earthworm abundance and species composition in abandoned tropical croplands: comparisons of tree plantations and secondary forests*. *Pedobiologia* 40: 385-391.
- Guzman, C., Melo, O., Lozano, M. y Rivera, F. (2010). *Colémbolos (Hexapoda) en un sistema silvopastoril de tres edades de establecimiento y un área arrocera del bosque trópic, en el municipio de Piedras, Tolima*. ISSN 0123 - 3068 bol.cient.mus.hist.nat. 14 (2): 155 – 168.
- Henríquez, C y Cabalceta, G. (1999). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. Universidad de Costa Rica. Escuela de Fitotecnia.
- Hernandez, J. (2013). *Edafología y fertilidad, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente*. Colombia: Universidad Nacional abierta y a distancia.
- Hoyos, P., Amézquita, E., Thomas, R., Vera, R., Molina, D y Almanza, E. (2008). *Relaciones entre la infiltración de agua en el suelo y algunas propiedades físicas en las sabanas de la altillanura colombiana*. CIAT. Cali- Colombia.
- Huerta, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelo con mercurio en la región de Joaquin, QRO, y su relación con el crecimiento bacteriano*. Recuperado de: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>
- Ibañez, A., Moreno, R y Blanquer, J. (2012). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*. Universidad polécnica de Valencia.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. (1989). *Manual de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Manual de Asistencia Técnica No. 47. Bogotá
- ICA. (2016). *Censo bovino en Colombia*. Ministerio de agricultura. Gobierno de Colombia.
- IGAC. (1980). *Estudio general de suelos de los municipios de el Calvario, Cuamal, Acacias, Villavicencio, Restrepo y Cumaral*. Departamento del Meta. Bogotá D.C.
- IGAC. (2005). *Proyecto memorias de suelos oficiales*. Meta. Recuperado de: [ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00\\_shape\\_suelos/PROYECTO\\_DNP/MEMORIAS\\_SUELOS\\_OFICIALES/META/Resumen.pdf](ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/META/Resumen.pdf)
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM). (2013). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Republica de Colombia. Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible.
- IGAC (2015). *Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos*. Subdirección de agrología - laboratorio nacional de suelos.
- IGAC (2015). *Diccionario Geográfico de Colombia [CD-ROM]*. Subdirección de Investigaciones y divulgación geográfica. Bogotá.

- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, J., Decaens, T., Thomas, R y Lavelle, P (2000). *La macrofauna del suelo, un recurso natural aprovechable pero poco conocido*. Cali, Valle del cauca, Colombia. Recuperado de: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/tsbf/pdf/arado\\_natural\\_cap1.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/tsbf/pdf/arado_natural_cap1.pdf)
- Juaréz, M., Cerdán, M y Sánchez, A. (2008). *Hierro en el sistema suelo-planta*. Depto. Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 03080. ALICANTE.
- Kaneda, S y Kaneko, N. (2008). *Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities*. Biology and Fertility of Soils. Volume 44, Issue 3, pp 435–442
- Keller, T., & Hakansson, I. (2010). *Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content*. Geoderma 154: 398-406.
- Krull, E., Skjemstad, J. y Baldock, J. (2004). *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties*. Grains Research & Development Corporation report Project No CSO 00029.
- Lavelle, P. (1997). *Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function*.
- Leiva, F., Carrizosa, J., Gómez, C., Latorre, A., Martínez, L., Mesa, G., León, N., Afanador, J, Sánchez, L., Melo, F., Velasco, L., Silva, J., Mejía, H. (2013). *Política nacional para la gestión*. República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- León J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. Editorial Agroamérica, IICA, San José, Costa Rica. pp.276.
- Liceraz, L. (2008). *La hormiguilla destructora de pastos en el departamento de San Martín*. Rev.Per.deEut.,11(1):3-8.
- Longino, J y Colwell, R. (1997). *Biodiversity assessment using structured inventory: capturing the ant fauna of a tropical rain forest*. Ecological Applications 7: 1263\_1277.
- Lozano, F. (2009). *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)
- Granobles, J y Grajales, A (2015). *Plan de desarrollo de la ganadería del quindío, a partir del enfoque de sistemas de producción*. Luna Azul ISSN 1909-2474.
- Mackay, W y Mackay, E. (2009). *Clave de los géneros de hormigas en Mexico (Hymenoptera: Formicidae)*. Department of Biological Sciences Laboratory for Environmental Biology. The University of Texas.
- Malagon, D. (2006). *Los suelos de Colombia*. IGAC.
- Marano, P. (s,f). *Practica 2, Infiltración del agua en el suelo*. Universidad Nacional del litoral.

- Marín, E., Sanchez, M., Sierra, A y Peñaranda , M. (2015). *Poblaciones de Ácaros, Colémbolos y otra Mesofauna en un Inceptisol bajo Diferentes Manejos*. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 68, núm. 1, 2015, pp. 7411-7422 Universidad Nacional de Colombia
- Marrero, L., Rodríguez, I., Jiménez, J., Maspon, R., Baños, R., Mayorga, M., Martínez, María., León, R., A. *Insectos rizófagos asociados a variedades de poáceas cespitosas en el Varadero Golf Club, Matanzas, Cuba*. Pastos y Forrajes. ISSN: 0864-0394. Pastos y Forrajes, vol. 39, núm. 3
- Martinez, L., Venegas D (1997). *Modelo de evaluación de tierras para el uso sostenible y la conservación*. pp. 243-350. En: Saldarriaga, J. y T. van Der Hammen (eds.). Sistema de Información Geográfica para la Amazonia: el caso Guaviare. Tomo XIII. Bogotá
- Martínez, E., Fuentes, J y Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. R.C. Suelo Nutr. Veg. 8 (1)
- Martínez, M., Pedroza, A., & Gutierrez, V. (2010). *Métodos microbiológicos, físicos y químicos con aplicación ambiental*. Santiago de Chile, Chile: USM. Universidad Técnica Federico Santa María
- Martínez, E., Fuentes, J y Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Universidad de Chile.
- Martínez, E y Gutiérrez, M. (2001). *Natural endophytic association between Rhizobium etli and maize (Zea mays)*. J. Biotech. 91: 117-126.
- Mata, I., Rodríguez, M., López, J y Vela, G. (2014). *Dinámica de la salinidad en los suelos*. Revista Digital del Departamento. El Hombre y su Ambiente. ISSN-5782.
- Matus, F y Maire, C. (2000). *Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno*. Agric. Téc. v.60 n.2 Chillán.
- Mayorga, C y Cervantes, L. (2006). *Cydnidae (Hemiptera: Heteroptera) from the Centro de Investigaciones Costeras La Mancha, Actopan, Veracruz, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 77: 205-214.
- Medina, C (1995). *Hormigas depredadoras de huevos de salivazo de los pastos aeneolamiavaria (hemiptera: cercopidae) en pasturas de brachiaria, en los llanos orientales de Colombia*. Bol.Mus. Ent.Univ. Valle. 3(1):1-13.
- Medina, C y Lopera, A. (2000). *Clave ilustrada para la identificación de géneros de escarabajos coprófagos (coleoptera: scarabaeinae) de Colombia*. Caldasia 22 (2): 299-315. Bogotá, Colombia.
- Mendieta, M y Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Mendoza, E. (2009). *Densidad aparente, real y porosidad del suelo*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Mesa, N (1999). *Ácaros de importancia agrícola en Colombia*. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.52, No.1. p.321-363.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2010). *Presentación “Una Política Integral de Tierras para Colombia*. Bogotá, agosto de 2010. Recuperado de [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/ministro\\_jc\\_restrepo\\_tierras\\_2.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/ministro_jc_restrepo_tierras_2.pdf).
- Molina, E. (2002). *Análisis de suelos y su interpretación*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica .
- Molina, R. (2011). *Sostenibilidad de los sistemas ganaderos localizados en el parque nacional natural de las hermosas y su zona de influencia*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Monroy, H. (2004). *Caracterización de hongos de micorrizas arbusculares (HMA) nativas, en seis coberturas de cítricos en el piedemonte del Meta*. Meta: Universidad Nacional de Colombia.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.
- Montañez, B. (2009). *Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (Persea americana L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Moreno, H., Gisbert, I y Ibañez, S. (2010). *La estructura de un suelo*. Universidad Politecnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
- Morón, G., Nogueira, G., Rojaz, C. y Arce, R. (2014). *Biodiversity of Melolonthidae (Coleoptera) in Mexico*. Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: S298-S302.
- Morón, A y Risso, D. (1994). *Nitrógeno en pasturas*. Suelos INIA La Estanzuela. Montevideo, Uruguay.
- Navas, A., Patiño, H., Vargas, J.E., Estrada, J. (2000). *-Producción de Gliricidia sepium (Matarratón) en bancos de alta densidad*. Línea de Investigación Desarrollo de Sistemas Sostenibles de Alimentación Animal, Departamento de Sistemas de Producción, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Nielsen, M.N. y A. Winding. (2002). *Microorganisms as indicators of soil health*. National Environmental Research Institute, Denmark. Technical report No. 388. pp. 13-15, 22, 47-48.
- Ojeda, P., Restrepo, J., Villada, D., Gallego, J. (2003). *Sistemas silvopastoriles, una Opción para el Manejo Sustentable de la Ganadería*. Santiago de cali, Valle del Cauca , Colombia: Fidar.
- Oliveira, y Machado, R. (2004). *Evaluación de especies del género Brachiaria en suelos ácidos e infértiles durante la época de mínimas precipitaciones*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.

- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura “FAO” (2013). *Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. Recuperado de: [http://www.fao.org/ag/ca/training\\_materials/cd27-spanish/cp/introduction.pdf](http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/cp/introduction.pdf)
- Ospina, C., Serna, F., Peñaranda, M y Serna, S. (2003). *Colémbolos asociados con cultivos de pastos en tres zonas de vida de Holdridge en Antioquia (Colombia)*. Universidad Nacional de Colombia. Agronomía Colombiana.
- Pedraza, R., Teixeira, K., Scavino, A., García, I., Baca, B., Azcón, R., Baldani, V., Bonilla, R. (2010). *Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos*. Corpoica- Ciencia tecnología agropecuaria. Volumen 11, No. 2.
- Pérego, J. (2009). *Brachiaria brizantha, implantación, manejo y producción*. Sitio Argentino de Producción Animal. Argentina.
- Perez, C. Alexander DE La Ossa, V. Jaime Montes, V. Donicer. (2012). *Hongos solubilizadores de fosfatos en fincas ganaderas del departamento de Sucre*. Rev. Colombiana cienc. Anim. 4(1):35-45
- Pérez, A y Vertel, M (2010). *Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto Bothriochloa pertusa (L) A. Camus*. Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Campus universitario Puerta Roja, Sincelejo, Colombia.
- Pérez, A., Rojaz, J y Fuentes, C. (2010). *Determinación de un modelo logístico para evaluación in situ de la colonización de micorrizas en pasto dichanthium aristatum (l)*. Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia. Grupo Bioprospección Agropecuaria.
- Perez, C.A., S.J. Rojas, y C.J. Fuente. 2010. *Diversidad de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto colosuana (Bothriochloa pertusa) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia*. Revista Acta Biológica Colombiana 15:1-18.
- Pérez, A., Rojaz, J y Montes, D. (2011). *Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano*. Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo Bioprospección Agropecuaria.
- Pérez, A., Tuberquía, A y Amell, D. (2014). *Actividad in vitro de bacterias endófitas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos*. Agron. Mesoam. 25(2):213-223.
- Pinzón, R., Argle, J y Montenegro, R. (2006). *Control de malezas en el establecimiento de Kudzu*. Pasturas tropicales. Vol 2.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo “PNUD”. (2012). *Diagnóstico socioeconómico del meta*. Estrategia territorial para la gestión equitativa y sostenible del Sector de Hidrocarburos.

- Ramírez, W., García, Y., Sánchez, S., López, M. Y Hernandez L. (2014). *Caracterización de la macrofauna edáfica en sistemas de producción intensiva de césped. Pastos y Forrajes*, Vol. 37, No. 2. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Ministerio de Educación Superior Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.
- Ramachandran, N. (1993). *Agroforestería*. Centro de agroforestería para el desarrollo sostenible. Chapingo, México.
- Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, J., Leiva, E. (2011). *Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate*. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín, Colombia.
- Rengifo, L y Gonzales, R. (2011). *Clave ilustrada para la identificación de las familias de pentatomomorpha (hemiptera-heteroptera) de distribución neotropical*. ISSN 0123 - 3068 bol.cient.mus.hist.nat. 15 (1): 168 – 187.
- Rincón, A y Ligarreto, G. (2008). *Fertilidad y extracción de nutrientes en la asociación maíz-pastos en suelos ácidos del piedemonte Llanero de Colombia*. Agronomía Colombiana 26(2), 322-33.
- Rodríguez, I., Crespo, G., Fraga, S., Rodríguez, C y Prieto, D. (2003). *Actividad de la mesofauna y la macrofauna en las bostas durante su proceso de descomposición*. Rev. cubana Cienc. agríc. 37:319.
- Rodríguez, M. (2015). *Los 5 departamentos de Colombia con mayor número de vacas*. Revista Contexto Ganadero.
- Rojas, J. (2012). *Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa*. Provincia del Chaco: INTA Centro Regional Chaco Formosa, Argentina.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Uruguay: Univesidad de la republica de Montevideo. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Curso%202014/Material/fisicas.pdf>
- Sadeghian, S. (2001). *Impacto de la ganadería sobre el suelo alternativas sostenible de manejo*. Colombia: CENICAFÉ.
- Sadeghian, S. (2003). *Impacto de la ganadería sobre el suelo*. Roma, Italia: Estudio de la FAO.
- Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo*. Universidad Nacional. Medellín, Colombia.
- Sanabrá, C y Gutiérrez, C. (2008). *Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en cinco sistemas productivos de los Andes Colombianos*. Revista Colombiana de Entomología 34 (2): 217-223.
- Sánchez, S y Reyes, F. (2003). *Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de Morus alba y leguminosas arbóreas*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” Central España Republicana CP 44280, Matanzas, Cuba.

- Sánchez, M. y Rosales, M. (2001). *Agroforestería para la producción animal en América latina-II*. Dirección de producción animal. FAO.
- Sanchez, D. (2007). *Relación entre la disponibilidad de nutrientes y el pH en suelos ácidos forestales*.
- Sánchez y Hernández (2011). *Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes «Indio Hatuey» Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.
- Sánchez, C., Mejía, C., Figueroa, C., Esquivia, M y Agudelo, L. (2005). *Estudio de cepas nativas amilolíticas*. VITAE Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 12 (2), 21-28.
- Satoshi, K. (2008). *Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities*. Biol Fertil Soils 44:435–442.
- Secretaría de planeación, s. d. (2013). *Síntesis diagnóstica*, Norte del plan de ordenamiento territorial. Villavicencio: Gobierno de villavicencio.
- Semarnat (2000). *Norma Oficial Mexicana 021 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 75 pp.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para producción vegetal*. Roma: FAO.
- Sieverding, E. (1983). *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio*. Palmira, Cali, Colombia: CIAT.
- Silva, A., Libardi, P y Camargo, O. (1986). *Influencia da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos*. Rev. Bras. Ci. Solo. 10: 91-95.
- Sistemas de Información Nacional. (2012). *Suelos en Colombia*. Ministerio de ambiente.
- Sivila, R y Ángulo, W. (2006). *Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patarani - Altiplano Central boliviano)*. Instituto de Ecología, Casilla 10077 - Correo Central, La Paz, Bolivia.
- Solarte, L., Murgueito, E., Gonzales, J., Uribe, F y Manzano, L. (2013). *Protocolo para la siembra de botón de oro y leucaena en proteros con praderas mejoradas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos*. FEDEGAN. Bogotá, D.C., Colombia.
- Socarras, A. (2013). *Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo Pastos y Forrajes*, vol. 36, núm. 1, pp. 5-13
- Socarras, A e Izquierdo, I. (2014). *Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica*. Pastos y Forrajes, Vol. 37, No. 1.
- Somarriba, E. (2009). *Planificación agroforestal de fincas*. (F. Quesada, Ed.) Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

- Solorio, F y Solorio, B. (2008). *Leucaena Leucophala, una opción forrajera en los sistemas de producción animal en el trópico*. Manual de manejo agronómico de Leucaena Leucophala.
- Sullivan, P. (2007). “El Manejo Sostenible de Suelos.” *Attra*: 1–40. internal-pdf://manejo\_sostenibel\_de\_suelos-0356763393/Manejo\_sostenibel\_de\_suelos.pdf.
- Talavera, J. (1990). *Idenlification keys orIbe earthworms or the Canary' Islands Vieraea* 18:113-119
- Thompson, L. (1965). *El suelo y su fertilidad*. Barcelona-Buenos aires-México, España-argentina-México: Reverté, S.A.
- Travieso, A., Moreno, P y Campos, A. (2005). *Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales*. Interciencia, vol. 30, núm. 1, enero, 2005, pp. 12-18. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela.
- Uehara, G., y Keng, J. (1974). *Management implications of soil mineralogy in Latin america*. Agency for International Development, Symposium on Management of Tropical Soils, Cali, Colombia: U.S.A, pp 61-92
- UNIMINUTO. (2015). *Granja Agroecológica UNIMINUTO Villavicencio*. Escuela de Ciencias Naturales Aplicadas. Tomado de: <http://www.uniminuto.edu/web/ecna/granja-agroecologica-uniminuto-villavicencio>
- Uribe, F., Zuluaga, A., Murgueitio, R., Valencia, L., Zapata, A., Solarte, L., Solarte, P., Cuartas, C., Naranjo, J., Galindo, W., Gonzales, J., Sinisterra, J., Gómez, J., Molina, C., Molina, E., Galindo, A., Galindo, V y Soto B. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Proyecto: Ganadería sostenible*. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78p.
- Valencia, H. (2010). *Manual de prácticas de microbiología del suelo*. Bogotá, Colombia: Ubiversidad Nacional de Colombia.
- Valenzuela, I y Torrente, A. (2010). *Ciencia del suelo, principios básicos*. Capítulo 3: Física del suelo. SCCS.
- Valdés, M. (2005). *Ecología microbiana del suelo, compendio práctico*. Instituto politécnico nacional escuela nacional de ciencias básicas biológicas, México.
- Varela, A., Rueda, D., & Munevar, F. (2010). *Ciencia del suelo*. Capítulo VII. Organismos del suelo. SCCS.
- Vargas, S. (2012). *Microorganismos solubilizadores de Fosfato en el suelo*. Universidad Nacional de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Villalobos, E. (2006). *Fijación simbiótica del Nitrógeno*, San José (Costa Rica).
- Villegas, B. (2012). *Diplópodos: los desconocidos formadores del suelo*. CONABIO. Biodiversitas, 102: 1-5.

- Viveros, D., Parra, M., Pérez, N. y Rey, A. (2006). *Establecimiento de sistemas silvopastoriles como alternativa de producción ganadera sostenible en el Valle cálido del alto Magdalena*. CORPOICA. Campo alegre- Huila.
- Wardle, D., Walker, L y Badget, R. (2004). *Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences*. Vol. 305, Issue 5683, pp. 509-513.
- Williams, P & Gaston, K. (1994). *Measuring more of biodiversity: can highertaxon richness predict wholesale species richness?*. Biological Conservation. 67. p. 211-217.
- Wing Ching, R., Cabalceta, G y Alvarado, A. (2009). *Impacto del pastoreo con ganado holstein y jersey sobre la densidad aparente de un andisol*. Agronomía mesoamericana 20(2):371-379.
- Zerbino, M. (2005). *Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción*. Montevideo, Uruguay. Tesis de Maestría Universidad de la Republica .
- Zerbino, S., Altieri, N., Morón, A. y Rodríguez, C. (2008). *Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo*. Agrociencia. 12 (1):44-55.
- Zinck, J. (2012). *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Recuperado de [http://www.itc.nl/library/papers\\_2012/general/zinck\\_geopedologia\\_2012.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2012/general/zinck_geopedologia_2012.pdf)
- Zuluaga, A. (2013). *Ganadería colombiana sostenible. Colombia: Proyecto de ganadería sostenible*. Hacia una Política Nacional de Ganadería Agroclimáticamente Sostenible.
- Zuluaga, C. (2003). *Identificación de chizas (coleoptera: melolonthidae) asociadas a pasto 'kikuyo' (pennisetum clandestinum hoechst) y papa (solanum tuberosum linneo) y sus posibles enemigos naturales en Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

## 9. Anexos

### Anexo 1. Composición de medios de cultivo utilizados

#### Sundara &Sinha (SyS) (g/L)

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0.5g
KCl.....	0.2g
MgSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O.....	0.3g
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O.....	0.004g
FeSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O.....	0.002g
NaCl.....	0.2g
Glucosa.....	10g
Extracto de levadura.....	0.5g.
Agar.....	18g
Agua.....	900ml

#### Agar Almidón (g/L)

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	0.1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	0.1
CaCl <sub>2</sub> .....	0.5
Peptona universal.....	2.5
Extracto de levaduras.....	10
Agua destilada.....	1000
pH.....	7.0

#### Agar celulosa (g/L)

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	0.1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	0.1
CaCl <sub>2</sub> .....	0.5
Peptona universal.....	2.5
Extracto de levaduras.....	10
Agua destilada.....	1000
pH.....	7.0

#### Asbhy (g/L)

<b>Manitol</b> .....	5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	1
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O.....	0.2
FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O.....	0.005
NaCL.....	0.2
CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O .....	0.2
Agar.....	1

<b>Agar leche</b>	<b>(g/L)</b>
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	0.1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	0.1
CaCl <sub>2</sub> .....	0.5
Peptona universal.....	2.5
Extracto de levaduras.....	10
Agua destilada.....	1000
pH.....	7.0

**Anexo 2.** Composición de la sacarosa

Agua destilada.....	100 ml
Azúcar morena.....	10gr

**Anexo 3.** Formato de entrevista a los agricultores.

Formato de entrevista		
Información general	Fecha	
	Departamento:	
	Municipio:	
	Vereda:	
	Nombre de la Finca:	
	Nombre Propietario:	
	No. De hectáreas a ser evaluadas	
Uso actual		
Uso del suelo	¿Qué tipo de sistema de riego son usados? (Estime el porcentaje por tiempo o hectáreas, con el porcentaje que equivalga a 100%).	
	¿Cómo habilitó el terreno para la siembra?	Tractor
		Bueyes
		Otra
Cubre campos abiertos/desnudos usando cultivos de cobertura, dejando residuos o restos de plantas, o plantación de cultivos posteriormente.		
Tiempo de descanso del terreno		

Insumos químicos	Abonos		Cantidad en gramos		Frecuencia de aplicación	
			Cantidad en gramos		Frecuencia de aplicación	
			Cantidad en gramos		Frecuencia de aplicación	
	Cal		Cantidad en gramos		Frecuencia de aplicación	
	Herbicidas		Dosis		Frecuencia de aplicación	
	Insecticidas		Dosis		Frecuencia de aplicación	
	Fungicidas		Dosis		Frecuencia de aplicación	
Insumos orgánicos	Abonos		Dosis		Frecuencia de aplicación	

Manejo pecuario	Animales que se encuentran en el terreno actualmente	Bovinos	# de cabezas			Razas		Edad		Propósito		
		Equinos	# de cabezas			Razas		Edad		Propósito		
		Caprinos	# de cabezas			Razas		Edad		Propósito		
		Otros	# de cabezas			Razas		Edad		Propósito		
	Animales que se encontraban en el terreno	Bovinos	# de cabezas		Hace cuanto tiempo no se encuentran en el terreno		Razas		Edad		Propósito	
		Equinos	# de cabezas		Hace cuanto tiempo no se encuentran en el terreno		Razas		Edad		Propósito	
		Caprinos	# de cabezas		Hace cuanto tiempo no se encuentran en el terreno		Razas		Edad		Propósito	
		Otros	# de cabezas		Hace cuanto tiempo no se encuentran en el terreno		Razas		Edad		Propósito	
	Manejo	Extensivo										
		Intensivo										
		Semiestabulado	# de horas en el terreno									
	Tipo de alimentación	Pastaje	Cual?									
		Silo	Que contiene?		Cada cuanto se les da?							
		Heno										
		Otros	Cuales		Cada cuanto se les da?							
	¿Cuentan con...	No										
		Si	Alambre de puas	Extensión								
			Cerca eléctrica	Extensión								
			Otra	Extensión								
	¿Conoce ud del balance											

Uso de SSP	Considera suficientes los recursos forestales del terreno				
	Qué utilidad tienen los arboles establecidos en el terreno				
	Qué utilidad tienen las cercas vivas en el terreno				
	Que especies arboreas le gustaría establecer		Con que fin?		
			Con que fin?		
			Con que fin?		
			Con que fin?		
	Cuales son las principales problematicas para el establecimiento de los SSP				
	Que posibles soluciones propone para resolver las problematicas nombradas				
	Qué practicas implementa para contrarrestar las épocas de sequía				
Cual es su interes por los SSP					
Qué beneficios considera podría traer la implementación de SSP en el terreno					

**Anexo 4.** Resultados de estadístico ANDEVA por rangos K-W.

Grupo taxonómico	Diferencias entre niveles.
<b>Staphilinidae</b>	P= 0.602
<b>Lumbricidae</b>	P = 0,011 – 1a, 2ab, 3b.
<b>Noctuidae</b>	P = 0,368
<b>Elateridae</b>	P = 0,046 – 1a, 2ab, 3b.
<b>Melolonthidae</b>	P = 0,778
<b>Cydnidae</b>	P = 0,663
<b>Diplopoda</b>	P = 0,924

**Anexo 5.** Resultados del test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov).

Familia	Distribución		Resultado
<b>Staphylinidae:</b>	K-S Dist. = 0,539	P < 0,001	Falló
<b>Lumbricidae:</b>	K-S Dist. = 0,474	P < 0,001	Falló
<b>Noctuidae:</b>	K-S Dist. = 0,533	P < 0,001	Falló
<b>Elateridae:</b>	K-S Dist. = 0,540	P < 0,001	Falló
<b>Melolonthidae:</b>	K-S Dist. = 0,488	P < 0,001	Falló
<b>Cydnidae:</b>	K-S Dist. = 0,490	P < 0,001	Falló
<b>Diplopoda:</b>	K-S Dist. = 0,475	P < 0,001	Falló

**Anexo 6.** Distribución de los grupos taxonómicos en el terreno.

<b>Grupo taxonómico</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Var/media</b>	<b>Agrupación</b>
<b>Staphilinidae</b>	2,7	5,3	2	Agregado
<b>Lumbricidae</b>	41,3	3781,3	91,5	Agregado
<b>Noctuidae</b>	1,3	5,3	4	Agregado
<b>Elateridae</b>	4	48	12	Agregado
<b>Melolonthidae</b>	30,7	5,3	0,2	Uniforme
<b>Cydnidae</b>	20	48	2,4	Agregado
<b>Diplopoda</b>	40	16	0,4	Uniforme